X COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS

ESTUDO DE CASO: MODELAGEM DO DATUM VERTICAL EQUATORIANO NO ESPAÇO DO GEOPOTENCIAL

Dr. José Luis Carrión Sánchez

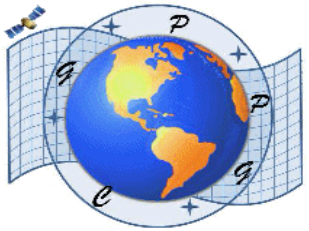
Prof. Dr. Sílvio Rogério Correia de Freitas

Prof. Dr. Riccardo Barzaghi

Curitiba, 06 de junho de 2018

UFPR
Universidade
Federal do Paraná

CONTEÚDO



I. Introdução

II. Área de estudo e fontes de dados

III. Métodos

IV. Análise de resultados

V. Conclusões e recomendações

Objetivo: Estimar em termos do geopotencial a discrepância existente entre a realização original do DVE e a referência global estabelecida para o IHRS (W_0=62 636 853.4 m^{2}s^{-2}).

$$\delta g_P = g_P - \gamma_P$$

Solução fixada do PVCG

$$U_P = U_0 + \frac{\partial U_0}{\partial h} h_P$$

γ_0

$$W_P = U_P + T_P$$

$$C_{Pi} = W_{0i} - W_P = \sum_0^P g \Delta n$$

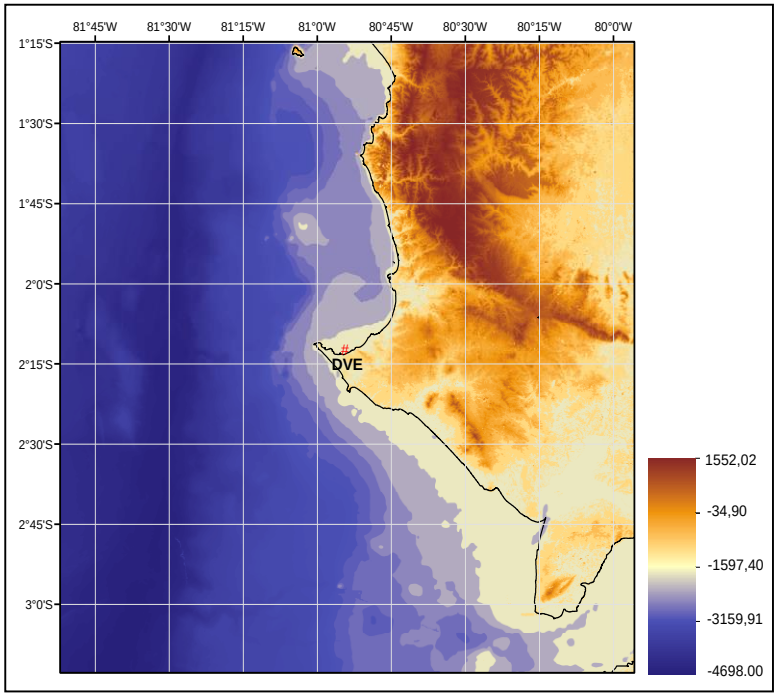
$$C_P - C_{Pi} = W_0 - W_{0i} = \delta W_i \cong [W_0 - (U_P + T_P)] - \sum g_{mj} \Delta n_j$$

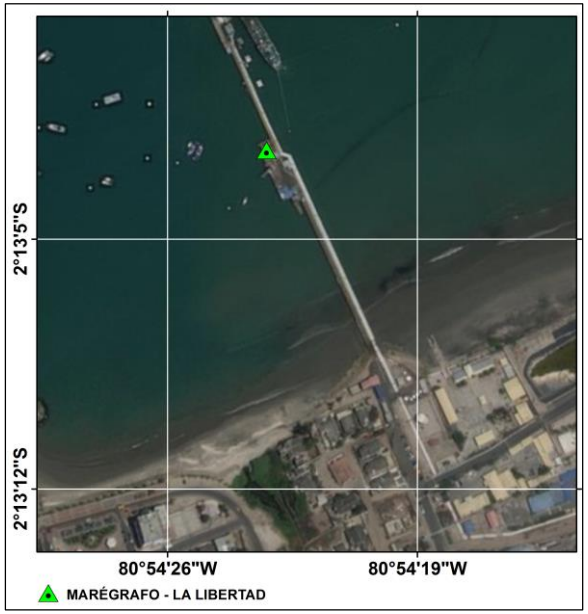
W_0 = 62 636 853.4 m^{2}s^{-2}

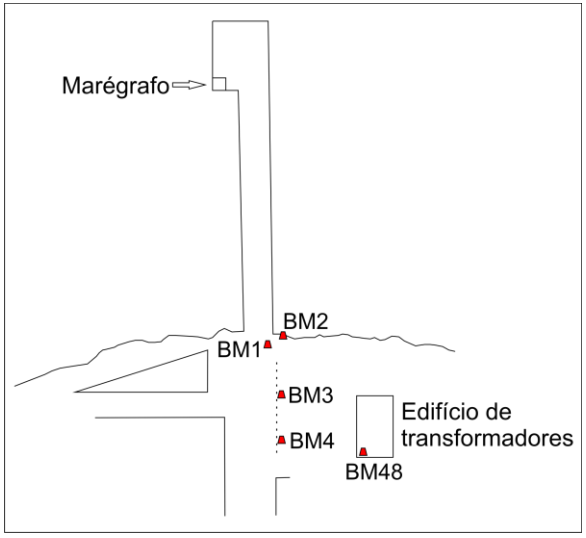
$$Offset = \frac{\delta W}{\gamma} = \Delta H$$

