

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA
CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA**

DANNYELLE FERREIRA VICENTE DE LIMA

**DESENVOLVIMENTO DO MODELO GEOIDAL LOCAL DE RECIFE COM BASE
EM ESTRUTURAS GEODÉSICAS ALTIMÉTRICAS: RRNN E GNSS**

Recife

2017

DANNYELLE FERREIRA VICENTE DE LIMA

**DESENVOLVIMENTO DO MODELO GEOIDAL LOCAL DE RECIFE COM BASE
EM ESTRUTURAS GEODÉSICAS ALTIMÉTRICAS: RRNN E GNSS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica.

Linha de Pesquisa: Geodésia, Topografia e Qualidade de Dados.

Orientador: Prof. Dr. Silvio Jacks Dos Anjos Garnés

Recife

2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

L732d	<p>Lima, Dannyelle Ferreira Vicente de. Desenvolvimento do modelo geoidal local de Recife com base em estruturas geodésicas altimétricas: RRNN e GNSS / Dannyelle Ferreira Vicente de Lima. – 2017. 62 folhas, il., gráfs., tabs.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Silvio Jacks dos Anjos Garnés. TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, 2017. Inclui Referências e Apêndice.</p> <p>1. Engenharia Cartográfica. 2. Nivelamento geométrico de alta precisão. 3. <i>Global Navigation Satellite System</i>- GNSS. 4. Altitude ortométrica. 5. Altitude geométrica. 6. Modelo geoidal. I. Garnés, Silvio Jacks dos Anjos. (Orientador). II. Título.</p> <p style="text-align: right;">UFPE</p> <p>526.1 CDD (22. ed.) BCTG/2017-420</p>
-------	--

DANNYELLE FERREIRA VICENTE DE LIMA

**DESENVOLVIMENTO DO MODELO GEOIDAL LOCAL DE RECIFE COM BASE
EM ESTRUTURAS GEODÉSICAS ALTIMÉTRICAS: RRNN E GNSS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica.

Linha de Pesquisa: Geodésia, Topografia e Qualidade de Dados.

Orientador: Prof. Dr. Silvio Jacks Dos Anjos Garnés

Recife, 13 de dezembro de 2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Silvio Jacks dos Anjos Garnés (Orientador)
Departamento de Engenharia Cartográfica - UFPE

Prof^a. Dr^a. Andrea de Seixas
Departamento de Engenharia Cartográfica - UFPE

Prof^a. Dr^a. Maria de Lourdes de Aquino Macedo Gonçalves
Departamento de Engenharia Cartográfica - UFPE

Aos meus pais, Joselma e Antonio, que nunca mediram esforços para me apoiar em todas as minhas decisões e vida acadêmica.

AGRADECIMENTOS

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Cartográfica, da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) partes fundamentais no meu desenvolvimento acadêmico e pessoal, meus profundos agradecimentos e respeito.

A todos que foram meus supervisores profissionais e que tornaram práticos meus conhecimentos adquiridos, agradeço pelo apoio e confiança depositada.

A minha família, em especial, aos meu pais, amigos e todos aqueles que acreditaram, apoiaram e participaram de alguma forma na realização deste trabalho.

Aos grandes amigos que participaram diretamente na execução das práticas necessárias para o trabalho aos finais de semana e feriados, Camila, Carol, Luan, Matheus, Rafael, Túlio, que cederam tanto esforço e empenho.

Ao amigo Lucas por embarcar no mundo da Geodesia Física junto comigo, sua companhia nas muitas horas de estudo, práticas e trabalhos sua amizade se fez sempre presente.

Ao meu orientador e mestre, Silvio, pela grande dedicação e paciência que sempre teve em toda minha graduação.

Ao maior presente que essa jornada poderia me trazer, Saulo, por toda paciência, carinho, cuidado, dedicação e esforço, não só na execução deste trabalho, mas em toda vida.

RESUMO

Diante da necessidade de determinar a altitude ortométrica nas atividades de engenharia e a popularização do uso de *Global Navigation Satellite System*-GNSS onde pode-se obter a altitude elipsoidal, é importante que se obtenha uma relação entre essas duas altitudes, a ondulação geoidal surge como solução. A área de estudo fica entre a área sudeste e sul da cidade do Recife onde as referências de Nível (RRNN) em sua maioria são espaçadas o que não corrobora para que alguma esteja próxima de área de expansão urbana, para integrar os dois métodos de obtenção de altitude faz-se necessário um modelo geoidal local. Este trabalho tem com finalidade a obtenção de um modelo geoidal local utilizando o método de observações GNSS em conjunto com nivelamento geométrico. Para isso foram compilados trechos de nivelamento realizados anteriormente SILVA (2013) e LUNA (2016), realizados novos trechos de nivelamento e rastreamento dos pontos do modelo. A rede completa de nivelamento teve 23km distribuídos entre seis pontos rastreados e doze RRNN. O processamento dos dados foi realizado utilizando o software AstGeoTop e dentre os modelos testados, disponíveis no software, que puderam ser aplicados por conta do número de pontos e graus de liberdade das equações de observação, o melhor resultado foi o do ajuste das equações do tipo $N=Ax+By+Cxy+D$, com desvio padrão dos resíduos não ponderados estimado de 8mm, pelo valor da forma quadrática VTPV de 2,71 da discrepância máxima na análise da correlação cruzada de -2,3cm e uma estimativa de acurácia na correlação cruzada de 1,5cm. Portanto com o modelo desenvolvido, pode-se garantir que a altitude ortométrica na área do Recife, em que os pontos estão distribuídos, quando obtidas a partir das altitudes elipsoidais GNSS, se essas últimas não contiverem erros, teria acurácia melhor do que 2,3cm.

Palavras-chave: Nivelamento geométrico de alta precisão. *Global Navigation Satellite System*-GNSS. Altitude Ortométrica. Altitude Geométrica. Modelo Geoidal.

ABSTRACT

Given the need to determine the orthometric height for engineering activities and the widespread use of Global Navigation Satellite System – GNSS, in which is obtained ellipsoidal height, it is important to establish a relationship between these two heights, and for this matter the geoid undulation comes as a solution. The study area extends from western to southeastern part of the city of Recife, where the vertical ground control points (VGCP) are mostly sparse and outside urban expansion areas, and in order to integrate the methods of obtaining the aforementioned heights a local geoid model is necessary. This work aims to obtain a local geoid model using the GNSS observations method together with geometric leveling. This was accomplished by compiling previously obtained leveling surveys SILVA (2013) and LUNA (2016), surveying new leveling sections and GNSS tracking of the model points. The complete leveling network comprised 23km distributed between six tracked points and twelve VGCP. The data processing was carried out through the use of AstGeoTop software, and among the tested models available, which could be applied due to the number of points and degrees of freedom of the observation equations, the best result was the adjustment of equations like $N=Ax+By+Cxy+D$, with 8 mm of estimated standard deviation of non-weighted residuals, by the value of the quadratic form VTPV of 2.71 of the maximum discrepancy in the cross correlation analysis of -2.3 cm and an estimated accuracy of 1.5 cm in the cross correlation. Therefore, with the developed model it is possible to guarantee, within the vicinities of Recife, that orthometric heights obtained from GNSS ellipsoidal heights would have an accuracy better than 2.3 cm, since the points are well distributed and have no errors.

