
ANÁLISE DAS DISCREPÂNCIAS DO MODELO GEOIDAL BRASILEIRO EM ESTAÇÕES ALTIMÉTRICAS DE PRIMEIRA ORDEM LOCALIZADAS NO LITORAL E AGRESTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO

GLAUBER DE CARVALHO COSTA ^{1,2}

CHARLES SILVA DE ALBUQUERQUE ¹

FERNANDO JOSÉ DE LIMA BOTELHO ¹

IGOR CARVALHO DE ALMEIDA ²

¹ Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP

Centro de Tecnologia CCT - Departamento de Engenharia Civil

Rua do Príncipe nº526 – Boa Vista, CEP 50050-200 – Recife /PE

² Maia Melo Engenharia

Rua General Joaquim Inácio, nº136 – Ilha do Leite, CEP 50070-270 – Recife/PE

glaubercad@bol.com.br, charles.engcsa@gmail.com, fbotelho@unicap.br, igorcarvalho78@hotmail.com

RESUMO – Nos últimos anos ocorreu um aumento no uso de equipamentos baseados nas tecnologias de posicionamento por satélites para levantamentos de precisão, aumento este impulsionado pelo avanço tecnológico e pela redução dos custos de aquisição dos equipamentos de levantamento por satélite de alta precisão. A tecnologia baseia-se no levantamento pós-processado e via rádio em tempo real, e apresentam hoje desempenho quanto à precisão planimétrica compatíveis aos valores alcançados pela topografia clássica, que usa a estação total como principal instrumento de medição, mas para a consolidação do seu uso na altimetria, é necessário um refinamento do modelo geoidal brasileiro, pois é através da ondulação geoidal calculada pela interpolação do modelo geoidal, que as alturas elipsoidais medidas pelos equipamentos de posicionamento por satélite, são convertidas em altitudes ortométricas, fundamentais nos trabalhos de engenharia civil e cartografia. O presente trabalho analisou as discrepâncias existentes das ondulações geoidais calculadas no modelo geoidal brasileiro do IBGE, com as determinadas em campo, utilizando nível, estação total e receptor GNSS, objetivando verificar a consistência do modelo geoidal brasileiro do IBGE. Para isso foram medidos 3 marcos altimétricos pertencentes à rede de 1ª ordem do IBGE, localizados na região litorânea e agreste do estado de Pernambuco.

ABSTRACT - In recent years there was an increase in the use of equipment based on satellite positioning technologies for precision surveys, this increase driven by technological advances and by reducing the costs of acquisition of equipment satellite very good precision. The technology from system GNSS post-processed and Kinematic in Real Time - RTK, has performance compatible as the planimetric accuracy with the values obtained by classical topography and using at present the total station as the main measuring instrument, but to consolidate the its use in altimetry, we need a refinement of the Brazilian geoid model, and is through the geoid undulation calculated by interpolation in the Brazilian geoid model MAPGEO 2010, the ellipsoidal heights measured by satellite positioning equipment, are converted into orthometric height. The orthometric height is very important in engineering jobs and cartography. This paper analyzed the discrepancies of geoid undulations calculated from system GNSS receiver in order to verify the consistency Brazilian geoid model of IBGE, with certain field using level, total station and GNSS receiver in order to verify the consistency of the Brazilian geoid model of IBGE. To this were measured 3 altimetry landmarks belonging to the altimetry network 1st order of IBGE, located in coastal and West of the state of Pernambuco.

1 INTRODUÇÃO

O crescente uso das tecnologias de posicionamento baseado na constelação de satélites para levantamentos topográficos, sobretudo impulsionado pela disseminação da técnica de levantamento via rádio usando a constelação GNSS (*Global Navigation Satellite System*), também denominado método de levantamento RTK (*Kinematic Real*

Time), gerou um avanço qualitativo e produtivo nos projetos e obras de engenharia e de mapeamento, quando comparado a algumas técnicas consagradas.

Quando são iniciados os trabalhos de levantamento de uma obra de engenharia, é preciso implantar marcos de amarração planialtimétricos, no terreno da obra e ao longo do traçado, este último quando se tratar de uma obra viária, mas nem sempre há disponibilidade de uma rede altimétrica de altitudes ortométricas (H) conhecidas próxima a obra, para usá-la como partida nos levantamentos altimétricos nos trabalhos de levantamento, já que nas obras de engenharia os levantamentos altimétricos devem ser referenciados ao geóide (altitudes ortométricas), mas quando há indisponibilidade de marcos de partida com altitudes ortométricas conhecidas, hoje se opta em usar o levantamento por satélite para calcular as coordenadas planimétricas e as alturas elipsoidais (h) dos marcos planialtimétricos topográficos, com isso surgindo a necessidade de transformar as alturas elipsoidais (h), determinadas com o rastreamento dos marcos com receptores de satélites GNSS, em altitudes ortométricas (H). Também é importante ressaltar que a altitude continua sendo um problema bastante discutido na geodésia, sobretudo pela comunidade envolvida com sua determinação e utilização. A discussão diz respeito ao ponto de vista conceitual e ao ponto de vista prático quando de sua determinação (BLITZKOW et al, 2004; SANTOS, 2009; SANTOS et al, 2012).