UFPR
Universidade
Federal do Paraná

DATUM VERTICAL EQUATORIANO



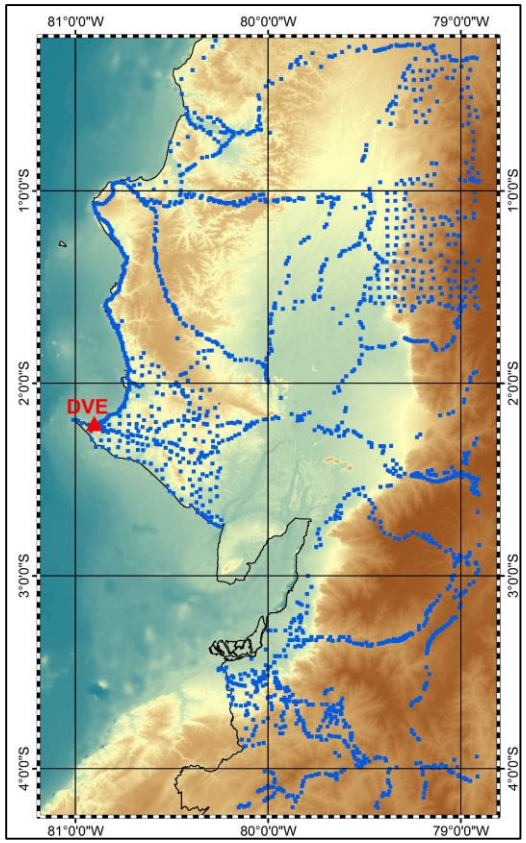




Latitude (°)	- 2°13'10.1178”
Longitude (°)	-80°54'19.4667”
h (m)	18.112

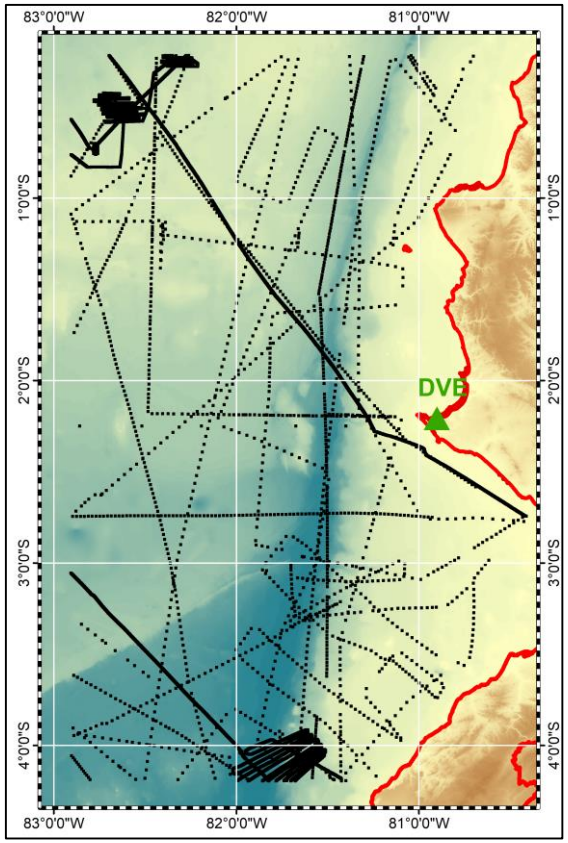
FONTE: *Os autores*, adaptado de Paredes (1986)

Gravimetria terrestre



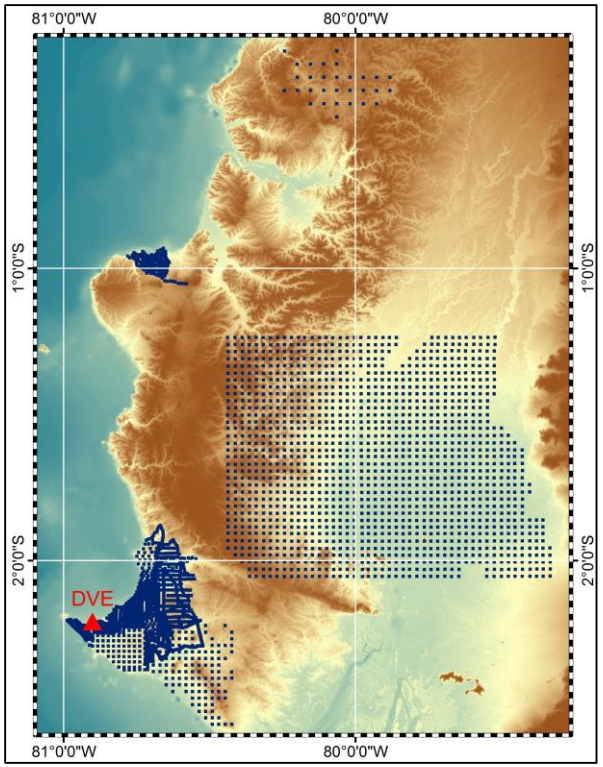
4808 registros
Provedor: IGM-EC
Sistema gravimétrico: IGSN71

Gravimetria oceânica



8549 registros
Provedor: BGI
Sistema gravimétrico: IGSN71

Aerogravimetria



3443 registros
Provedor: SGGSA
Sistema gravimétrico: IGSN71

INFORMAÇÃO COMPLEMENTAR:

DTU15 → Região Oceânica
WGM2012 → Região Continental

Modelagem do DVE no espaço do geopotencial: Solução Fixada

Gravidade observada

δg

Remover

δg_{RES}

Solução fixada do PVCG

$$\zeta_{RES} = \frac{R}{4\pi\gamma}\iint_s (\delta g_{RES} + \mu_1 + ...) H(\psi) ds$$

$$\mu_1 = \frac{R^2}{2\pi}\iint_\sigma \frac{h - h_P}{\ell_0^3}\delta g_{res} d\sigma$$

