



## Desenvolvimento de um modelo geoidal gravimétrico para o Distrito Federal

Yellinson de Moura Almeida<sup>1\*</sup>, Giuliano Sant'Anna Marotta<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Observatório Sismológico da Universidade de Brasília (SIS-UnB)

Copyright 2019, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 16<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 19-22 August 2019.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 16<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

A well-determined geoidal model is fundamental for determination of orthometric altitudes, which are necessary for diverse applications in infrastructure works, civil construction, irrigation, master plans, etc. There are several techniques for determining geoid models. Among them, Remove-Compute-Restore has stood out and provided good results around the world. This technique uses components of long, medium and short wavelength, from Global Geopotential Models, Earth Gravimetric Stations and Digital Terrain Models to generate gravimetric geoidal models that are the result of the integration of this data. In this work, 24 gravimetric geoid models were generated for the Federal District, through the GRAVTool computational routines package. These models are the result of crossing different data at each wavelength used by the Remove-Compute-Restore technique. Statistical analyzes were also performed to verify the precision of the given models and the influence of each variable on that precision.

### Introdução

Os modelos geoidais, segundo Silva (2017), possuem papel importante para a transformação entre altitudes geométricas ( $h$ ) e ortométricas ( $H$ ). Além disto, um geóide bem determinado é fundamental para a obtenção de altitudes ortométricas, que são necessárias para diversas aplicações, incluindo obras de infraestrutura (abastecimento de água, drenagem de águas pluviais e esgoto, etc.), construção civil, irrigação, planos diretores, etc...

Existem vários métodos para determinar a altura do geóide, ou modelo geoidal ( $N$ ), que utilizam dados de gravidade, modelos geopotenciais, as componentes astro-geodésicas, ou a combinação deles (Marotta e Vidotti, 2017). Também, dentre as técnicas existentes, uma que têm se destacado atualmente é a Remove-Calcula-Restaura (RCR). A aplicação dessa técnica pode ser observada em trabalhos de diversas partes do mundo, como Canadá, Turquia, Áustria e Brasil (Schwars et al., 1990; Ayhan, 1993; Zhang et al., 1998; Blitzkow et al., 2012; Marotta e Vidotti, 2017). Segundo Sansó e Sideris (2013), essa técnica considera as componentes

de comprimento de onda curto, médio e longo, que são provenientes de dados de elevação, dados de gravidade terrestre e modelos de geopotencial global, respectivamente.

### Metodologia

O procedimento para determinação de um modelo geoidal ( $N$ ) utilizando a técnica RCR pode ser dividido, segundo Marotta e Vidotti (2017), em três etapas. Na primeira, remove-se a componente de longo comprimento de onda da anomalia de gravidade (neste trabalho utilizou-se a anomalia de gravidade de Helmert) estimada por observações gravimétricas terrestres, utilizando anomalias de gravidade provenientes de um modelo de geopotencial global (MGG). A esta anomalia de gravidade resultante dá-se o nome de anomalia de gravidade residual. No segundo estágio, calcula-se o modelo de co-geóide residual, utilizando a anomalia de gravidade residual, o modelo co-geóide para os comprimentos de onda longos, proveniente do MGG adotado, e o efeito indireto primário da topografia. Por fim, estima-se o modelo do geóide através da soma dos modelos de co-geóide gerados e do efeito indireto primário da topografia.

A técnica RCR exige, em sua forma, que os dados utilizados estejam disponíveis em uma área maior do que aquela para qual se pretende determinar o modelo geoidal. Por essa razão, a região empregada para geração do modelo geoidal compreende parte dos estados da Bahia, Minas Gerais e Goiás, conforme mostra a Figura 1. Também, na Figura 1, são apresentados os limites dos dados utilizados.

Os dados utilizados para determinação dos modelos geoidais foram: modelos de geopotencial global EIGEN-6C4, GECO e EGM2008, em grau e ordem 150 e 250; modelos digitais de terreno SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) nas resoluções 1 arco-segundo e 3 arco-segundos; 3897 dados de estações gravimétricas terrestres; 2 valores de densidade média, utilizados nas reduções gravimétricas, obtidos por inversão pelo método F-H (Parasnis, 1952, 1979), e por amostragem de rochas. A Figura 2 mostra a localização das 38 amostras de rocha coletadas para a estimativa da densidade média pelo método direto.