Keywords: Geometric leveling height precision. Global Navigation Satellite System- GNSS. Orthometric Height. Geometric Height. Geoid Model.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – <i>Geometria do elipsoide de revolução. (ARANA,2000).</i>	14
Figura 2 - Altitude geométrica (h), altitude ortométrica (H) e ondulação geoidal (N),(ARANA, 2000).	16
Figura 3– (a) Uma massa fora do elipsoide ou (b) um excesso de massa abaixo do elipsoide eleva o geóide acima do elipsóide. N é a ondulação geoidal. (LOWRIE,2007). .	16
Figura 4 - Nivelamento simples e composto, Luis A. K. Veiga/Maria A. Z. Zanetti/Pedro L. Faggion (2007).	18
Figura 5– Modelo de Ondulação Geoidal brasileiro, MAPGEO 20154.	24
Figura 6 - Determinação da ondulação do geóide pelo modelo do geopotencial associado ao GPS/nivelamento. (ARANA, 2000).	23
Figura 7 - Área de estudo, Imagem retirada do Google Earth, 2017.	25
Figura 8 - Linhas de Nivelamento realizado por LUNA(2014).	27
Figura 9- Linhas de Nivelamento realizado por SILVA(2013)...	28
Figura 10 - Nível digital Leica modelo DNA03, mira de código de barra invar e duas sapatas..	29
Figura 11-Nível digital Leica modelo DNA03, mira de código de barra invar e duas sapatas .	30.
Figura 12 -- Nível óptico Topcon modelo AT-B2, tripé e estádia..	30
Figura 13- Nivelamento realizado para o Trabalho de Conclusão de Curso.	31
Figura 14 -- Configuração geométrica da rede e resultado do processamento/ajustamento GNSS da rede geodésica de apoio a definição do modelo geoidal. Topcon Tools 8.2.	33
Figura 15- Maior erro de fechamento da rede GNSS de apoio ao modelo Geoidal.s.	34
Figura 16 -- Maior erro de fechamento da rede GNSS de apoio ao modelo Geoidal.	35
Figura 17 -- – Resultados das ondulações geoidais e das altitudes ortométricas interpoladas. (AstGeoTop, 2017)..	36
Figura 18- Matriz de discrepâncias entre altitudes ortométricas injuncionando uma a uma das estações. (AstGeoTop, 2017).	36
Figura 19 -- Combinações de tipos de modelos para encontrar o que melhor se adequa a região de estudo com os dados disponíveis. (AstGeoTop, 2017).	37
Figura 20- A correção cruzada mostra que a discrepância máxima encontrada é de -2,3cm e o Erro Médio Quadrático foi de 1,54cm. (AstGeoTop, 2017).	38
Figura 21- Análise da correlação cruzada entre os pontos e o modelo. (AstGeoTop, 2017).	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -Classificação dos Levantamentos Geodésicos	19
Tabela 2 -Síntese dos nivelamentos pretéritos realizados em Recife pela equipe da UFPE	32
Tabela 3 - Síntese das informações GNSS observadas pós-processamento.	35
Tabela 4 -- Parâmetros finais do modelo geoidal local.	35
Tabela 5 - Determinação das altitudes ortométricas do campus da UFPE usando o modelo geoidal local.	40

LISTA DE SIGLAS

BDG - Banco de Dados Geodésicos
CGED - Coordenação de Geodésia
DECART – Departamento de Engenharia Cartográfica
GLONASS - *Global Navigation Satellite System*
GNSS - *Global Navigation Satellite System*
GRS80 - *Geodetic Reference System 1980*
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ITRF - *International Terrestrial Reference Frame*
LAGEO – Laboratório de Geodésia
PPP - Posicionamento por Ponto Preciso ou Posicionamento Absoluto Preciso
RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RN – Referência de Nível
RRNN - Referências de Nível
IGS - International GNSS Service
SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
UFPE – Universidade Federal de Pernambuco
MAPGEO – Modelo de Ondulação Geoidal
SGB – Sistema Geodésico Brasileiro
NMM – Nível médio dos Mares
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGS – International GNSS Service
EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	OBJETIVO GERAL.....	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	EMBASAMENTO TEÓRICO.....	15
3.1	DEFINIÇÃO DAS SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA.....	15
3.2	NIVELAMENTO GEOMÉTRICO DE ALTA PRECISÃO.....	18
3.3	POSICIONAMENTO POR SATÉLITE.....	21
3.4	MODELOS GEOIDAIIS LOCAIS.....	23
4	METODOLOGIA DE PESQUISA.....	26
4.1	ÁREA DE ESTUDO.....	26
4.2	MATERIAIS.....	27
4.2.1	Estudo de Subsistência Através do Monitoramento com o Uso de GNSS. (LUNA, 2014).....	27
4.2.2	Avaliação Da Precisão Trechos da Rede Altimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Brasileiro na Cidade do Recife-PE. (NUNES, 2013).....	28
4.3	MÉTODOS.....	29
4.4	RESULTADOS E ANÁLISES.....	32
4.5	NIVELAMENTO GEOMÉTRICO DE ALTA PRECISÃO.....	32
4.6	RASTREIOS GNSS	33
4.7	MODELO GEOIDAL LOCAL.....	35
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	41
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
	APÊNDICES.....	46
	ANEXOS.....	54

1 INTRODUÇÃO

A Altitude ortométrica é uma informação importante nas atividades de engenharia e com a popularização em constante evolução do emprego do Global Navigation Satellite System-GNSS, onde se pode adquirir a altitude geométrica, torna-se importante que se obtenha uma relação precisa entre essas duas altitudes. A relação mais utilizada entre essas duas altitudes é a ondulação geoidal. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE e Estatística fornece um Modelo de Ondulação Geoidal brasileiro de forma gratuita, atualmente o MAPGEO 2015.

As Referências de Nível-RRNN do município de Recife foram implantadas com grande espaçamento entre elas, o que torna as execuções de transporte de nível uma atividade morosa. O modelo MAPGEO muitas vezes não possui qualidade suficiente para ser aplicado diretamente em obras de engenharia e em produtos cartográficos, devido as lacunas entre as Referências de Nível oficiais.

A evolução nas aplicações e técnicas do GNSS, juntamente com o nivelamento geométrico de alta precisão fornece uma alternativa às áreas escassas de Referências de Nível, gerando então, um modelo geoidal compatível as atividades utilizadas nas engenharias. Realizando um modelo local, pode-se elaborá-lo de forma que melhor solucione as necessidades.

Este trabalho tem como finalidade a elaboração de um modelo geoidal para a cidade do Recife, utilizando todo o conhecimento teórico e prático, adquiridos na área de Topografia e Geodésia. Deu-se, para isso, necessário a execução de nivelamento geométrico e observações oriundas de receptores GNSS bem como seus ajustamentos, utilizando as aplicações do software AstGeoTop (GARNÉS, 2017).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Elaborar um modelo geoidal com precisão compatível aos trabalhos topográficos, cuja altimetria seja compatível com nivelamento trigonométrico e levantamento RTK.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Consolidar trechos de nivelamentos geométricos realizados em trabalhos anteriores, na mesma área de estudo, realizados com a mesma metodologia.
- Executar circuitos de nivelamento geométricos para interligar os executados anteriormente.
- Analisar modelos geoidais e estabelecer um, com qualidade compatível a precisão de levantamentos topográficos tradicionais.

3 EMBASAMENTO TEÓRICO

A altimetria é uma dimensão importante que deve ser estudada em sua forma geométrica e física para obras de engenharia. Está ligada diretamente as aplicações da Geodésia Física. Com a evolução tecnológica acerca dos satélites artificiais a transformação entre as altitudes elipsoidais (geométricas) e altitudes ortométricas torna-se uma demanda frequente em aplicações geodésicas e topográficas.

3.1 DEFINIÇÃO DAS SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA

O formato e as dimensões da Terra por muitos anos motivaram e motivam novas tecnologias, muitas discussões e teorias foram conceituadas. Afim de facilitar os cálculos na superfície terrestre foram atribuídos formatos matemáticos, dentre eles predomina-se o uso do elipsóide de revolução achatado nos pólos. A superfície elipsoidal, por facilitar as operações matemáticas é largamente utilizada em projeções cartográficas e serve de referencial para coordenadas horizontais, Latitude e Longitude. Em geral cada país ou grupos de países utilizam os parâmetros de elipsoide, que mais se adequam a sua realidade geodésica e topográfica. (ARANA,2000).

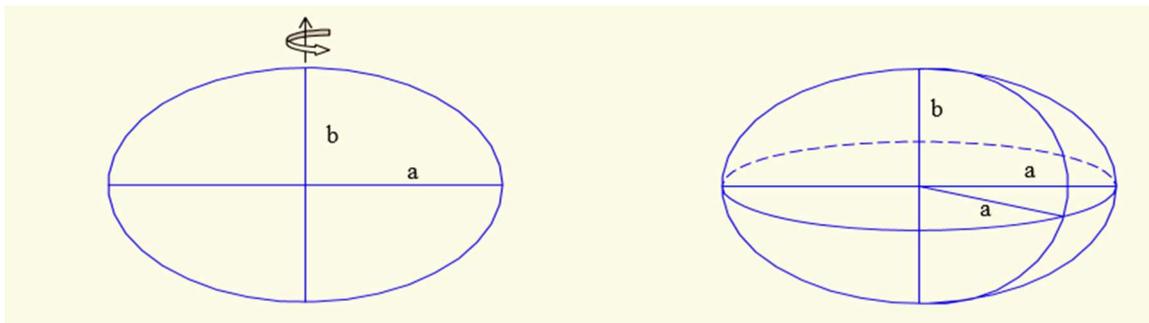


Figura 1 – Geometria do elipsoide de revolução. (ARANA,2000).

Sendo :

a = semieixo maior do elipsóide;

b = semieixo menor da meridiana;

$f=(a-b)/a$ = achatamento do elipsóide

Os parâmetros que definem a geometria do elipsóide são o semieixo maior e o menor, como visto na Figura 1, tradicionalmente considera-se também o achatamento. Seu uso principal é servir de base para um Sistema de Coordenadas Geodésicas. O elipsóide atualmente em uso no Brasil é o 1980-GRS80 (*Geodetic Reference System 1980*) cuja definição, implantação e manutenção é de responsabilidade do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE, seus parâmetros atuais são o semieixo maior de 6.378.137,0 m, achatamento 1/298,257222101 com origem no centro de massa da Terra. O atual SGB é o SIRGAS2000.