$$\ell_0 = 2R\sin\left(\frac{\psi}{2}\right)$$

Restaurar

$$\zeta_P = \zeta_{RES} + \zeta_{MGG} + \zeta_{RTM}$$

$$T_P = \zeta_P \gamma_0$$

$$W_P = T_P + U_P$$

$$U_P = U_0 + \frac{\partial U_0}{\partial h} h_P$$

$W_0 = 62\,636\,853.4\ m^2s^{-2}$

$$Offset = \frac{\delta W}{\gamma_0} = \Delta H$$

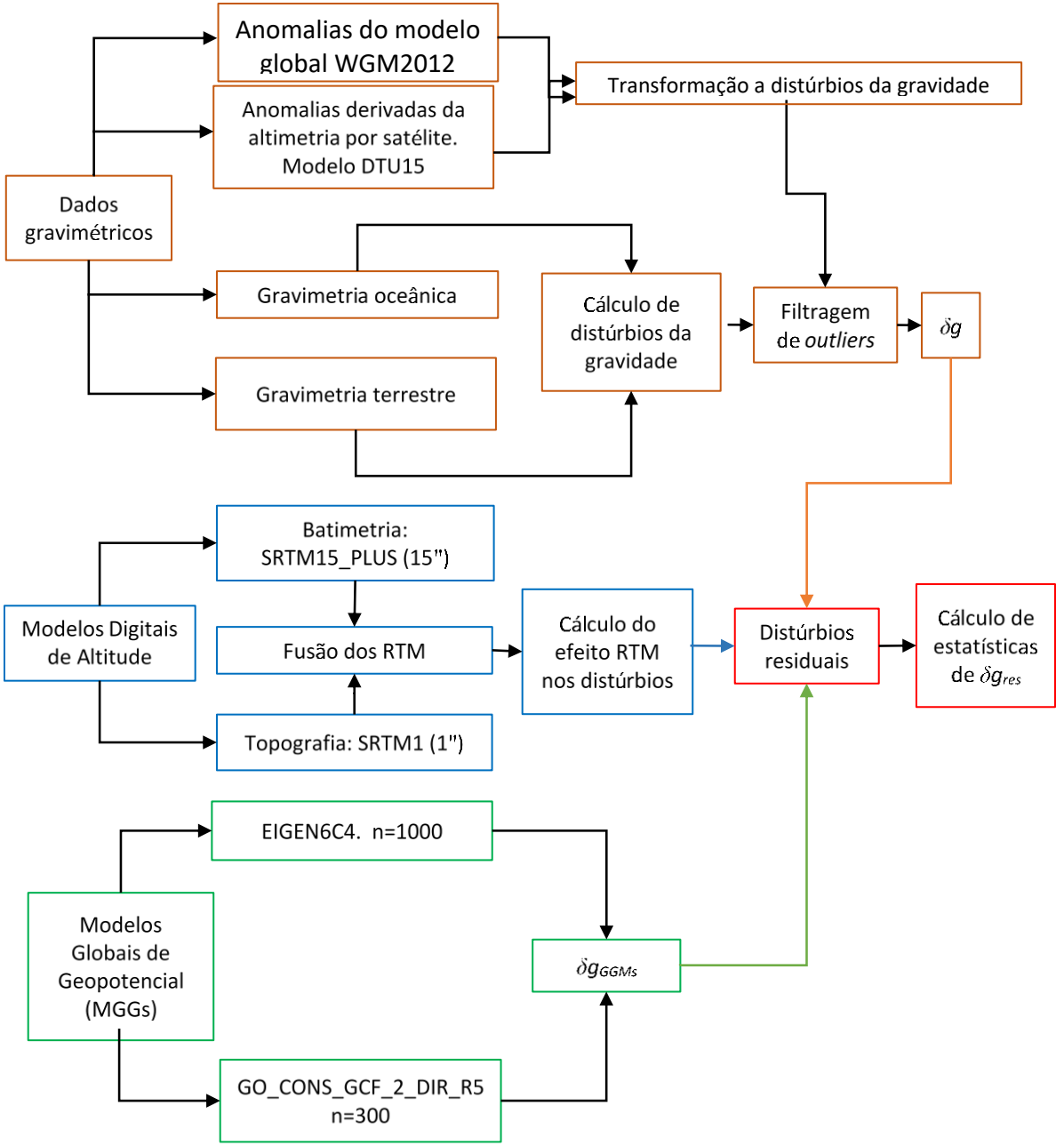
$$\zeta = \frac{GM}{r\gamma}\left[\sum_{n=2}^{n_{max}}\left[\frac{a}{r}\right]^n \sum_{m=0}^{n} \bar{C}_{nm}\, cosm\lambda + \bar{S}_{nm}\, cosm\lambda sinm\lambda\right]\bar{P}_{nm}(sin\varphi)$$

$$\zeta_{prism} = \frac{V_{RTM}}{\gamma_Q} \quad ; \zeta_{RTM} = \sum_{i=1}^{k} \zeta_{prism\ i}$$

UFPR
Universidade
Federal do Paraná

Modelagem do DVE no espaço do geopotencial: Solução Fixada

Cálculo de distúrbios da gravidade residuais



UFPR
Universidade Federal do Paraná

Modelagem do DVE no espaço do geopotencial: Solução Fixada

Cálculo de distúrbios da gravidade

$$\delta g = g + \Delta g_H - (\gamma - \delta g_{atm} + \delta g_h)$$

Observações gravimétricas
Sistema de maré permanente: *mean tide*
Sistema gravimétrico: *IGSN71*
h e N: Transformação *tide free* → *mean tide*

$\Delta g_H = 0.0371(1 - 3sen^2\varphi)$ ⟶ Termo de Honkasalo

$\delta g_{atm} = 0.874 - 9.9 * 10^{-5}h + 3.56 * 10^{-9}h^2$ ⟶ Correção atmosférica

δg_h ⟶ Redução da gravidade normal à Superfície Física

Distúrbios da gravidade oriundos do DTU15 e do WGM2012

$$\delta g = \Delta g_{MODELO} - \delta g_h$$

Transformação de anomalias em distúrbios da gravidade

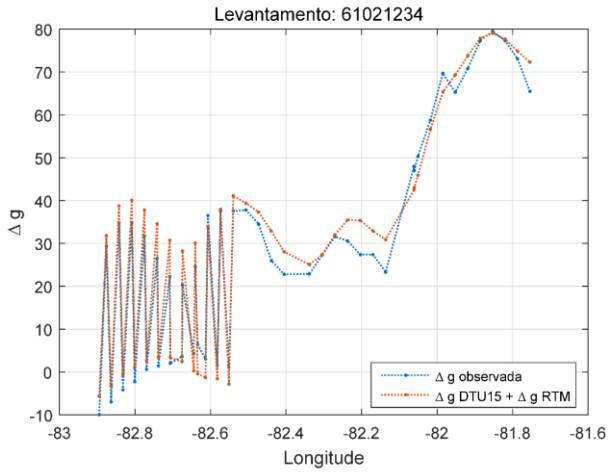
$$\delta g_h = -(0.3087691 - 0.0004398sen^2\varphi)h + 7.2125 * 10^{-8}h^2 \quad (GRS80)$$