Através de modelos geoidais de origem gravimétrica, é possível converter as alturas elipsoidais em altitudes ortométricas, usando a ondulação geoidal como parâmetro de conversão, sendo esse parâmetro obtido a partir das medições da variação da aceleração de gravidade de forma absoluta e relativa em toda a superfície física da terra (SEEBER, 2003; MONICO, 2000a). Para isso é necessário realizar medições gravimétricas na superfície da terra, que no Brasil iniciou-se por volta de 1967, com determinação pendulares na Paraíba (GEMAEL, 2002; SILVEIRA, 2009) e somente adquiriu um caráter sistemático a partir de 1990, quando o IBGE estabeleceu estações gravimétricas visando recobrir os grandes vazios de informação de aceleração da gravidade que existem, especialmente nas regiões norte, centro-oeste e nordeste do Brasil. Desde então, alguns órgãos como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) e a *Geophysical Exploration Technology* da Universidade de Leeds (GETECH), contribuíram e contribuem na organização, planejamento, execução e controle dos levantamentos gravimétricos, sendo estabelecidas estações no território nacional, formando o mapa geodésico brasileiro adotado atualmente, datado de 2010 e que compõe a base de dados do programa interpolador MAPGEO2010 (IBGE, 2013).

Na prática para converter as alturas elipsoidais (h) medidas com receptores GNSS em altitudes ortométricas (H), realiza-se uma interpolação com o modelo geoidal brasileiro, utilizando o programa interpolador MAPGEO 2010, desenvolvido pelo (IBGE), pela Coordenação de Geodésia (CGED), em parceria com a EPUSP, concebido a partir de medições gravimétricas com resolução de 5', foi calculado utilizando mais de 928.000 pontos de gravimetria e validado por medições das ondulações geoidais de 804 referências de nível (RRNN) que tiveram suas coordenadas geodésicas determinadas através de observações no sistema Global de Posicionamento por Satélite (GPS), também denominadas GPS/RRNN, sendo as ondulações geoidais das mesmas obtidas por meio da associação das altitudes geodésica e ortométrica (IBGE, 2010). O uso do MAPGEO2010 apesar de ser um método bastante difundido no âmbito da engenharia, o mesmo ainda apresenta um erro médio padrão de ordem centimétrica, de acordo com o IBGE, podendo ser de $\pm 0,32\text{m}$ nas áreas metropolitanas da região Sul e Sudeste do país, e que em outras regiões esse erro poderá ser ainda maior, como por exemplo, na região amazônica onde há uma carência de informações de nivelamento geométrico, cuja ordem de grandeza do erro pode inviabilizar algumas aplicações desse método de conversão nas obras de engenharia (IBGE, 2013).

Com base no contexto acima, a análise das discrepâncias do modelo geoidal brasileiro, objetivando seu refinamento, passa a ser prioritário para viabilizar a determinação apropriada de dados altimétricos referenciados ao geóide (altitudes ortométricas), nas obras de Engenharia e trabalhos de mapeamento cartográfico, portanto o refinamento do modelo geoidal brasileiro e o conhecimento de seu grau de precisão, tem um caráter estratégico para o desenvolvimento do Brasil, pois as grandes obras de infraestrutura tão necessárias partem de projetos geridos com base em informações levantadas por diversificadas geotecnologias, inclusive a técnica de posicionamento por receptor GNSS.

2 LEVANTAMENTO DE CAMPO

Com base na análise do mapa de discrepância do IBGE (Figura 1), gerado a partir da diferença das ondulações geoidais oriundas das leituras planialtimétricas de campo em 804 referências de nível (RRNN), e calculada no modelo geoidal MAPGEO2010, foram escolhidos para o presente estudo 3 marcos pertencentes a rede geodésica altimétrica de 1ª Ordem brasileira, com uma variação da ondulação geoidal aproximadamente de $-0,2\text{m}$ a $+1,0\text{m}$ (IBGE, 2013).

Ceará/CE



Figura 1 – Mapa de discrepâncias entre o modelo de ondulação geoidal e os pontos GPS/RRNN (IBGE, 2013).

2.1 Área de estudo

À área teste foi a região do litoral e o agreste do estado de Pernambuco, os três marcos altimétricos usados como referência para realizar o transporte de altitudes ortométricas e rastreamento GNSS do presente trabalho, são pertencentes a rede geodésica altimétrica de 1ª Ordem brasileira, implantada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística na década 50, sofrendo posteriormente uma reconstituição a partir da década de 80, como também um ajustamento altimétrico simultâneo no ano de 2011, os marcos usados como partida estão localizados na cidade de Garanhuns/PE (RRNN-371Q), Gravatá/PE (RRNN-1814H) e na cidade do Recife/PE (RRNN-3640F) conforme distribuição geográfica mostrado na Figura 2 indicada abaixo.