Para comparação dos modelos gerados, foram utilizadas 26 referências de nível (RN) localizadas no Distrito Federal (Figura 3). Essas RNs permitem o cálculo pontual da ondulação geoidal através da diferença entre

## Desenvolvimento de um modelo geoidal gravimétrico para o Distrito Federal

altitude ortométrica, dada por nivelamento geométrico, e a altitude geométrica, determinada por posicionamento GNSS.

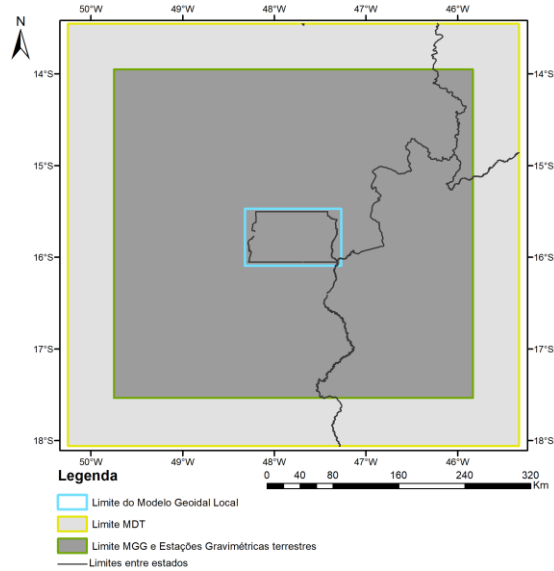


Figura 1 - Limites dos dados utilizados.

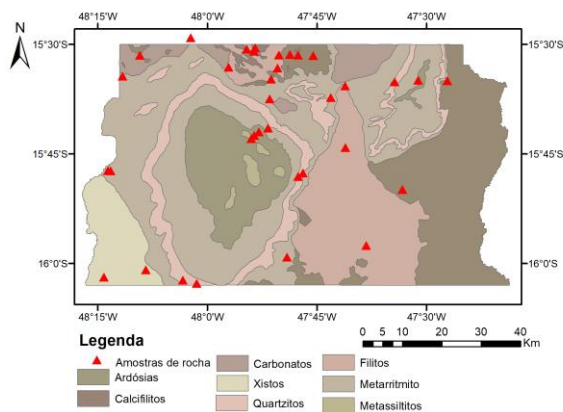


Figura 2 – Mapa litológico do Distrito Federal e localização das amostras de rocha.

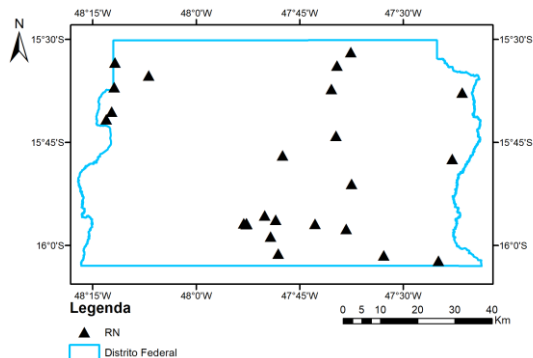


Figura 3 – Localização dos pontos utilizados para análise da precisão dos modelos geoidais.

## Resultados

O valor de densidade média obtido através da inversão foi de  $2,58 \text{ g/cm}^3$ , enquanto o valor obtido com o método de amostragem de rochas foi de  $2,12 \text{ g/cm}^3$ . Esses valores foram considerados adequados, uma vez que, como se pode observar no mapa da figura 2, as rochas no Distrito Federal são predominantemente sedimentares e o valor recomendado pelo IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service), de  $2,67 \text{ g/cm}^3$ , corresponde a uma crosta composta por rochas cristalinas.

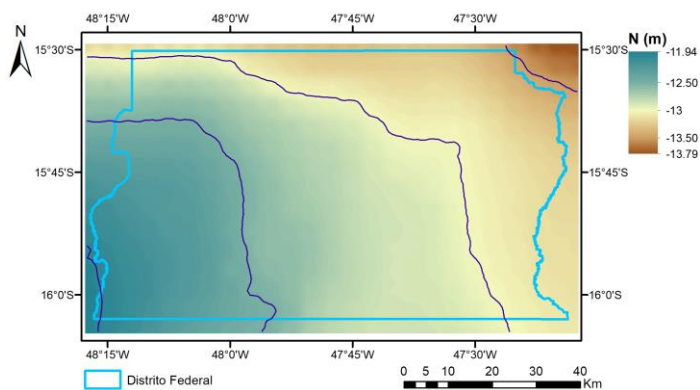
Para obter o modelo geoidal local com a melhor precisão, todos os dados descritos foram alternados, gerando 24 modelos distintos. Os dados utilizados na terceira etapa da aplicação da técnica RCR foram interpolados, através do método do inverso do quadrado da distância, em uma malha regular de  $2,5'$ , para que, dispostos em uma distribuição espacial homogênea, fosse possível a realização dos cálculos.