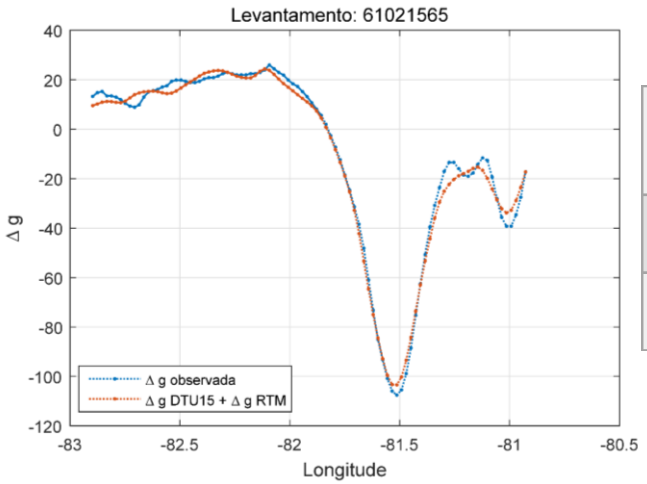
Redução da gravidade teórica conforme a altitude *h*
Sendo h distância entre o teluroide e a SF → ζ (EIGEN6C4, n =2190)

Modelagem do DVE no espaço do geopotencial: Solução Fixada

Filtragem de outliers: base de dados do BGI

$$\delta g_{res} = \delta g_{obs} - \delta g_{DTU15} - \delta g_{RTM} = \delta g_{obs} - \delta g_{modelo}$$





Estatísticos Δg_{res} BGI	Antes	Depois
σ (mGal)	7,02	3,82
Coef. correlação	0,9898	0,9968

66.91% % outliers

Filtragem de outliers: Conjunto total

$$\delta g_{res} = \delta g_{obs} - \delta g_{EIGEN6C4} - \delta g_{RTM}$$

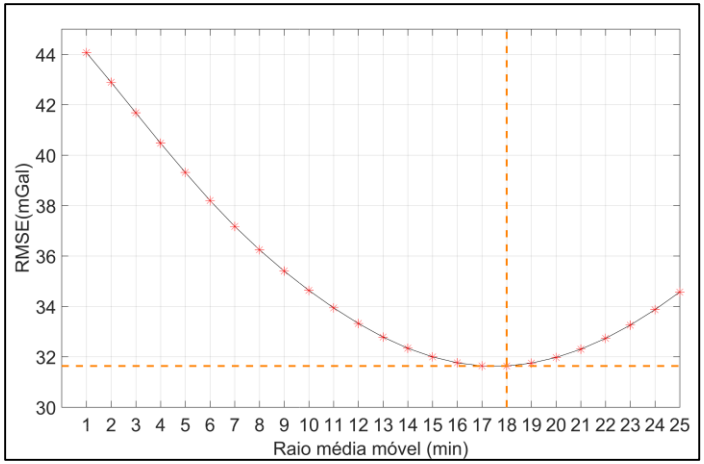
		δg_{res} Antes	δg_{res} depois	% eliminado
σ (mGal)	4°x4°	15,77	13,50	
	3°x3°	11,59	10,45	
	2°x2°	10,48	10,08	
Coef. Correlação	4°x4°	0,9729	0,9799	1,03
	3°x3°	0,9849	0,9877	0,71
	2°x2°	0,9886	0,9895	0,53

Distúrbios da gravidade residuais

$$\delta g_{RES} = \delta g_{obs} - \delta g_{GGM} - \delta g_{RTM}$$

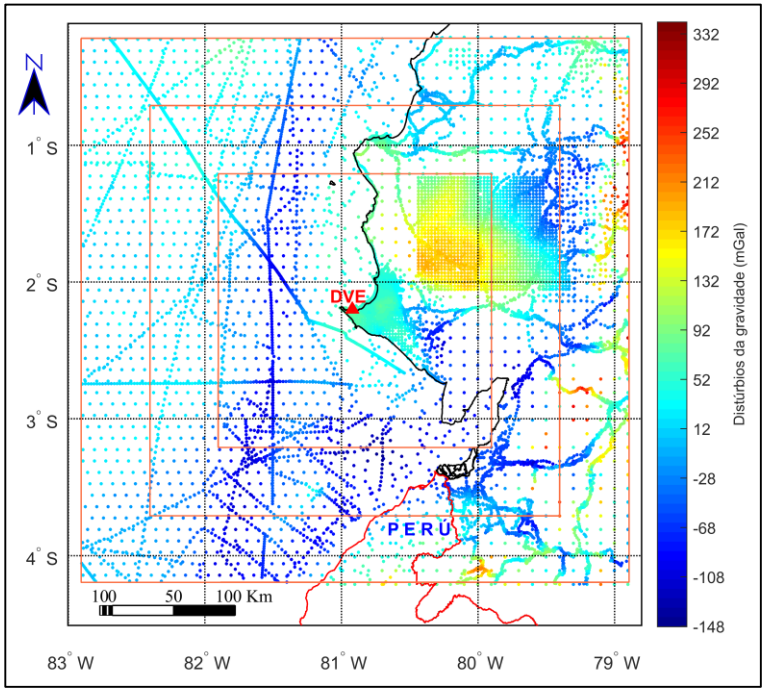
Solução RTM

GOCO_DIR_R5 (nmax=300)



$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\Delta g_{RES}{}^{i}\right)^{2}}$$