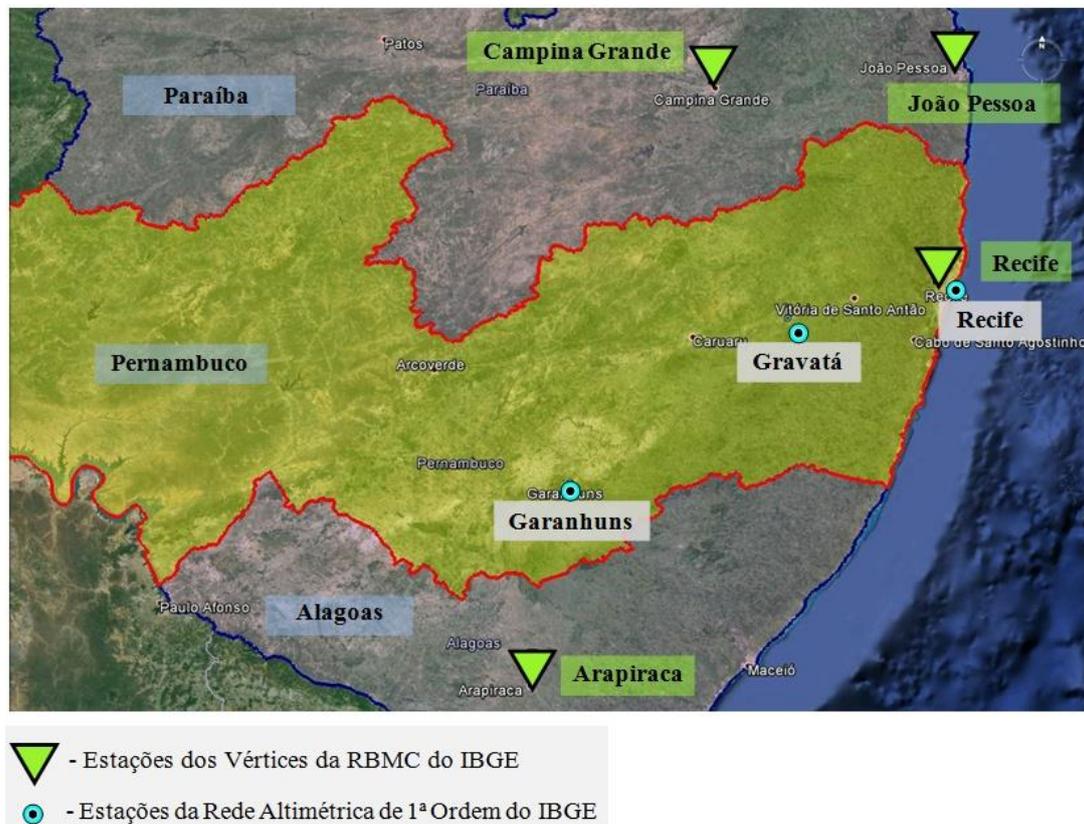


Figura 2 – Localização dos marcos de Referência de Nível do IBGE usados nos levantamentos.

A escolha dos marcos baseou-se na variação da altitude da região, sua posição geográfica em relação a forma do mapa estadual, proximidade com as estações da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) usadas como estações base no pós-processamento e por fim a análise do mapa de discrepância do IBGE, sendo estabelecido que o rastreamento e monumentação dos marcos iniciariam ao nível médio do mar (região litorânea) e a partir desse ponto os próximos pontos a serem levantados deveriam se posicionar longitudinalmente ao mapa do estado de Pernambuco, com uma cadência de altitude variando aproximadamente 400m (região do agreste e litoral), esse critério permitiu avaliar o comportamento das forças gravitacionais que interferem na superfície geoidal e consequentemente nas ondulações geoidais. Na Tabela 1 abaixo, são indicadas as localizações das referências de nível do IBGE usadas nos estudos, sendo esses dados de localização constantes nos Relatórios de Estação Geodésica de RRNN do IBGE (IBGE, 2012), com ajustamento altimétrico da rede altimétrica realizados em 15/06/2011.

Tabela 1 – Indicação da localização dos marcos de referência de nível do IBGE usados nos estudos (IBGE, 2012).

Número do RRNN	Localização	Distância aproximada em relação ao Litoral do Estado (km)	Coordenadas Geodésicas (apenas para localização) Datum SIRGAS 2000		Data do ajustamento altimétrico da rede	Data última visita do IBGE ao marco	Altitude Ortométrica (m)
			Latitude	Longitude			
3640F	Recife	0,00	8° 03' 47,39" S	34° 52' 16,10"W	2011	10/8/2010	3,245
1814H	Gravatá	80,00	8° 11' 51,00" S	35° 34' 22,00"W	2011	25/8/2008	460,653
371Q	Garanhuns	200,00	8° 53' 13,00"S	36° 29' 11,00"W	2011	30/1/2013	868,648

2.2 Transporte de altitude ortométrica (H)

As Referências de Nível 371Q (Garanhuns/PE) e 1814H (Gravatá/PE) foram transportadas respectivamente para o marco M1 implantado com chapa metálica fixada numa base de concreto na Praça Santo Antônio em frente à Igreja de Santo Antônio, matriz da cidade de Garanhuns/PE e para o marco M2 implantado com chapa metálica fixada no piso da praça em frente à igreja de Santa Luzia, na Rua do Norte, bairro Norte na cidade de Gravatá/PE (Figuras 3), pois suas localizações inviabilizavam o rastreamento GNSS e tiveram suas altitudes transportadas utilizando nível óptico (leitura visual da mira falante) da marca Leica, modelo série NA700, com precisão para medição simples (distância do alvo igual ou inferior a 30m) de 1,5mm (LEICA, 2013), como também foi realizado um transporte com estação total (nivelamento trigonométrico) da marca Pentax, modelo de estação total R-425N, com precisão de medida de distância utilizando prisma refletivo de $\pm (2\text{mm} + 2\text{ppm} \times D)$, sendo "D" a distância medida em quilômetros e de precisão angular de 5".



(a)



(b)

Figura 3 - Detalhe da chapa do marco planialtimétrico implantado M2 na cidade de Gravatá/PE (a) e da Chapa do Marco M1 implantado em Garanhuns/PE (b).

Os levantamentos altimétricos realizados nos transportes de altitude ortométrica do RRNN-371Q (Garanhuns/PE) para o marco implantado M1 e do RRNN-1814H (Gravatá/PE) para o marco implantado M2 (Figura 4), foram realizados por nivelamento geométrico simples, com apenas uma única estação de trabalho para cada transporte de altitude ortométrica realizado, isso se deu pelo fato das distâncias das visadas serem inferiores a 80m e pela intervisibilidade existente entre o RRNN do IBGE de origem e o marco a ser implantado (MCCORMAC, 2007), sendo, portanto realizadas visadas únicas de Ré e Vante para cada transporte de altitude ortométrica, caracterizando a técnica de nivelamento geométrico simples, com isso foi dispensada a realização de contranivelamento.