A altitude elipsoidal (h), Figura 2, é a distância medida ao longo da normal geodésica a partir de um ponto até sua interseção com a superfície do elipsóide de revolução, como visto na Figura 1. Uma das maneiras de se obter a altitude elipsoidal é por meio do posicionamento tridimensional (XYZ) utilizado, em geral, o GNSS.

O geoide é o modelo físico para representar a forma física e equipotencial da Terra, fica definido por uma superfície de mesmo geopotencial, que mais se aproxima do Nível Médio dos Mares- NMM não perturbado, prolongado através dos continentes.

O geoide é uma superfície suavemente ondulada e de difícil modelagem matemática, na literatura é representado por desenvolvimento em séries de harmônicos esféricos. (FREITAS, 1999). Trata-se da superfície de referência da altitude ortométrica (H), Figura 2, A altitude ortométrica é a distância contada ao longo da vertical do ponto desejado até o geoide.

A linha de força que passa por um ponto, cuja tangente a essa linha define a vertical do ponto, é sempre perpendicular às superfícies equipotenciais, Figura 2, por onde a linha de força passar. A materialização da vertical, direção do vetor gravidade no ponto, pode ser materializada pela linha do fio de prumo no ponto (VANICEK e KRAKIWSKY, 1986) e (ZANETTI, ZANETTI, e FAGGION, 2007).

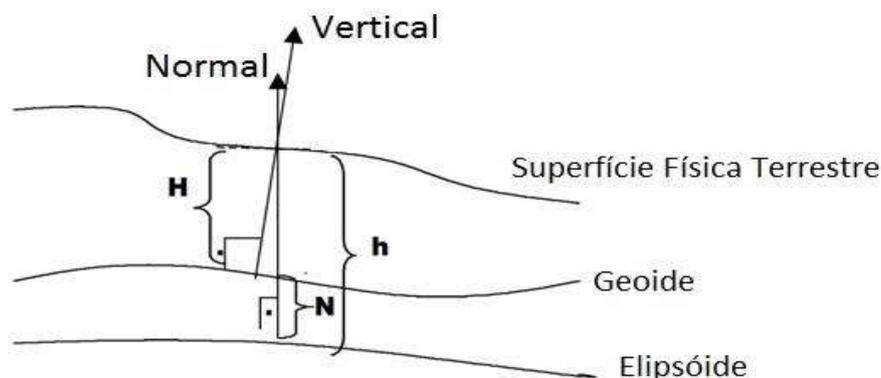


Figura 2– Altitude geométrica (h), altitude ortométrica (H) e ondulação geoidal (N), (ARANA, 2000).

A disposição do elipsóide em relação ao geóide bem como as características que definem seu tamanho e sua forma, descrevem um Sistema Geodésico (IBGE, 1999). Longe dos continentes o geóide coincide com a superfície livre dos oceanos (Figura 3-a) já sobre os continentes o geóide é afetado pela massa da Terra sobre o NMM (Figura 3-b), a separação entre o geóide e o elipsóide num ponto é designado por ondulação geoidal (N).

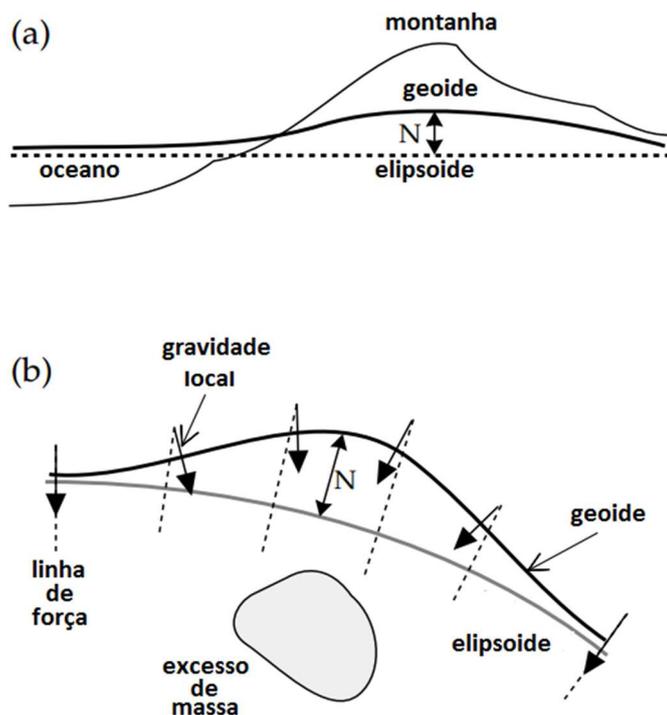


Figura 3 - (a) Uma massa fora do elipsóide ou (b) um excesso de massa abaixo do elipsóide eleva o geóide acima do elipsóide. N é a ondulação geoidal. (LOWRIE,2007).

A expressão fundamental da relação entre as altitudes elipsoidais obtidas a partir de medidas GNSS e altitudes com respeito a um *datum* geodésico vertical estabelecido a partir de dados de nivelamento e correções gravimétricas, visto na Figura 2, é dada na equação. (HEISKANEN e MORITZ,1967).

$$H = h - N \quad (1)$$

Onde,

H - altitude ortométrica;

h - altitude elipsoidal; e

N - ondulação geoidal.

3.2 NIVELAMENTO GEOMÉTRICO DE ALTA PRECISÃO

Os pontos do Sistema Geodésico Brasileiro que compõem a rede do IBGE são chamados de Referências de Nível, as RRNN. Tais RRNN foram obtidos utilizando de nivelamento geométrico.

O nivelamento geométrico pode ser do tipo simples ou composto, o primeiro a diferença de nível entre dois pontos é determinada com apenas uma única instalação do equipamento e leitura direta nos dois pontos, enquanto que no segundo para a obtenção da diferença de nível se faz necessário mais instalação entre os pontos e leituras auxiliares entre os dois pontos. O último aplicado em maior escala, quando o terreno possui desníveis acentuados ou distâncias maiores entre os extremos. (ZANETTI, 2007).

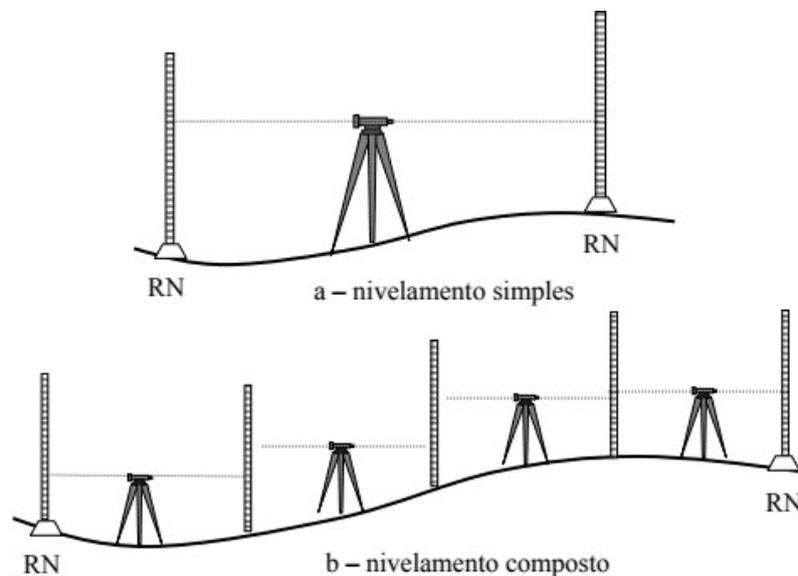


Figura 4– Nivelamento simples e composto, Luis A. K. Veiga/Maria A. Z. Zanetti/Pedro L. Faggion (2007).

Independentemente do tipo utilizado a forma mais segura de controlar o grau de confiança do trabalho é executar uma rede de nivelamento, onde pode ser aplicado um conjunto de ajustamentos das observações, o circuito de nivelamento pode estar apoiado em pontos da RRNN.

Na prática as medidas obtidas em campo são leituras de nível de ré e vante na mira, distâncias também podem ser obtidas de forma menos precisa. O controle do nivelamento é feito observando o erro de fechamento por duplo nivelamento (nivelamento e

contranivelamento) ou por circuito fechado. O desnível de uma seção nivelada é calculado pela diferença de todas as observações de ré e de todas as observações de vante. Uma forma para a verificação do nivelamento é a que o trecho é nivelado e contra-nivelado e os desníveis obtidos comparados, a diferença encontrada (erro cometido) deve estar abaixo de uma tolerância estipulada a depender da aplicação, (IBGE, 1983) guiada por:

$$Tolerância = n \cdot \sqrt{k} \quad (2)$$

Sendo,

k - distância média nivelada em km.

Na Resolução N°22 de 1983, o IBGE estabelece as aplicações conforme a exatidão do nivelamento.