δg - $\delta g_{GO_CONS_GCF_2_DIR_R5(nmax=300)}$ - δg_{RTM}

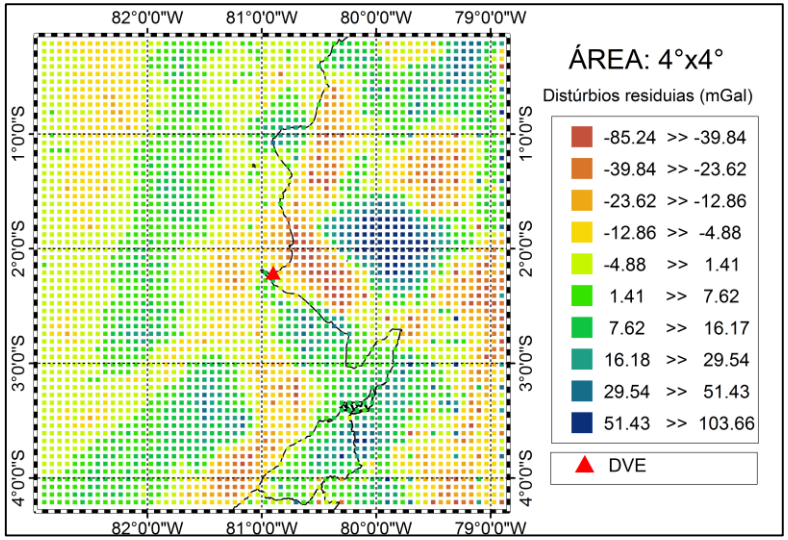


		GO_CO_DIR_R5 nmax=300	GO_CO_DIR_R5 nmax=200
RMS (mGal)	4°x4°	31.96	35.69
	3°x3°	34.31	37.12
	2°x2°	34.88	39.53
Raio ótimo para media móvel (arc-min)		18	21

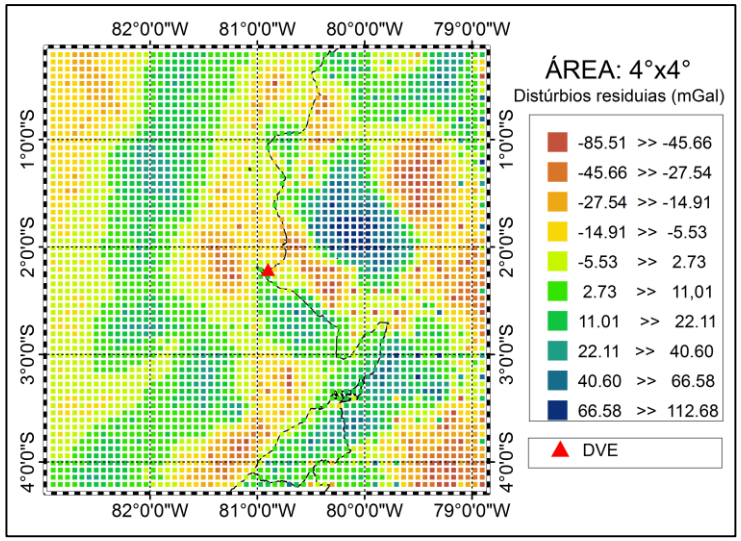
Interpolação: Média ponderada GEOGRID (GRAVSOFT)

Espaçamento: 4 min arc

Grade δg_{RES} GOCO_DIR_R5 (*nmax*=300)

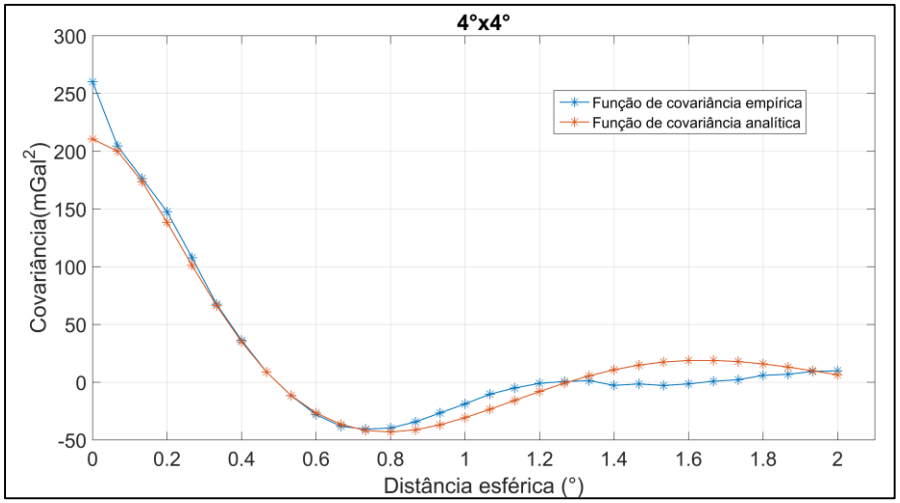


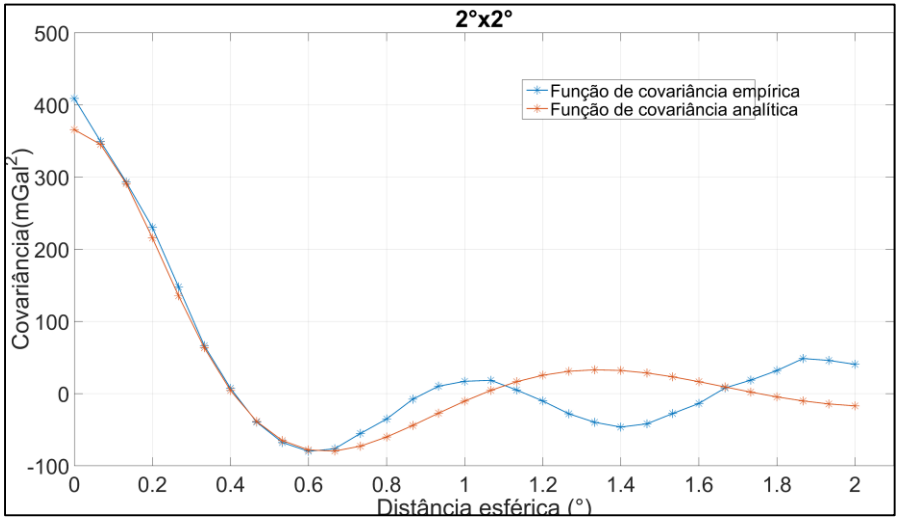
Grade δg_{RES} GOCO_DIR_R5 (*nmax*=200)