Além do nivelamento geométrico simples, que é considerado o de maior precisão e o preconizado nas normas do IBGE (RESOLUÇÃO - PR n° 22, de 21-07-83) e da ABNT para transporte de cota para implantação de nível de referência de 1ª Ordem no Brasil, nivelamento Classe IN (NBR-13133/94, pag. 17), foi realizado o nivelamento trigonométrico, este último servindo apenas como uma referência de ordem de grandeza para avaliar os desníveis medidos pelo nível (nivelamento geométrico simples), como também para possibilitar a detecção de possíveis erros grosseiros cometidos nas medições com o nível, onde os resultados dos desníveis medidos com o nível e a estação total encontram-se apresentados na tabela 2, e as altitudes ortométricas dos marcos implantados M1 e M2 foram calculadas a partir dos desníveis medidos apenas no nivelamento geométrico simples.

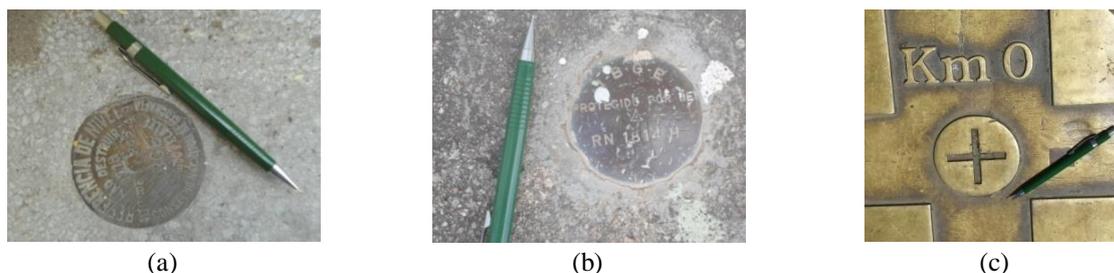


Figura 4 - Vista da plaqueta de identificação do RRNN-371Q na cidade de Garanhuns/PE (a), RRNN-1814H na cidade de Gravatá/PE (b) e do marco altimétrico RRNN-3640F na cidade de Recife/PE (c).

Tabela 2 – Resultados das altitudes ortométricas dos marcos M1 e M2.

Marco	Nivelamento Geométrico Simples Desnível (DN) (m)	Nivelamento Trigonométrico Desnível (DN) (m)	Altitude Ortométrica (m)
M1 (Garanhuns/PE)	1,504	1,510	840,927
M2 (Gravatá/PE)	0,544	0,539	460,109

2.3 Rastreamento GNSS dos marcos

Para o transporte de Coordenadas planimétricas e na determinação das alturas elipsoidais dos marcos implantados e rastreados (RRNN-371Q e RRNN-1814H) e apenas rastreado (RRNN-3640F), foram usados os vértices da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) localizados nas cidades de Campina Grande/PB (PBCG), Arapiraca/AL (SAT 93237- ALAR) e Recife (SAT- 93110-1999- RECF), conforme mostrado na Figura 2 acima.

Para o transporte das coordenadas e determinação da altura Elipsoidal para os marcos M1 (Garanhuns/PE) e M2 (Gravatá/PE) implantados e para o marco RRNN-3640F apenas rastreado (Figura 5), utilizou-se um receptor GNSS multifrequência da marca TechGeo, modelo Zênite 2, o receptor usado tem precisão planimétrica no modo estático de $\pm 2,5\text{mm} + 0,5\text{ppm} \times \text{comprimento da linha de base}$, e é capaz de receber sinais das constelações NAVSTAR/GPS e GLONASS por meio das frequências L1 e L2.

O rastreamento GNSS feito no RRNN-3640F (Recife/PE) foi de seção única de 1 hora de duração no dia 19/10/2013, tempo este estabelecido devido à proximidade com a estação base (SAT-93110-1999- Recife/PE) que é de aproximadamente 9,0 km (linha de base), para o marco M2 (Gravatá/PE) implantado, foi feita uma seção única de 2 horas de duração no dia 07/09/2013, devido à proximidade com a estação base (SAT- 93110-1999- Recife/PE) que é de aproximadamente 75,0 km (linha de base), já para o Marco M1 (Garanhuns/PE) implantado, foram feitas duas seções em dois dias distintos (07/09/2013 e 08/09/2013), conforme estabelece o INCRA (INCRA, 2013), sendo a adoção de dois dias de rastreamento também com o objetivo de realizar uma checagem dos resultados, pois o marco M1 era o marco que se encontrava mais afastado da estação base do IBGE utilizada (96,0km), como também foi realizado com o tempo de rastreamento de 3 horas, e o processamento realizado com no mínimo três estações base, a de Campina Grande/PB (PBCG) que tem distância aproximada de 196,0 km (linha de base) para o marco M1, a de Arapiraca/AL (SAT-93237) que tem distância aproximada de 96,0 km (linha de base) para o marco M1 e por fim a estação Base de Recife/PE (SAT-93110-199), que tem distância aproximada de 193,0 km (linha de base) para o marco M1.

Tabela 3- Distâncias aproximadas entre os vértices levantados e os vértices da RBMC.