Tabela 1 -Classificação dos Levantamentos Geodésicos

	Científico	1º ordem	2º ordem	3º ordem	Local
Exatidão	$2\text{mm}\sqrt{D_{km}}$	$2\text{mm}\sqrt{D_{km}}$	$3\text{mm}\sqrt{D_{km}}$	$4\text{mm}\sqrt{D_{km}}$	$6\text{mm}\sqrt{D_{km}}$
Desenvolvimento	Será desenvolvida caso a caso de acordo com as finalidades de cada projeto. Basicamente em circuitos e acompanhada de medições gravimétricas (nivelamento geopotencial).	Em circuitos com até 400km de perímetro e estações materializadas, afastadas de no máximo 3 km. Nas áreas metropolitanas, preferencialmente, 1 km.	Em circuitos com até 200km de perímetro e estações materializadas, afastadas de no máximo 3 km. Nas áreas metropolitanas, preferencialmente, 1km.	Em circuitos ou linhas, em função da área a ser atendida, com estações espaçadas de, no máximo, 3 km.	Em circuitos ou linhas, em função dos objetivos a serem atingidos pelos trabalhos.

FONTE: (IBGE, 1983). Neste trabalho usou-se a classificação melhor que $3\text{mm} \cdot \sqrt{k}$.

O software AstGeoTop (GARNÉS, 2016), permite fazer alterações de percurso e análise de precisão, fornecendo os perfis das seções niveladas, ajustes proporcionais para as distâncias e o número de pontos. Para os ajustes de pontos comuns utiliza-se os valores de nivelamento médio e de nivelamento do contador, após transformar o nivelamento do contador na mesma direção que o nivelamento. A precisão (σ) pode ser estabelecida usando a seguinte equação (GARNÉS, 2016):

$$\sigma = \frac{\varepsilon}{2\sqrt{P_{km}}} \quad (3)$$

Onde,

σ – precisão do nivelamento;

P_{km} – é a média das distâncias em quilômetros entre o percurso nivelado e o percurso contra-nivelado, ou o perímetro total para circuitos fechados.

O efeito da refração atmosférica pode interferir na qualidade do levantamento, a luz no seu trajeto da mira até o nível faz uma curva que pode ser modelada com a determinação do coeficiente de refração (k) e a distância entre o instrumento e a mira (l).

$$r_{mm} = \frac{k}{R} l^2 \cong 10,202 l_{km}^2 \quad (4)$$

Sendo:

k – o coeficiente de refração;

R – raio médio da Terra;

l_{km}^2 - distância equipamento mira em quilômetros.

A curvatura terrestre interfere um erro sobre as observações que pode ser quantificado, tomando um plano tangente a superfície esférica da Terra e pelo centro de referência de nível conforme expressado por (NBR: 13133, 1994) :

$$\Delta N_{mm} = \frac{l^2}{2R} \cong 78,5 l_{km}^2 \quad (5)$$

Sendo:

ΔN – erro devido a curvatura terrestre;

R - raio médio da Terra;

l – distância instrumento-mira em quilômetro.

Os erros de colimação e calagem, significativos no nivelamento geométrico aplicado a Geodésia, são minimizados pelo método das distâncias iguais. Para o caso de nivelamento composto um cuidado adicional deve ser tomado, quando a mira de vante do lance anterior for reposicionada para passar a ser mira de ré deve-se assegurar que esta permaneça no mesmo ponto, com o auxílio de uma sapata em que a mira é apoiada permitindo o giro sem deslocamentos, (ZANETTI, ZANETTI, e FAGGION, 2007).

Os erros por consequência da reverberação dependem das circunstâncias atmosféricas no instante da leitura, devem ser evitadas leituras muito próximas do solo, menos que 50cm, e distâncias muito longas entre o equipamento e a mira, aconselháveis medidas abaixo de 40cm, (NBR 13133, 1994).

3.3 POSICIONAMENTO POR SATÉLITE

O Sistema Global de Navegação por Satélite – GNSS está disponível em todo o mundo e é independente de condições meteorológicas. O princípio fundamental da navegação é regido pela medida de distância entre o receptor e pelo menos quatro satélites com suas coordenadas conhecidas. Assim, as coordenadas geodésicas (ϕ , λ , h) da antena do receptor podem ser determinadas (SEEBER, 2003).

O tempo de propagação sinal serve de referência para o cálculo de distância usando a velocidade de propagação do sinal. Para utilização de tal tecnologia com maior acurácia precisa-se conhecer algumas variáveis que interferem na precisão do levantamento e nos resultados obtidos, o caso da geometria das órbitas, plano orbital dos satélites, coordenadas do satélite, multi-caminho e os modelos matemáticos de posicionamento (SEEBER, 2003).

Em (MONICO, 2008), o pós-processamento das observáveis e, no que inclui, a estimativa das efemérides precisas dos satélites e as correções para os seus devidos relógios possibilitam que a acurácia no posicionamento absoluto passe ao patamar dos centímetros. Esse método é conhecido como Posicionamento por Ponto Preciso (PPP).

Vê-se que a fase da onda portadora é mais precisa que a da pseudodistância. De tal que para sua utilização, faz-se necessário conhecer a ambiguidade, ou seja, o número de ciclos inteiros da onda portadora, entre o satélite e o receptor no instante da primeira observação. No PPP, a ambiguidade é tida como um vetor de números reais devido à dificuldade de se obter a solução fixa com observáveis de apenas uma estação. O PPP elimina a necessidade de aquisição

simultânea de dados de rastreamento a partir de uma estação de referência (base) e os problemas dependentes das distâncias que envolvem as linhas de base (SEEBER, 2003) e (MONICO,2008).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) disponibiliza uma plataforma de serviço on-line de pós-processamento de observáveis por ponto preciso, o IBGE-PPP. Segundo (IBGE, 2016), o IBGE-PPP permite aos usuários de GNSS, obterem coordenadas de boa precisão no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) e no *International Terrestrial Reference Frame* (ITRF). Neste tipo de posicionamento, o termo Posicionamento por Ponto Preciso, de um modo geral, refere-se à obtenção da posição de uma estação utilizando as observáveis da fase da onda portadora coletadas por receptores de dupla frequência em conjunto com órbitas precisas International GNSS Service-IGS, efemérides precisas.

O resultado do IBGE-PPP independe de qualquer ajustamento de rede geodésica e não está associado às realizações ou ajustamentos de rede planimétrica. Desta forma resultando em pequenas diferenças em relação aos resultados do Banco de Dados Geodésicos (BDG). O IBGE-PPP processa dados GNSS sejam eles oriundos do levantamento estático ou cinemático de receptores de uma ou duas frequências.

No posicionamento relativo são necessários dois ou mais receptores rastreando, simultaneamente o grupo de satélites visíveis, de maneira que seja possível formar as combinações lineares de dupla diferença de fase, *ion free*, entre outras, de forma a permitir a resolução das ambiguidades. Hoje em dia, com a utilização das estações ativas da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), fica facilitada a obtenção de dados Base e de redes GNSS para o processamento e ajustamento dos dados.

Para uma rede GNSS, o ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) pode ser efetuado através do uso de três métodos: o método paramétrico (método das equações de observações), o dos correlatos (método das equações de condição) e o combinado. Neste trabalho foi utilizado o método paramétrico para o ajustamento da rede GNSS. Um maior detalhamento sobre os métodos de ajustamento pode ser encontrado em Gemael (1994). O ajustamento das observações do nivelamento geométrico, foi realizado proporcionalmente à distância.

3.4 MODELOS GEOIDAIS LOCAIS

Em ANTÃO et al. (2012), foi realizada a modelagem do geoide GPS/NIVELAMENTO¹, que proporcionou um modelo melhorado em relação a rede de nivelamento do IBGE Recife, do que apenas utilizar o MAPGEO ou algum outro modelo geoidal global.

O modelo de ondulação geoidal em uso no Brasil denominado MAPGEO2015, oriundo de um trabalho conjunto entre o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, através da Coordenação de Geodésia – CGED, e a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP abrange a área compreendida pelas latitudes de 6°N e 35°S e pelas longitudes de 75°W e 30°W referenciadas ao SIRGAS2000 (Figura 5), vem com o sistema de interpolação disponibilizado juntamente com o modelo de ondulação geoidal.