Funções de covariância

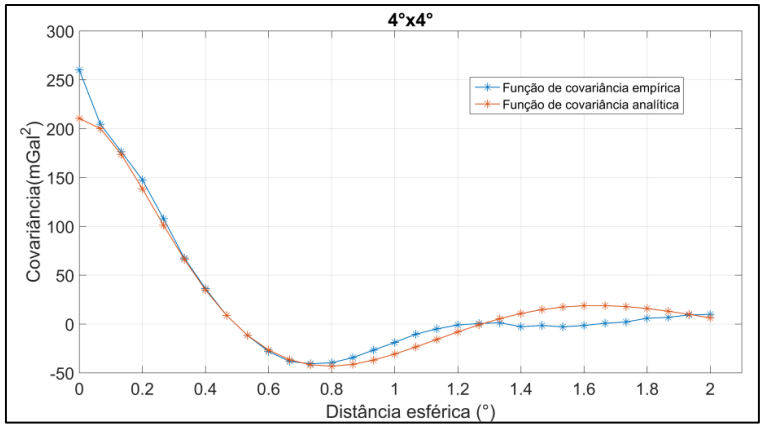
COVFIT, EMPCOV (GRAVSOFT)

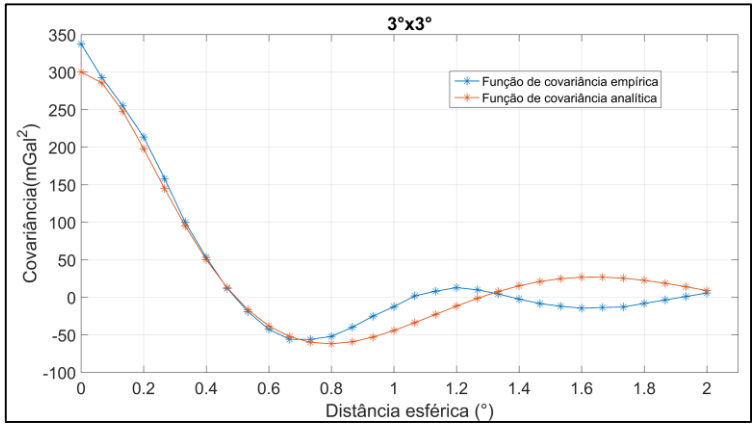


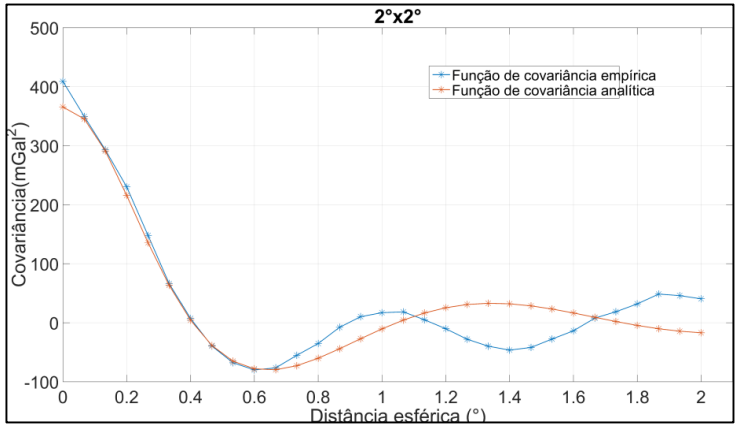


Funções de covariância

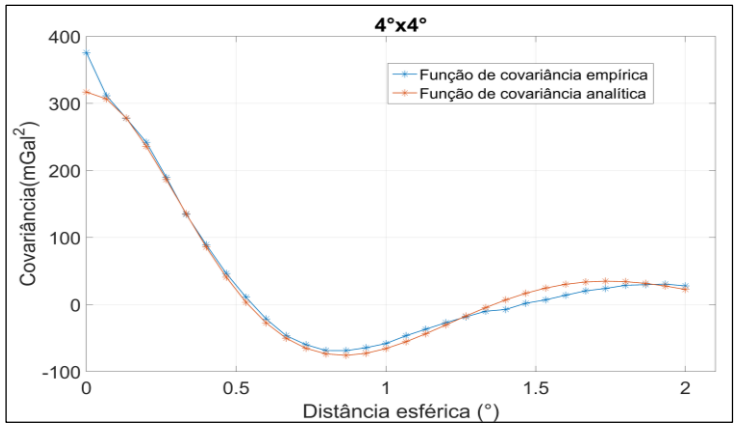
GOCO_DIR_R5 (*nmax*=300)

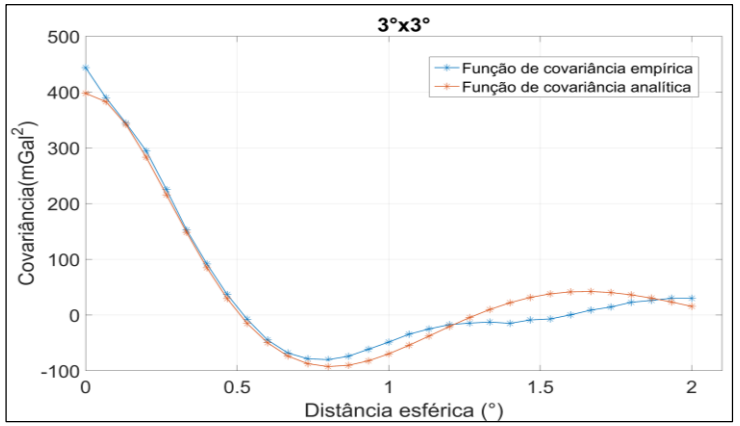


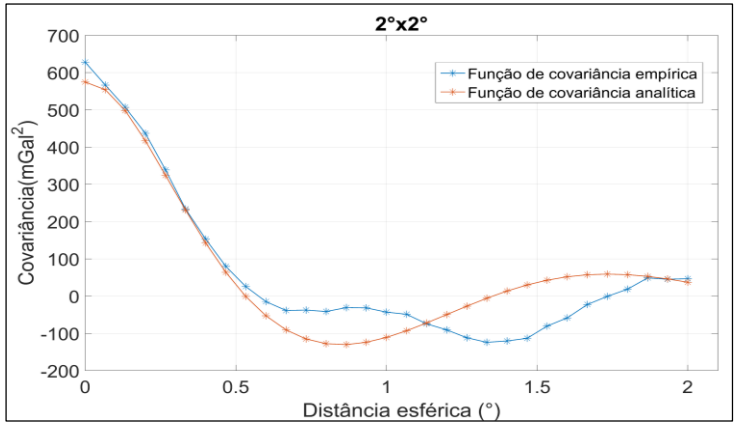




GOCO_DIR_R5 (*nmax*=200)