Marco levantado	Vértice da RBMC	Distância Aproximada (km)
M1 (Garanhuns/PE)	Campina Grande/PB (PBCG)	196,0
M1 (Garanhuns/PE)	SAT-93110-1999- Recife/PE	193,0
M1(Garanhuns/PE)	SAT-93237- Arapiraca/AL	96,0
M2 (Gravatá/PE)	SAT-93110-1999- Recife/PE	75,0
RRNN-3640F (Recife/PE)	SAT-93110-1999- Recife/PE	9,0

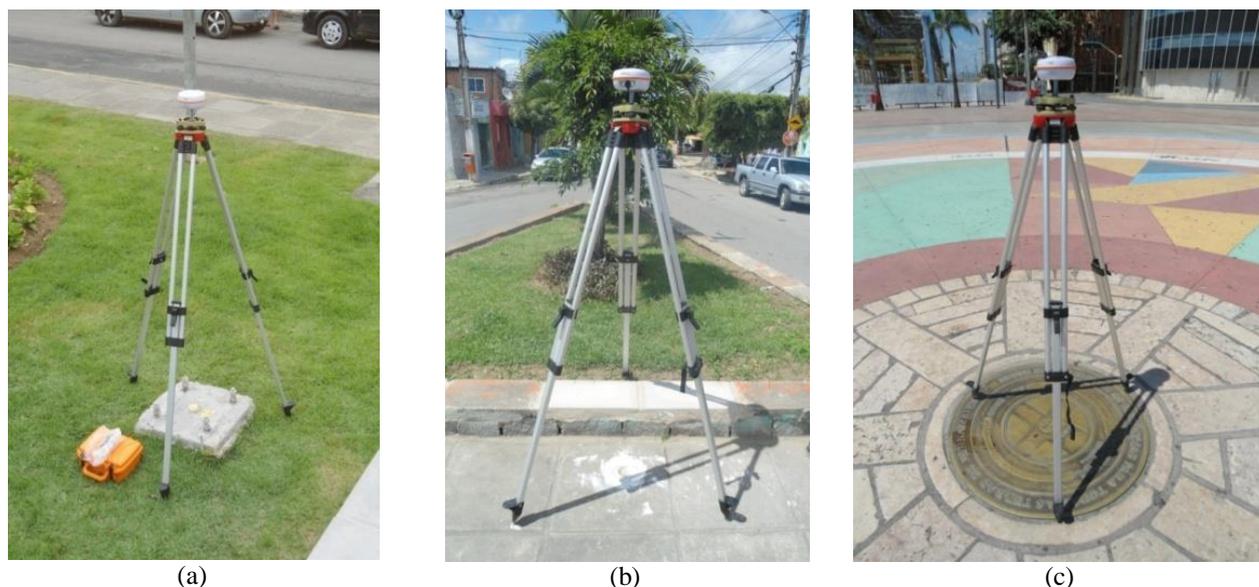


Figura 5 - Rastreamento GNSS com o receptor Zênite 2 nos marcos planialtimétricos implantados M1 na cidade de Garanhuns/PE (a) e M2 na cidade de Gravatá/PE (b) e no marco rastreado RRNN-3640F na cidade de Recife/PE.

Nas operações de rastreamento, foram realizadas as medições das alturas das antenas em relação aos marcos rastreados, sendo essas medições realizadas utilizando uma trena de fibra de vidro previamente calibrada, por meio de régua de aço, com precisão de $\pm 0,5\text{mm/m}$, disposta verticalmente em relação ao plano de referência horizontal gerado a partir do topo do marco rastreado.

A Tabela 4 indicada abaixo mostra os marcos topográficos rastreados, e o desvio padrão calculados para cada eixo (X, Y, Z) resultantes do processamento dos dados GNSS, no software GTR Processor. Para o ajustamento foi utilizado o critério de rejeição por controle de qualidade, a um nível de confiança para o processo de ajustamento de 95%, e precisão estabelecida com base nas recomendações do IBGE (2008) na página 11, que estabelece precisão de $\pm 5\text{mm} + 1\text{ppm} \times \text{comprimento da linha de base}$, portanto para a linha base de 96km, vértice RBMC SAT-93237-Arapiraca/AL ao marco M1 (Garanhuns/PE), com 1ppm equivalente a 1mm/km, temos que o desvio padrão do levantamento para o marco M1 deveria ser de $\pm 10\text{cm}$, para a linha base de 75km, vértice SAT-93110-1999- Recife/PE ao M2 (Gravatá/PE), o desvio padrão do levantamento para o marco M2 deveria ser de $\pm 8\text{cm}$, e por fim para a linha base de 9km, vértice SAT-93110-1999- Recife/PE ao RRNN-3640F (Recife/PE), o desvio padrão do levantamento para o marco RRNN-3640F deveria ser de $\pm 1,4\text{cm}$. Portanto como pode ser observado na Tabela 4 indicada abaixo, todos os resultados de desvio padrão calculados, ficaram dentro do estabelecido pelas normas do IBGE.

Tabela 4 – Desvios padrão resultantes do processamento dos dados GNSS.