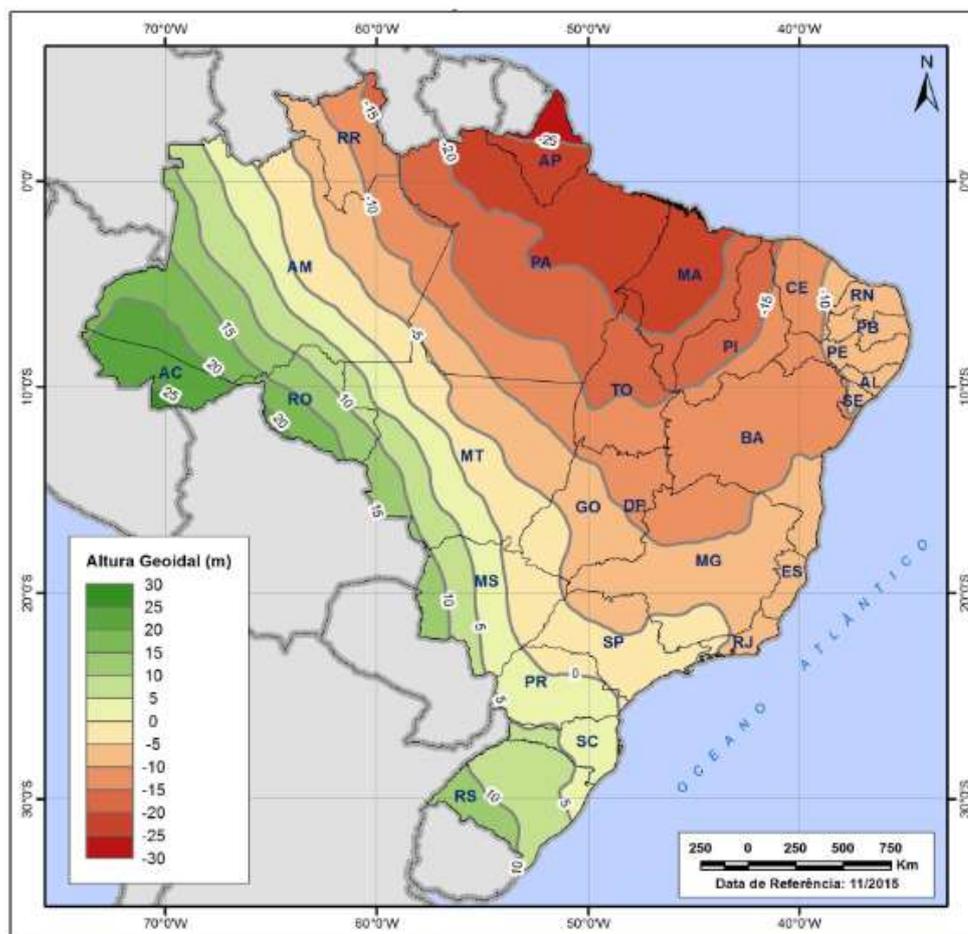


Figura 5– Modelo de Ondulação Geoidal brasileiro, MAPGEO 2015, (IBGE, 2016).

¹ Antão et al 2012 utiliza GPS/NIVELAMENTO pois na época só foram obtidas observações GPS e Gravimétricas.

Supondo que o geóide pode ser aproximado ao elipsoide por uma superfície plana, usualmente eficiente em áreas de pequena extensão, a interpolação linear pode ser usada para estimar a distância entre essas duas superfícies. Usando duas Referências de Nível ocupadas com receptores GNSS, obtém-se a altitude elipsoidal nos pontos e através de interpolação linear descobre-se a ondulação geoidal de um ponto entre as RRNN. Em (FEATHERSTONE DENTITH, e KIRBY, 1998) tem-se:

$$H_X = H_A + \Delta h_{AX} - \frac{l_{AX}}{s_{AB}} \Delta N_{AB} \quad (6)$$

Onde,

H_X – altitude ortométrica do ponto a ser interpolado;

H_A – altitude ortométrica da referência de nível A;

Δh_{AX} – diferença das altitudes geométricas do ponto a ser interpolado e a referência de nível A;

s_{AB} – distância entre as referências de nível,

l_{AX} – distância do ponto que se deseja determinar a ondulação e o ponto de referência A.

ΔN_{AB} – diferença entre as ondulações das referências de nível A e B.

Reescrevendo a expressão, é possível aplicar para um plano, uma equação ou uma poli superfície, onde conhecendo pelo menos a ondulação em três RRNN. Pode-se então através deste método obter a forma aproximada do geóide da região ajustadas pelo método dos mínimos quadrados. Em (FIEDLER, 1992) e (COLLIER e CROFT, 1997) apud (ARANA, 2000), descrevem os modelos matemáticos, que representam o geóide local:

Equações de um plano:

$$z_i = aE_i + bN_i + c \quad (7)$$

$$z_i = aE_i + bN_i + cEN_i + d \quad (8)$$

$$z_i = aE_i + bN_i + cEi^2 + dN_i^2 + e \quad (9)$$

$$z_i = aE_i + bN_i + cN_iEi + dE_i^2 + eN_i^2 + f \quad (10)$$

Onde,

z_i – a ondulação geoidal na referência de nível;

E_i, N_i – coordenadas UTM das $RRNN_i$;

a,b,c,d,e – são os parâmetros determinados no ajustamento.

A diferença entre as ondulações geoidais do modelo geopotencial com as ondulações determinadas via GNSS/nivelamento, permite o cálculo da discrepância entre o modelo e o geóide. Para a determinação da ondulação pelo modelo do geopotencial associado ao GNSS/nivelamento deve-se determinar a ondulação do ponto de interesse primeiramente pelo geopotencial e em seguida aplicar o modelo matemático determinando a discrepância entre os modelos. Em seguida soma-se ao valor determinado pelo modelo geopotencial, Figura7, (ARANA, 2000)

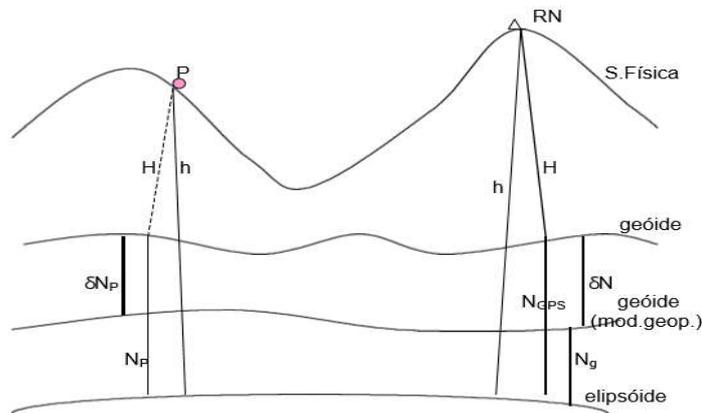


Figura 6 - Determinação da ondulação do geóide pelo modelo do geopotencial associado ao GPS/nivelamento. (ARANA, 2000)

$$\delta N = N_{GPS} - N_g \quad (11)$$

ou

$$N_{GPS} = \delta N - N_g \quad (12)$$

Onde,

δN – diferença entre o modelo geopotencial e o geóide;

N_{GPS} – ondulação obtida por rastreamento/nivelamento;

N_g – ondulação obtida pelo modelo geopotencial;

O mesmo autor recomenda que para resultados ainda melhores no que diz respeito a ondulação geoidal através do GNSS/Nivelamento, faz-se necessário uma densificação de pontos na área em estudo, propiciando melhor resultado no cálculo desta ondulação.

4 METODOLOGIA DE PESQUISA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

Para iniciar as análises, coletas de dados e a execução do modelo que esse Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo, fez-se necessário a escolha de uma região com uma quantidade de RRNN que viabilizasse a execução e que já possuísse uma quantidade de dados que colaborasse com os resultados.

A área de estudo segue as margens de vias importantes no município de Recife, Rodovia Federal-BR-101, Avenida Recife, Avenida Engenheiro de Carvalho, Avenida Marechal Mascarenhas de Moraes e Avenida Boa viagem, *Figura 7*.