Calculados os 24 modelos, realizou-se a análise estatística das diferenças, entre as alturas geoidais estimadas e as alturas Geoidais conhecidas nos pontos onde se encontram as RNs. O modelo geoidal oficial brasileiro MAPGEO2015 também teve suas alturas geoidais analisadas com relação às RNs. O modelo geoidal que apresentou o melhor resultado foi denominado I3G2 (Figura 4). Esse modelo foi estimado utilizando-se o valor de densidade média obtido por inversão dos dados gravimétricos terrestres; modelo digital de terreno SRTM 1 arco-segundo; e modelo de geopotencial global GECO, com grau e ordem 250.

Estatisticamente, o modelo gerado nesse trabalho apresentou melhor aderência às RNs quando comparado ao MAPGEO2015, conforme mostra a Tabela 1. Também se observou que a maior discrepância entre os modelos gerados foi causada pelo modelo digital de terreno utilizado, enquanto a menor discrepância foi devida à densidade média constante utilizada.

Estadística	MAPGEO2015	I3G2
Máximo (m)	0,320	0,122
Mínimo (m)	-0,065	-0,146
Amplitude (m)	0,385	0,268
Média (m)	0,060	-0,065
Desvio Padrão (m)	0,079	0,054
RMS (m)	0,099	0,085

Tabela 1 - Resultado das diferenças entre o MAPGEO2015 e o I3G2 em relação aos pontos de RN/GNSS.



**Figura 4** – Modelo geoidal gravimétrico I3G2. As isolinhas estão separadas por intervalos de 0,50m.

## Conclusão

O modelo geoidal gravimétrico desenvolvido neste trabalho apresenta precisão compatível com os modelos geoidais mais utilizados e com as alturas geoidais determinadas por meio de nivelamento geométrico apoiado por posicionamento GNSS. Isso evidencia a importância do desenvolvimento de modelos geoidais locais precisos, que servem de suporte às mais variadas finalidades e possuem a vantagem de terem altitudes geoidais determinadas em todos os pontos de uma região.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao IBGE, ANP, USGS e ICGEM pelos dados fornecidos. Também agradecem à Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAPDF) pelo suporte financeiro para realização deste trabalho.

## Referências

- Ayhan, M. E. 1993. Geoid determination in Turkey. *Bulletin Geodesique*, 67, pp.10–22.
- Blitzkow, D.; Matos, A. C. O. C.; Fairhead, J. D.; Pacino, M. C.; Lobianco, M. C. B.; Campos, I. O. 2012. The progress of the geoid model computation for South America under GRACE and EGM2008 models. *International Association of Geodesy Symposia*, 136, pp.893-899.
- Marotta, G.; Vidotti, R. M. 2017. Development of a Local Geoid Model at the Federal District, Brazil, Patch by the Remove-Compute-Restore Technique, Following Helmert's Condensation Method, *Bulletin of Geodetic Sciences*, vol. 23 (3), 520-538.
- Parasnis, D. S., 1952. A study of rock density in English Midlands. *Mon. Not. R. Astron. Soc. Geophys. Suppl.*, 6, 252-271.

Parasnis, D. S., 1979. Principles of applied geophysics. Third edition, Chapman and Hall, London, 275p.

Sansò, F.; Sideris, M. G. 2013. Geoid determination – theory and methods. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1st ed, 734 p.

Schwarz, K. P.; Sideris, M. G.; Forsberg, R. 1990. The use of FFT techniques in physical geodesy. *Geophysical Journal International* 100, 485–514.

Sideris, M. G.; She, B. B. 1995. A new, high resolution geoid for Canadá and part of the U. S. By 1D-FFT method, *Bulletin Géodésique* 69, 92–108.

Silva, D. V. R. Determinação de um modelo geoidal local para o Distrito Federal. 2017. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) – Universidade Federal de Brasília, 2017.

Zhang, K.; Featherstone, W.; Stewart, M.; Dodson, A. 1998. A new gravimetric geoid for Austria. In: Second Continental Workshop on the Geoid, Reports of the Finnish Geodetic Institute, 225–233.