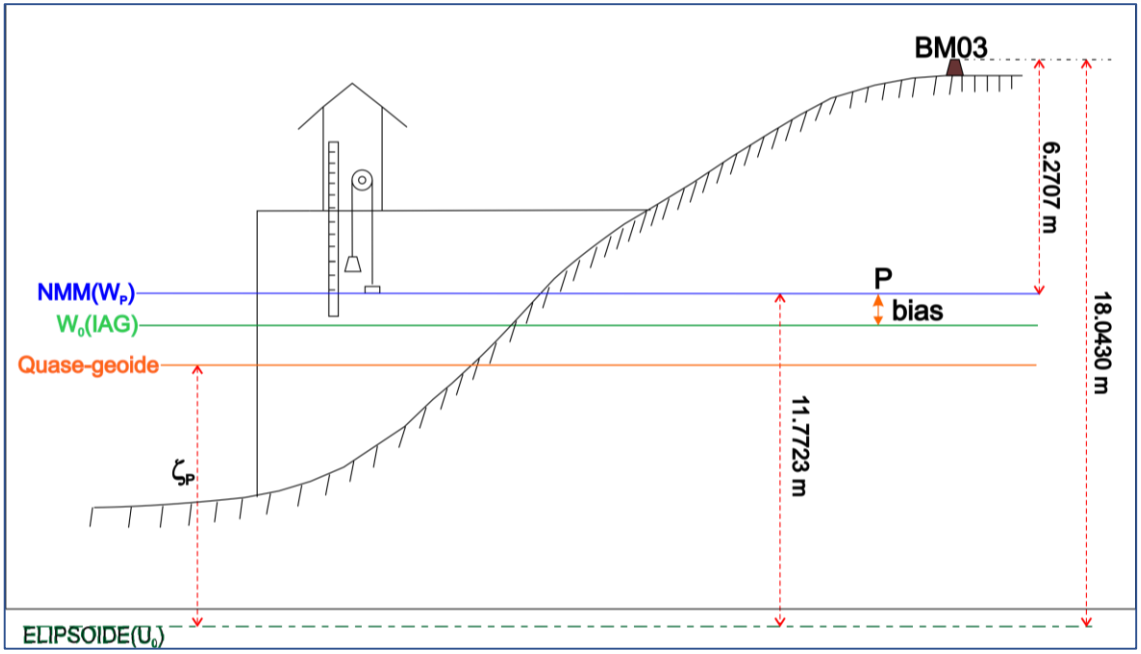




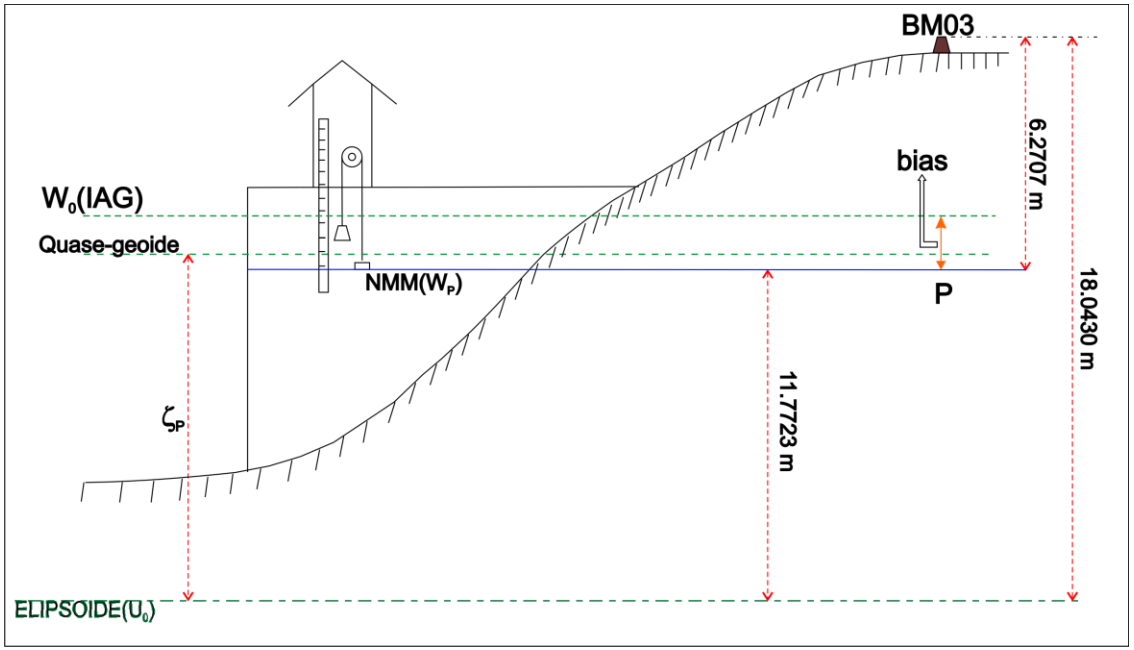
Offset Solução Fixada		nmax=300			nmax=200			Media (m)	σ (m)
		4°x4°	3°x3°	2°x2°	4°x4°	3°x3°	2°x2°		
Com ζ_0	T_P (m^2/s^2)	105.9928	105.7978	106.6851	105.9002	106.1537	108.6692		
	W_P (m^2/s^2)	62636850.3444	62636850.1494	62636851.0367	62636850.2518	62636850.5053	62636853.0208		
	U_P (m^2/s^2)	62636745.3195			62636745.3195				
	ζp	**10.8709**	**10.8509**	**10.9419**	**10.8614**	**10.8874**	**11.1454**		
	ΔH_0(m)	**0.3037**	**0.3237**	**0.2371**	**0.3132**	**0.2872**	**0.0292**	**0.3069**	**0.0155**
	dW (m^2/s^2)	2.9613	3.1563	2.2690	3.0539	2.8004	0.2848		
Sem ζ_0	T_P (m^2/s^2)	115.1365	114.9415	115.8287	115.0439	115.2974	117.8129		
	W_P (m^2/s^2)	62636859.1980	62636859.2931	62636860.1804	62636859.3955	62636859.6490	62636862.1645		
	U_P (m^2/s^2)	62636745.3195			62636745.3195				
	ζp	**11.8087**	**11.7887**	**11.8797**	**11.7992**	**11.8252**	**12.0900**		
	ΔH_0(m)	**-0.6341**	**-0.6141**	**-0.7051**	**-0.6246**	**-0.6506**	**-0.9086**	**-0.6309**	**0.0155**
	dW (m^2/s^2)	-6.1824	-5.9874	-6.4151	-6.0897	-6.3433	-8.8588		
	W_0 (IAG) (m^2/s^2)	62636853.400			62636853.400				
	U_0 (GRS80) (m^2/s^2)	62636860.850			62636860.850				