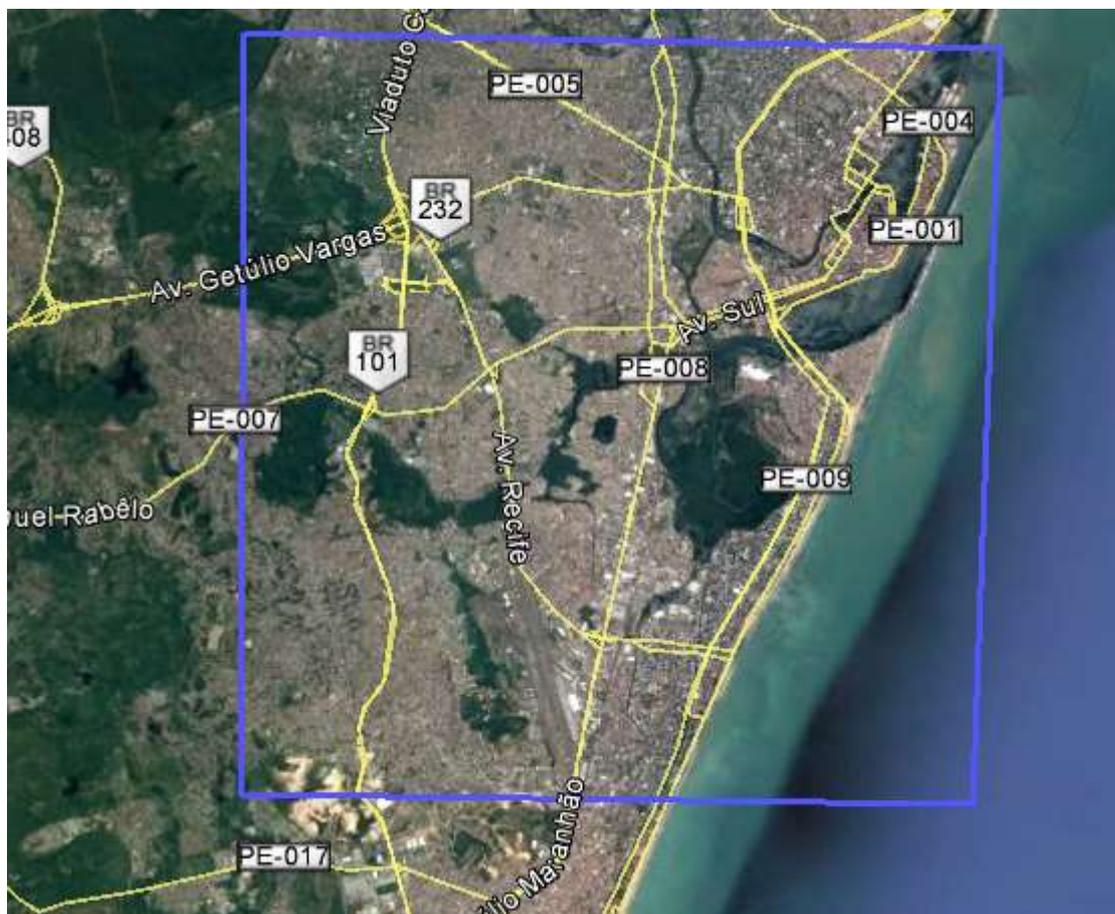


Figura 7 – Área de estudo, Imagem retirada do Google Earth, 2017.

4.2 MATERIAIS

Trabalhos anteriores, (LUNA, 2016) e (NUNES,2013) realizaram circuitos de nivelamento utilizando equipamentos e métodos que foram replicados posteriormente para interligá-los. As observações obtidas foram utilizadas no modelo geoidal local gerado.

4.2.1 ESTUDO DE SUBSIDÊNCIA ATRAVÉS DO MONITORAMENTO COM O USO DE GNSS. (LUNA, 2014).

Com o objetivo de avaliar a ocorrência subsidência do solo, rebaixamento da superfície do terreno como consequência de alterações nas camadas subterrânea, em área de grande exploração de água subterrânea. Para a área de estudo pertencente ao aquífero de Boa Viagem, houve necessidade de se analisar as variações altimétricas para determinar a possibilidade de subsidência.

A execução de trecho de nivelamento entre duas referências de nível, a 9319M localizada na Igreja de Nossa Senhora do Rosário e a 9319G Igreja Nossa Senhora da Boa Viagem que se deu duas fases diferentes (2014) para comparações sendo a última utilizada para este trabalho, os dados obtidos e processados estão no Apêndice 1.

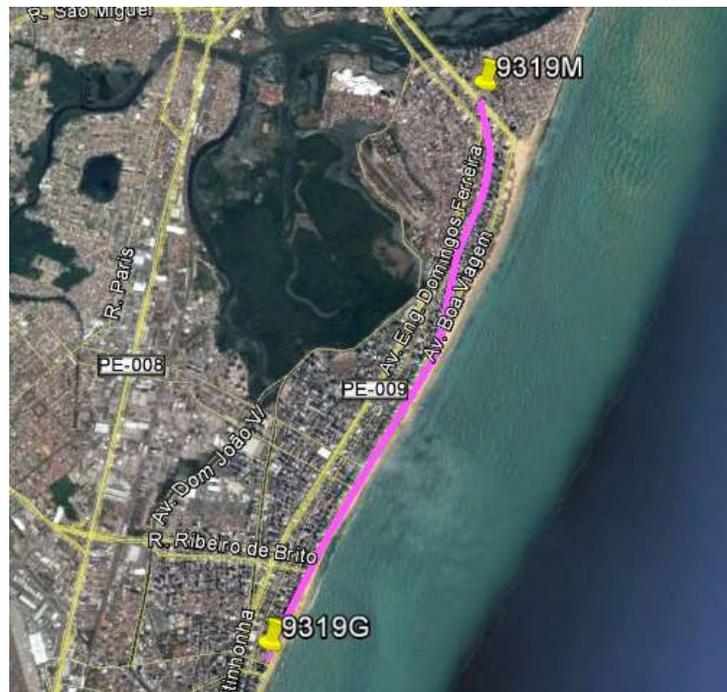


Figura 8 – Linhas de Nivelamento realizado por LUNA(2014).

4.2.2 AVALIAÇÃO DA PRECISÃO TRECHOS DA REDE ALTIMÉTRICA DE ALTA PRECISÃO DO SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO NA CIDADE DO RECIFE-PE. (NUNES, 2013).

Para a avaliação da precisão da rede altimétrica foi imprescindível a execução de várias linhas de nivelamento. Foram executados sete circuitos conectando as RRNN da Rede Altimétrica de Alta Precisão na zonal sul e no centro de Recife em 2003.

A execução das linhas se deram entre a 3641B sobre o Canal Cavoco na Avenida dos Reitores dentro do Campus Joaquim Amazonas-UFPE passando pela RN3641C localizada no mastro de hasteamento da bandeira na Reitoria da UFPE e pela RN3641D localizada na Guarita do DNIT na BR-101, seguindo até a RN3641L na Igreja Santa Luzia às margens Avenida José Rufino. Outra interligação foi entre a RN3641D e a RN393Y localizada na calçada do Clube Internacional do Recife na Praça Euclides da Cunha. No Aeroporto Internacional dos Guararapes ligando a RN3641U a Sudeste do portão de desembarque Sul na parte central, junto a 6º pilastra de sustentação até a RN3641X localizada por trás da 9ª pilastra de sustentação defronte a saída do estacionamento coberto. Da RN3641X até a RN9319G localizada na parede da Igreja Nossa Senhora da Boa Viagem. E da RN3641X até o vértice V13 do E-SIG da estrutura geodésica do município do Recife, implantado pela empresa Engefoto em 2009, localizado na Avenida Marechal Mascarenhas de Moraes, Figura 9. Todos os dados obtidos e processados estão no Anexo 1.

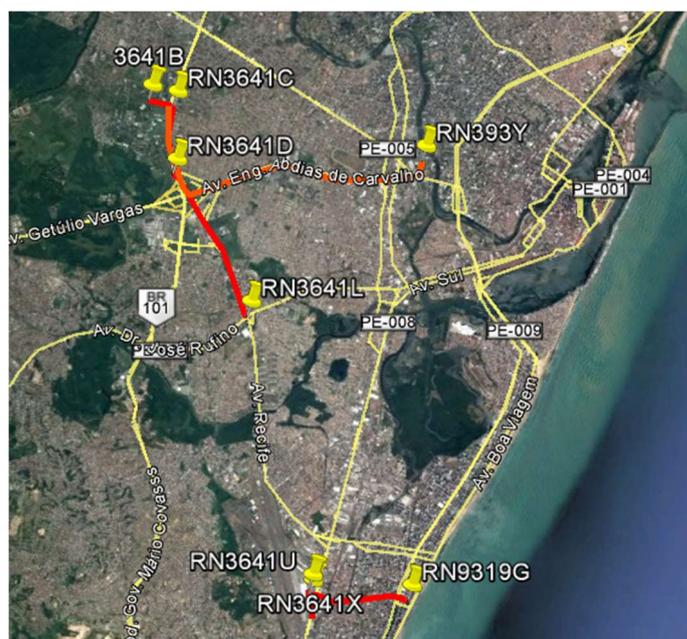


Figura 9 – Linhas de Nivelamento realizado por SILVA(2013).

4.3 MÉTODOS

O nivelamento realizado e os anteriormente realizados compartilham da mesma instrumentação, um nível digital Leica modelo DNA03 com desvio padrão de 0,3mm/km de duplo nivelamento com mira ínvar, uma mira invar com código de barra fixada em dois metros com dois níveis de bolha, um tripé, e duas sapatas de ferro.



Figura 10 - Nível digital Leica modelo DNA03, mira de código de barra invar e duas sapatas.

A campanha GNSS para a obtenção das altitudes geométricas dos pontos de referência foi realizada no dia 12 de outubro de 2016. Para a medição foram utilizados seis receptores geodésicos L_1/L_2 rastreando as constelações de satélites GPS e GLONASS, apoiados em tripés com bases niveladas. Foram utilizados dois receptores Topcon Hiper Lite, dois receptores Topcon Plus e dois receptores Topcon Hiper V.