Marco	Local	Tempo Rastreamento (minutos)	Data	σ_x (cm)	σ_y (cm)	σ_z (cm)
M1	Garanhuns	180	07/09/13	1,0	3,4	2,6
M1	Garanhuns	180	08/09/13	1,0	3,1	2,0
M2	Gravatá	120	07/09/13	2,6	3,0	5,0
RRNN-3640F	Recife	60	19/10/13	0,2	0,2	0,4

No processamento dos dados GNSS, aceitou-se as soluções fixas e livres dos efeitos da refração ionosférica (*Iono Free*). Para as soluções flutuantes (*Iono Free Float*), condicionou-se a aceitabilidade da solução à análise do desvio padrão e erros de fechamento. Os processamentos foram realizados entre um único vértice da RBMC (SAT-93110-1999- Recife/PE) e os marcos levantados M2 e RRNN-3640F, pois ao inserir os dados do Vértice da RBMC de Campina Grande/PB (PBCG) os resultados de desvio padrão ultrapassavam os limites estabelecidos pelo IBGE (2008) demonstrados anteriormente, já para o processamento do marco levantado M1 com os vértices da Arapiraca/AL (RBMC SAT-93237), Recife/PE (SAT-93110-199) e Campina Grande/PB (PBCG), os resultados de desvio padrão foi aceitável e inferior ao limite estabelecido pelo IBGE (2008), quando o processamento foi feito simultaneamente com os dados de rastreamento dos vértices da RBMC das cidades de Arapiraca/AL (SAT-93237), Recife/PE (SAT-93110-199) e Campina Grande/PB (PBCG) com os marcos levantados M2 e RRNN-3640F os resultados ficaram fora do estabelecido pelo IBGE (2008). As coordenadas foram calculadas no sistema SIRGAS2000, no formato de coordenadas geodésicas sexagesimais, com o segundo expresso em 5 casas decimais, e a Tabela 5 abaixo, mostra os marcos topográficos

rastreados, com suas respectivas coordenadas UTM e geodésicas sexagesimais e alturas elipsoidais resultantes do processamento dos dados GNSS. Como pode ser observado na Tabela 5, as coordenadas geodésicas para o marco M1, para os dois dias de rastreios alcançaram resultados distintos, gerados pelo arranjo dos satélites no momento do rastreamento.

Para o cálculo das ondulações geoidais medidas em campo para o marco M1 (Garanhuns/PE), foi considerado para o valor da Altura Elipsoidal do marco M1, o determinado no segundo dia de rastreamento (08/09/2014), pelo fato do desvio padrão calculado para o primeiro dia de rastreamento (07/09/2014), terem sido maiores que o segundo dia de rastreamento (08/09/2014), conforme mostrado a Tabela 4.

Tabela 5 – Resultados das coordenadas UTM e geodésicas sexagesimais nos marcos rastreados.

Marco	Local	Data	Fuso	Latitude	Longitude	Este (m)	Norte (m)	Altura Elipsoidal (m)
M1	Garanhuns	07/09/13	24L	8°53'26,48000"	36°29'32,58249"	775.788,728	9.016.299,748	835,469
M1	Garanhuns	08/09/13	24L	8°53'26,47975"	36°29'32,58477"	775.788,637	9.016.299,756	835,459
M2	Gravatá	07/09/13	25L	8°11'51,31303"	35°34'22,06535"	216.526,144	9.092.950,542	454,922
3640F	Recife	19/10/13	25L	8°03'47,38557"	34°52'16,10110"	293.798,392	9.108.247,008	-2,204

2.4 Determinação das ondulações geoidais

Para a determinação das ondulações geoidais nos três marcos levantados, foi usado o mapa geoidal brasileiro através do software interpolador MAPGEO2010 versão 1.0 (Figura 6), desenvolvido e distribuído pelo IBGE/EPUSP, como também para fins de comparação e avaliação da consistência do modelo geoidal interpolador MAPGEO2010, foi calculada as ondulações geoidais levantadas em campo, através da diferença entre a altitude elipsoidal transportada das referências de nível do IBGE e as alturas elipsoidais medidas pelo rastreamento GNSS.

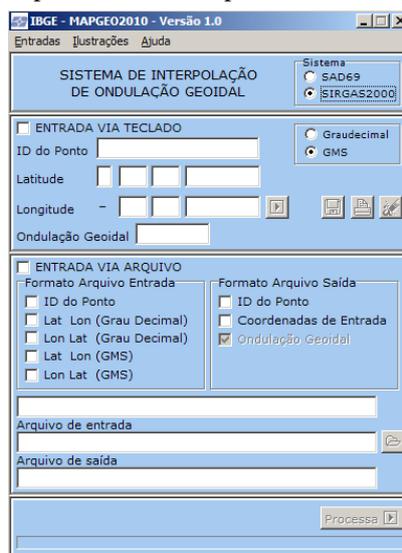


Figura 6 – Vista da Janela do Programa de Interpolação da Ondulação Geoidal MapGEO2010.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise dos dados dos marcos altimétricos levantados

Os marcos altimétricos levantados em campo (M1, M2 e RRNN-3640F) foram inseridos no diagrama de discrepâncias gerado pelo IBGE, entre os dados resultantes da interpolação do modelo de ondulação geoidal MAPGEO2010 e os pontos GPS/ RRNN levantados pelo próprio IBGE, o presente diagrama foi criado para aferir o grau de discrepâncias entre os dados processados do MAPGEO2010.

Conforme mostrado na Figura 7 indicada abaixo, o marco altimétrico RRNN-3640F (Recife/PE) encontra-se na região do litoral do estado de Pernambuco e segundo as discrepâncias do modelo de ondulação geoidal de 2010 do IBGE o mesmo está numa região com discrepância da ondulação geoidal (N) variando de 0m a -0,20m (Região de amarela tendendo para amarela escura conforme legenda), já o marco levantado M2 (Gravatá/PE) o mesmo está numa região onde a ondulação geoidal (N) apresenta discrepância nula (Região amarela conforme legenda), e por fim o marco

levantado M1 (Garanhuns/PE) está posicionado numa região onde a ondulação geoidal (N) apresenta variação de +0,60m a +1,00m (Região verde escura tendendo para verde clara conforme legenda).