UFPR
Universidade
Federal do Paraná

Termo de grau zero considerado

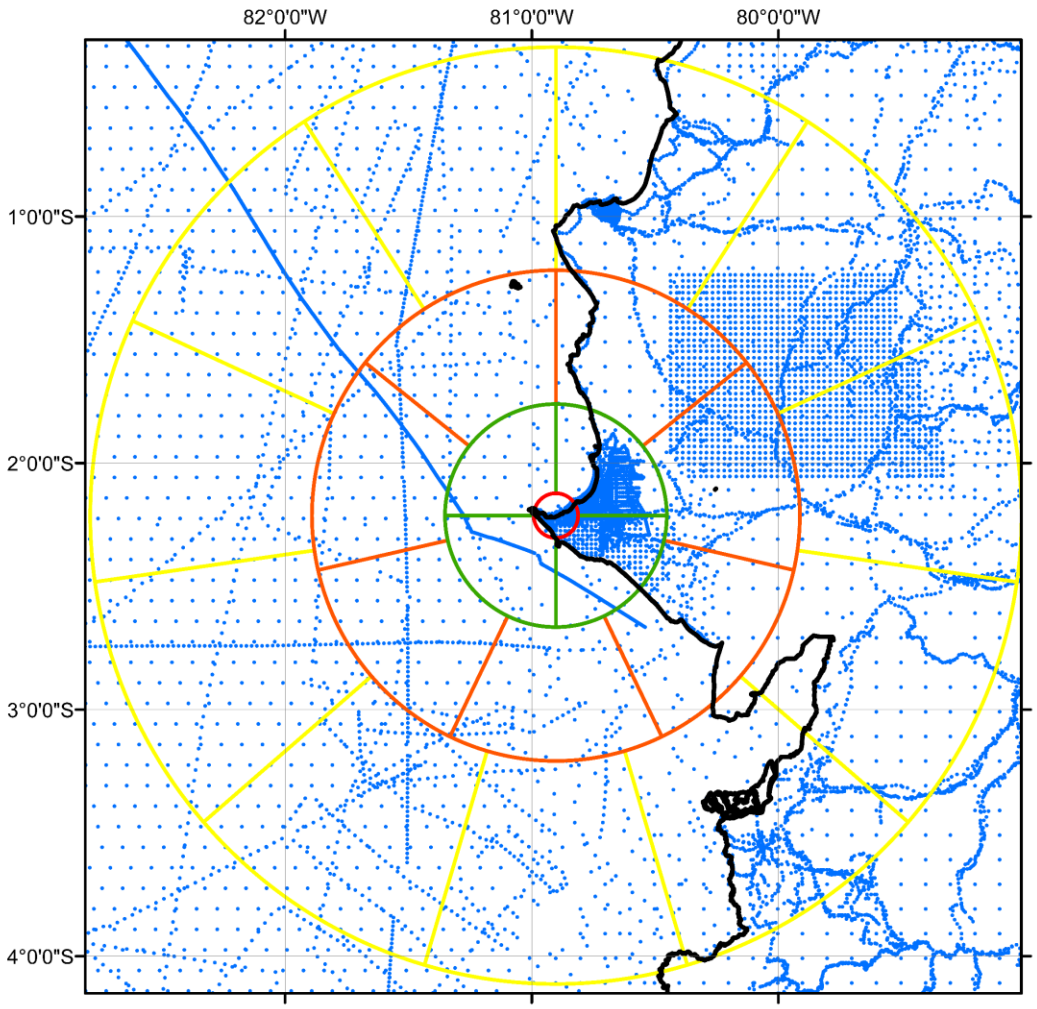


Termo de grau zero não considerado



UFPR
Universidade Federal do Paraná

ESTAÇÕES IHRF/GGRF



Esquema da contribuição dos efeitos gravimétricos ao quase-geoide ($\delta g = 1\ \mu\ ms^{-2} \rightarrow 1$ mm)

Distância	Células	No. de pontos plano/montanha
10 km	1	4/8
50 km	4	20/30
110 km	7	30/45
210 km	11	50/75
Soma	23	100/150

Região	Raio (km)	N° registros
I	10	470
II	50	2265
III	110	1809
IV	210	5733

- As características heterogêneas dos dados fazem com que seja necessário compatibilizar os registros gravimétricos em termos de referenciais geodésicos e sistemas de marés envolvidos.

- Uma filtragem *outliers* é etapa fundamental dada a heterogeneidade dos dados.

- Soluções fixadas apontaram que o DVE situa-se cerca de 30 cm acima da referência global quando considerado o termo de grau zero e de 63 cm abaixo da mesma referência quando desconsiderado o termo de grau zero.

- Ainda restam dúvidas no âmbito da IAG a respeito da forma mais adequada de realizar os vínculos locais com o valor de W_0 do IHRS. Esta análise ainda está em curso no âmbito do IAG/GGOS *Working Group 0.1.2 on the Strategy for the Realization of the* IHRS.

MUCHAS GRACIAS!
MUITO OBRIGADO!
GRAZIE MILLE!

AGRADECIMENTOS:

- Ao Instituto Geográfico Militar do Equador (IGM-EC) por fornecer os registros gravimétricos terrestres *in-situ*.
- À Secretaria Nacional de Educação Superior Ciência, Tecnologia e Inovação (SENESCYT) pela bolsa de estudos de José Carrión.
- Ao CNPq pelo apoio PQ processo 306936/2015-1