Figura 11 - Receptores Topcon Hiper V e Hiper Lite.

Para definir a altura das antenas dos receptores GNSS nas estações excêntricas e realizar o transporte de altitude dos pontos ocupados até as Referências de Nível foi utilizado o nível óptico Topcon modelo AT-B2 com desvio padrão de 0,7mm/km de duplo nivelamento com mira centimetrada, uma estadia e um tripé.



Figura 12- Nível óptico Topcon modelo AT-B2, tripé e estadia.

Foi utilizado o software AstGeoTop versão Versão 2012.05.11. elaborado pelo Prof. Dr. Silvio Garnés, licenciado para o LAGEO/UFPE, para cálculo da caderneta, o ajustamento é realizado quando há pontos em comum entre o nivelamento e contranivelamento, é utilizada a média das observações e através da distância nivelada a precisão em mm/km é encontrada. O Topcon Tools v.8.2 foi outro software utilizado neste Trabalho de Conclusão de Curso com o

5 RESULTADOS E ANÁLISES

O modelo geoidal determinado neste Trabalho de Conclusão de Curso tem como referência as altitudes ortométricas obtidas através de nivelamentos geométricos de alta acurácia e também as altitudes elipsoidais obtidas através do rastreo GNSS.

5.1 NIVELAMENTO DE ALTA PRECISÃO

O nivelamento teve início a partir do ano de 2011, registrados nos trabalhos de (PIMENTEL, 2011), (PIMENTEL, 2012), (SILVA,2014), (LUNA et al,2015), (LUNA et al. ,2016) e complementados neste Trabalho de Conclusão de Curso como o trecho que compreende a RN 3641L na Igreja Santa Luzia cruzamento da Av. José Rufino com a Av. Recife até a RN 3641X localizada no aeroporto Internacional do Guararapes em Recife – PE (Figura 13).

Os trechos nivelados nos trabalhos anteriores foram agrupados com os atuais, de maneira a formar uma seção única, tendo início na RN 3641B localizada no pé da ponte sobre o córrego Cavouco dentro dos limites da Universidade Federal de Pernambuco, até a Referência de Nível e estação da RBMC/IBGE denominada de RECF e se estendendo até a RN 9319M localizada na Igreja de Nossa Senhora do Rosário, no Bairro do Pina, em Recife-PE.

Os resultados dos desníveis dos trabalhos pretéritos e atuais estão listados na tabela 2.

Tabela 2 – Síntese dos nivelamentos pretéritos realizados em Recife.

Nome do Circuito	RN Inicial	RN Final	Distância (m)	E.fecham (m)	Desnível (m)	Precisão mm/km
1 - UFPE Av. dos Reitores	3641B	3641C	519,54	0,00056	0,30634	0,388
2 - BR 101 DNIT	3641C	3641D	1365,79	0,000	-2,39338	***
3 - Av. Recife	3641D	3641L	3065,56	0,00181	2,11126	0,517
4 - Av. Abdias de Carvalho	3641D	393Y	5135,59	***	-4,85187	***
5 – Aeroporto	3641X	3641U	90,48	0,00009	0,03879	0,15
6 - Barão Souza Leão	3641X	9319G	2018,47	0,00073	-4,32937	0,257
7 - Vértice V13 ESIG	3641X	V-12	442,57	0,00117	-0,59178	0,879
8 -Av.José Rufino	3641L	3641M	1895,82	0,00095	-3,86308	0,345
9 - Ignêz Andreazza	3641M	PINO	1517,65	0,00105	0,90140	0,424
10 – Aeroporto	PINO	3641X	2709,48	0,00095	4,78372	0,287

5.2 RASTREIOS GNSS

Os rastreios GNSS foram feitos de forma simultânea na rede, com duração média de cinco horas. Quatro dos seis pontos rastreados foram estabelecidos próximos das RRNN, uma vez que sobre as RRNN não era possível, por estar nas laterais das igrejas ou em locais que o sinal GNSS sofria interrupção. A partir desses pontos GNSS se fez nivelamento geométrico até a RN correspondente e assim a altitude ortométrica da RN era transportada ao ponto GNSS.

O processamento foi executado no *software* Topcon Tools 8.2, e teve como ponto de referência a estação RECF, pertencente a RBMC. Os seis pontos amostrados foram ajustados em relação a base, gerando como resultado as coordenadas (ϕ , λ , h), referidas ao SIRGAS2000 à época 2000.4. Os resultados são ilustrados na Figura 14.

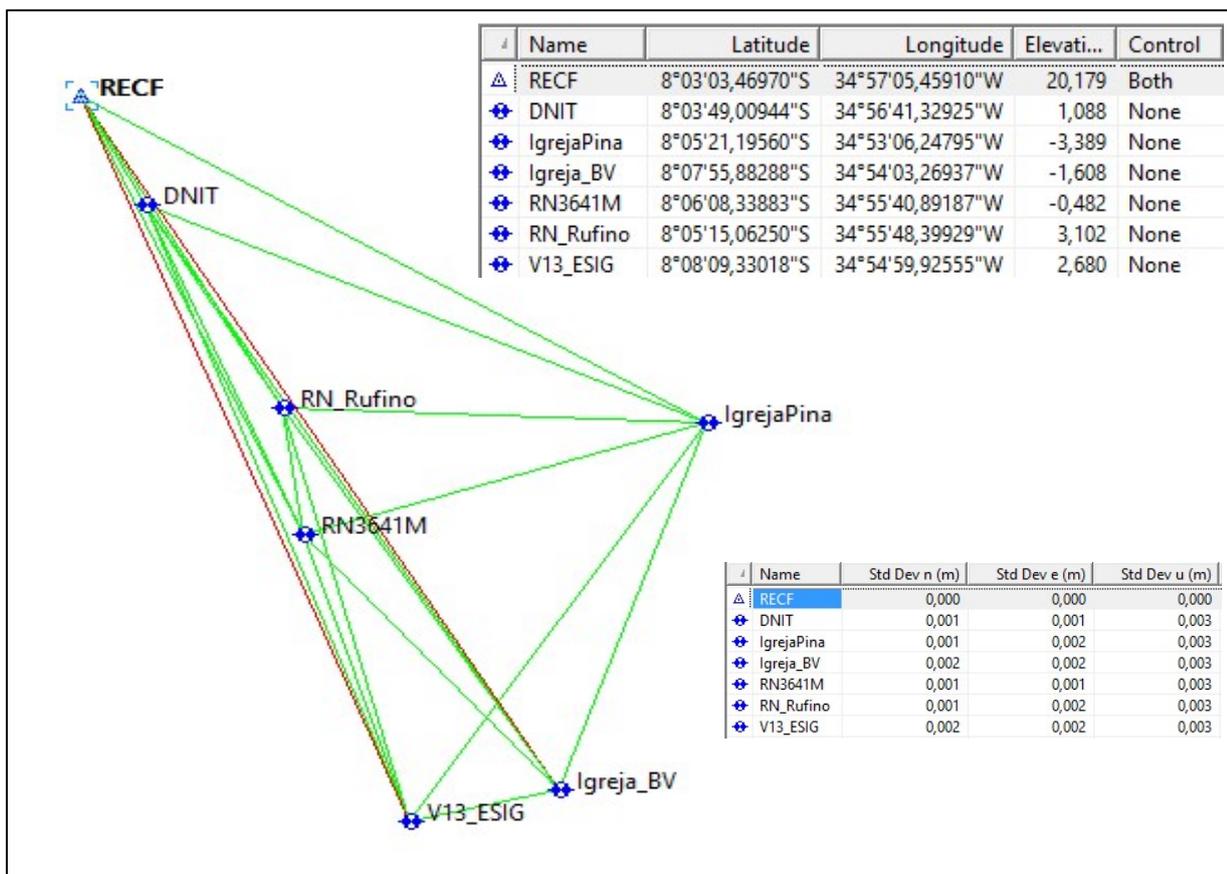


Figura 14 – Configuração geométrica da rede e resultado do processamento/ajustamento GNSS da rede geodésica de apoio a definição do modelo geoidal. Topcon Tools 8.2

Após o ajustamento da rede, a precisão altimétrica mostrada pelo StdDevu(m), Figura 14, ficou com 3mm para todos os pontos. Essa estimativa é um tanto otimista, pois uma análise do erro de fechamento vertical, realizada nos 35 triângulos que formam a combinação de três em três pontos das linhas de base, 12 deles ultrapassam 1cm e o máximo chega a atingir 2,18cm (Figura 15) mostrando que os resultados estão bons, mas não tão otimistas quanto o ajustamento induz (3mm). O erro de fechamento horizontal da rede teve valor máximo de 3,1cm, e a precisão conforme a Figura 14 também ficou em torno de 3mm. Nesse trabalho a acurácia horizontal não seria tão exigente, pois um erro de até 1m pouco iria interferir no modelo geoidal. Diferentemente da acurácia vertical que quanto maior mais confiabilidade daria ao modelo.