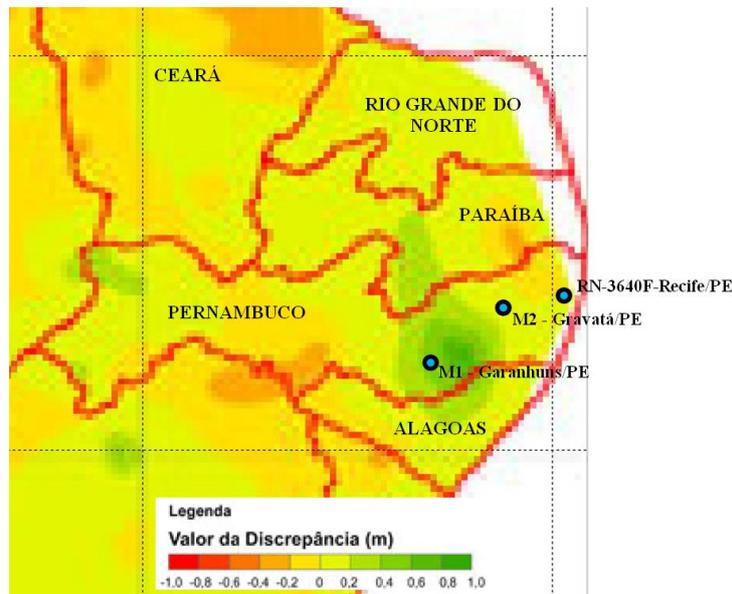


Figura 7—Análise das discrepâncias da ondulação geoidal (N) no diagrama do IBGE dos marcos coletados em campo.

3.2 Extração dos valores do modelo geoidal 2010 brasileiro

Após o processamento e o ajustamento dos dados GNSS, devido à quantidade de pontos coletados (três marcos) gerou-se uma tabela contendo as coordenadas geodésicas (latitude e longitude) para facilitar a inserção dos dados no programa interpolador do mapa geoidal brasileiro MAPGEO2010, sendo os dados das coordenadas geodésicas posteriormente inseridos através da opção “Entrada Via Teclado” e, portanto digitados seus valores um a um. Os dados das coordenadas dos pontos levantados foram digitados no MAPGEO2010, com configuração de Datum SIRGAS2000, e após a execução do comando de processamento, as ondulações geoidais para os marcos M1, M2 e RRNN-3640F foram calculadas, sendo seus resultados constantes na coluna 7 da Tabela 6 abaixo.

3.3 Cálculo das diferenças de ondulação geoidal medidas em campo e as interpoladas no MAPGEO2010

De posse de todos os valores das altitudes ortométricas, alturas elipsoidais e da ondulação geoidal extraído do MAPGEO2010, calculou-se a ondulação geoidal geométrica para cada marco levantado. Em seguida, foi determinada a diferença entre os valores do modelo geopotencial do MAPGEO2010 ($N_{\text{interpolador}}$) e o determinado através das medições diretas de campo por meio de rastreamento GNSS e nivelamento geométrico simples ($N_{\text{obs. Campo}}$), conforme mostrado na Tabela 6, conforme demonstrado na Figura 8.



Figura 8—Vista das superfícies de referência e suas componentes verticais (IBGE, 2010).

$$N_{\text{obs. Campo}} = h_{\text{obs. campo}} - H_{\text{trans. campo}} \quad (1)$$

Sendo,

$H_{\text{trans. campo}}$ = Altitudes Ortométricas transportadas em campo

$h_{\text{obs. campo}}$ = Alturas Elipsoidais das observações GNSS realizadas campo

$N_{\text{obs. campo}}$ = Ondulações Geoidais das observações GNSS realizadas campo

Tabela 6 – Resultados das ondulações geoidais do modelo geopotencial do MAPGEO2010 ($N_{\text{interpolador}}$) e os medidos em campo ($N_{\text{obs. Campo}}$) dos marcos M1, M2 e RRNN-3640F.

Marco	Local	Data	h Elipsoidal obs. campo (m)	H Ortométrica trans. campo (m)	N obs. campo (m)	N interpolador (m)	Resíduo _i ($N_{\text{obs. Campo}} - N_{\text{interpolador}}$) (m)	Módulo do Resíduo _i ($N_{\text{obs. Campo}} - N_{\text{interpolador}}$) (m)
M1	Garanhuns	08/09/13	835,459	840,924	-5,465	-6,840	-1,375	1,375
M2	Gravatá	07/09/13	454,922	460,109	-5,190	-5,200	-0,013	0,013
RRNN 3640F	Recife	19/10/13	-2,204	3,245	-5,449	-5,720	-0,271	0,271
							Média _{resíduos} (m)	0,553
							Desvio Padrão _{resíduos} (m)	0,723

4 CONCLUSÕES

Os valores das ondulações geoidais calculadas nos marcos planialtimétricos implantado M2 (Gravatá/PE) e rastreado RRNN-3640F (Recife/PE), apresentam valores correspondentes às discrepâncias previstas pelo IBGE para a região a 75km do litoral (zona da mata) e na faixa litorânea do estado de Pernambuco, sendo os valores para os resíduos encontrados no marco M2 de Resíduo_{M2} = -0,013m e para o marco RRNN-3640F de Resíduo_{RRNN-3640F} = -0,271m, compatíveis com as discrepâncias previstas pelo IBGE, que é de tendendo a zero para o marco M2 e de 0m a -0,20m para o marco RRNN-3640F, já para o marco implantado M1 (Garanhuns/PE) o resíduo encontrado foi de Resíduo_{M1} = -1,375m, este último bem divergente ao previsto pelo mapa de discrepâncias preconizado pelo IBGE, que prevê um valor variando entre +0,60m a +1,00m, na região do estado de Pernambuco a 200km do litoral (Região do Agreste) do estado de Pernambuco, conforme apresentado na Figura 7 acima.

A média dos resíduos das ondulações geoidais para os três marcos levantados foi de 0,553m e o desvio padrão de $\pm 0,723$ m, onde esses resíduos dos marcos M1, M2 e RRNN-3640F, corresponderam a diferença entre as ondulações geoidais determinadas pelos dados coletados em campo e as ondulações geoidais calculadas no programa interpolador MAPGEO2010 do IBGE. O resultado encontrado para avaliar a consistência do modelo geoidal não é conclusivo, devido ao universo amostral, entretanto indicam que o uso do programa interpolador MAPGEO2010 para obtenção das ondulações geoidais, com fins de determinar as altitudes ortométricas dos levantamentos GNSS, apresentam discrepâncias que podem ser significativas dependendo da sua aplicação na engenharia civil e áreas afins.

O resultado absoluto das diferenças das ondulações geoidais ($N_{\text{obs. campo}} - N_{\text{interpolador}}$) para os marcos levantados M2 e RRNN-3640F, denotam que o uso da ondulação geoidal calculada no MAPGEO2010 e consequentemente altitude ortométrica (H), podem satisfazer a elaboração de cartas gerais, como mapeamentos locais ou mapeamento sistemático regional para escalas de medias a grandes, como também apoio de obras de engenharia para estudo e execução em fase preliminar.

Para o marco M1, o resíduo encontrado denota uma diferença entre a ondulação geoidal calculada no MAPGEO2010 e a medida em campo (diferença absoluta entre as ondulações geoidais medidas e interpoladas Resíduo_{M1} = -1,375m), já que foi coletado apenas um valor amostral, logo não é possível chegar a uma constatação da consistência ou inconsistência do modelo interpolador do programa MAPGEO2010 na região de abrangência do marco.

As discrepâncias dos resultados das ondulações geoidais calculadas no programa interpolador MAPGEO2010, variam em função do local e dependendo da região do país, esse valor segundo o IBGE poderá variar de $\pm 0,32$ m, logo uma densificação de pontos GNSS/ RRNN otimizarão os resultados encontrados no presente estudo, tornando-os mais confiáveis, podendo elevar a precisão e qualidade dos levantamentos topográficos altimétricos com uso do sistema de posicionamento global (GNSS), principalmente para o estado de Pernambuco.

Para a elaboração de um refinamento do modelo mais consistente, seriam necessárias mais amostras de leituras GNSS/RRNN, porém no Brasil há uma escassez de referências de nível de primeira ordem funcionais e passíveis de

estudo, causados sobretudo por atos de vandalismo (destruição e abalo) e abandono por parte das autoridades competentes.

A descontinuidade dos trabalhos periódicos de manutenção e ampliação da rede altimétrica brasileira de primeira ordem, desde que foi estabelecida é uma realidade, e também contribuíram e contribuirão para o desaparecimento de muitas referências de nível, como constatado no presente estudo, onde em diversos relatórios de estação geodésica do IBGE consultados na fase de planejamento e seleção dos marcos a serem usados, constatou-se no relatório o seguinte dado de situação das RRNN: Situação Marco Principal: Destruido.

REFERÊNCIAS

BLITZKOW, D.; CAMPUS, I. O.; FREITAS, S. R. C. **Altitude: O que Interessa e como Equacionar?**. I Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (I SIMGEO), 2004, Recife, PE.

GEMAEL, C. Introdução a geodésia física. 1. ed. Curitiba: Ed. Da UFPR, 2002. 302 p.

IBGE. **Portal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Rio de Janeiro. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12 julho 2013.

IBGE. **Relatório de Estação Geodésica da Rede Altimétrica de Primeira Ordem**. Disponível em:<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/bdgpesq_googlemaps.php>. Acesso em: 21 dezembro 2012.

IBGE. **Manual do Programa MAPGEO2010 V1**, 2010.

IBGE. **Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS**: informação e documentação: referências: especificações. Rio de Janeiro, 2008.

INCRA, **Manual Técnico de Posicionamento Georreferenciamento de Imóveis Rurais do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária**, 1ª Edição. 2013. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br/index.php/estrutura-fundiaria/regularizacao-undiaria/certificacao-de-imoveis-rurais/file/1574-manual-tecnico-de-posicionamento>>. Acesso em: 12 julho 2013.

LEICA. Disponível em:< http://www.leica-geosystems.com.br/br/Serie-Leica-NA700_4455.htm >. Acesso em: 15 julho/2013.

MCCORMAC, J.C. **Topografia**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. 1ª ed. São Paulo: UNESP, 2000a.

SANTOS, M. A. dos. **Metodologia para obtenção de altitudes ortométricas através de interpolação de modelos geoidais locais definidos por GPS/Nivelamento e gravimetria**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2009. 110p.

SANTOS, M. A. ; SEIXAS, A. ; MOTTA, J. A.; SANTOS, A. A.. **Determinação do Modelo Geoidal local Preliminar da RMR e parte do Agreste de Pernambuco por meio de GPS/Nivelamento**. In: **IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2012, Recife, PE.

SEEBER, Günter. **SATELLITE GEODESY**. 2. ed. New York: Ed. Walter de Gruyter, 2003. 589 p.

SILVEIRA, Leonardo Niero da Silveira; **Refinamento do modelo Geoidal Brasileiro para o Sul de Santa Catarina**, Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria (RS), Programa de Pós-Graduação em Geomática, 2009.