Loop	dHz (m)	dU (m)
IgrejaPina-RN3641M(22/10/2016 11:07:44) IgrejaPina-RN_Rufino(22/10/2016 11:07:44) RN3641M-RN_Rufino(22/10/2016 10:52:44)	0,0109	0,0218

Figura 15 – Maior erro de fechamento da rede GNSS de apoio ao modelo Geoidal.





Figura 16 – Localização dos pontos GNSS da rede de apoio ao modelo geoidal.

5.3 MODELO GEOIDAL LOCAL

Utilizando os dados do nivelamento geométrico e os dados da rede GNSS apresentados a seguir nas tabelas 3 e 4, utilizou-se o módulo de geração de modelo geoidal do AstGeoTop para testar os modelos disponíveis.

Tabela 3 – Elementos dos pontos de controle: altitude elipsoidal com incerteza.

ID_Pto	Alt.Elip.(m)	Sigma(m)	Ort.Controle(m)	sigma(m)
RECF	20,179	0,000	25,610	0,000
DNIT	1,088	0,009	6,545	0,001
RN_Rufino	3,102	0,014	8,603	0,001
RN3641M	-0,482	0,009	5,068	0,001
V13_EIG	2,680	0,011	8,357	0,001
IgrejaBV	-1,608	0,010	4,109	0,001
IGREJAPINA	-3,389	0,011	2,238	0,001

Tabela 4 – Coordenadas geodésicas dos pontos GNSS da rede de apoio.

ID_Pto	Latitude	Longitude	Alt.Elip.(m)
RECF	-8°03'03,46970"	-34°57'05,45910"	20,179
DNIT	-8°03'49,00944"	-34°56'41,32925"	1,088
RN_Rufino	-8°05'15,06250"	-34°55'48,39929"	3,102
RN3641M	-8°06'08,33883"	-34°55'40,89187"	-0,482
V13_EIG	-8°08'09,33018"	-34°54'59,92555"	2,68
IgrejaBV	-8°07'55,88288"	-34°54'03,26937"	-1,608
IGREJAPINA	-8°05'21,19560"	-34°53'06,24795"	-3,389

O primeiro passo que o software realiza é o cálculo das ondulações geoidais baseado em modelos geoidais, utilizou-se o modelo do MAPGEO 2015. O AstGeoTop utiliza o Grid do

MAPGEO e faz interpolação bi linear para obter as ondulações geoidais e consequentemente as altitudes ortométricas a partir desse modelo. A Figura 17, a seguir, mostra os resultados obtidos nessa fase do processamento.

INTERPOLAÇÃO DAS ONDULAÇÕES GEOIDAIS				
Modelo Geoidal : MAPGEO2015				
Sistema Geodésico de Referência : SIRGAS2000				
Interpolação bilinear dos valores de N				
Grade de 5' x 5' em latitude e longitude				
Arquivo Fonte : MAPGEO2015_SIRGAS2000.DAT				
Número de linhas do Arquivo = 265680				

Pto	Latitude	Longitude	N (m)	H.ort. (m)
RECF	-8°03`03,46970"	-34°57`05,45910"	-5,5379	25,7169
DNIT	-8°03`49,00944"	-34°56`41,32925"	-5,5835	6,6715
RN_Rufino	-8°05`15,06250"	-34°55`48,39929"	-5,6744	8,7764
RN3641M	-8°06`08,33883"	-34°55`40,89187"	-5,7147	5,2327
V13_EIG	-8°08`09,33018"	-34°54`59,92555"	-5,8160	8,4960
IgrejaBV	-8°07`55,88288"	-34°54`03,26937"	-5,8464	4,2384
IGREJAPINA	-8°05`21,19560"	-34°53`06,24795"	-5,7812	2,3922

Figura 17 – Resultados das ondulações geoidais e das altitudes ortométricas interpoladas. (AstGeoTop, 2017).

Numa segunda fase do processamento são solicitadas as informações da Tabela 3, que seriam as altitudes ortométricas (de fato são altitudes normais ortométricas na linguagem, moderna da Geodésia Brasileira) e as precisões correspondentes para ponderar o ajustamento e realizar os testes estatísticos numa fase posterior. Com tais informações é feita uma “calibração” onde são calculadas altitudes ortométricas injuncionando um a um os pontos de controle. Uma matriz de discrepâncias é obtida a partir da comparação de todas as altitudes realizadas. Essa matriz de discrepâncias serve ao propósito de eliminar possíveis erros grosseiros, quando diferenças muito significativas são encontradas.

No caso, a matriz de discrepâncias geradas, apresentada na Figura 18, mostra uma diferença máxima de 6,6 cm, envolvendo os pontos RECF e RN_Rufino.

MATRIZ DE DISCREPÂNCIAS ENTRE SOLUÇÕES PARA CADA PONTO CONTROLE							
Estação	RECF	DNIT	RN_Rufino	RN3641M	V13_EIG	IgrejaBV	IGREJAPINA
RECF	0,0000	-0,0193	-0,0662	-0,0579	-0,0316	-0,0221	-0,0470
DNIT	-0,0193	0,0000	-0,0469	-0,0385	-0,0123	-0,0027	-0,0277
RN_Rufino	-0,0662	-0,0469	0,0000	0,0084	0,0346	0,0442	0,0192
RN3641M	-0,0579	-0,0385	0,0084	0,0000	0,0262	0,0358	0,0108
V13_EIG	-0,0316	-0,0123	0,0346	0,0262	0,0000	0,0096	-0,0154
IgrejaBV	-0,0221	-0,0027	0,0442	0,0358	0,0096	0,0000	-0,0250
IGPINA	-0,0470	-0,0277	0,0192	0,0108	-0,0154	-0,0250	0,0000

Figura 18 – Matriz de discrepâncias entre altitudes ortométricas injuncionando uma a uma das estações. (AstGeoTop, 2017).

Essa diferença não caracteriza erro grosseiro pois está de acordo com os valores do desnível geoidal, conforme metodologia proposta, (GARNÉS, 2014).

As propostas de modelos matemáticos que o software permite são os mostrados nas equações de (7) a (10) e também com diferenças de ondulações ΔN em relação ao modelo geoidal escolhido, no caso o MAPGEO2015. Com isso, resultam 8 tipos de modelos para testar nessa fase do processamento, conforme ilustra a Figura 19.

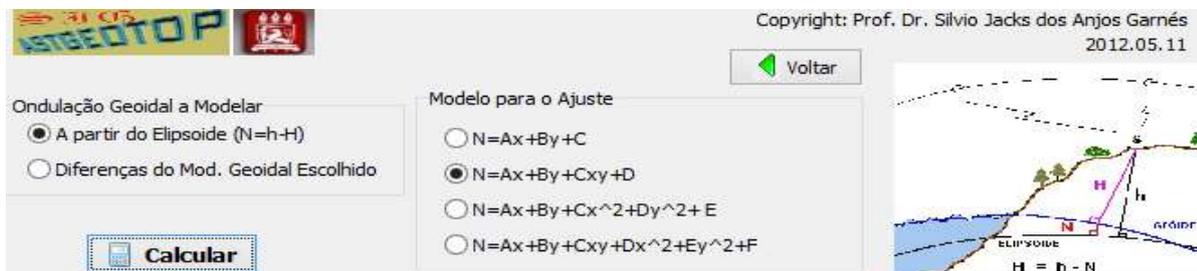


Figura 19 – Combinações de tipos de modelos para encontrar o que melhor se adequa a região de estudo com os dados disponíveis. (AstGeoTop, 2017).

Como o grau de liberdade do ajustamento paramétrico $L_a = F(x_a)$ é dado pelo número de equações menos o número de incógnitas, sendo 7 o número de equações e cada letra A, B, C, ..., F representando um parâmetro, então ter-se-ia pela ordem decrescente dos modelos apresentados na Figura 19: $v = 4, 3, 2, 1$ graus de liberdade, respectivamente.

Do ponto de vista estatístico, quando maior a quantidade dos graus de liberdade maior é a segurança dos testes de hipóteses, pois os graus de liberdade representam a quantidade de observações realizadas, além da quantidade mínima necessária para definir o modelo.

Com exceção do modelo plano $N = Ax + By + C$ todos os demais passam no teste de hipótese global Qui-quadrado. Sendo que quanto mais parâmetros no modelo, menor é o valor de $V^T P V$ o que é bom, todavia fica menor a confiabilidade estatística, pela redução dos graus de liberdade.

Além do teste de hipótese Qui-Quadrado para verificar a consistência estatística entre observações ponderadas, outras análises são realizadas pelo software, tais como o teste 2sigma, o teste data Snopping de Baarda de (1968); o teste tau de Pope de (1976); análise de confiabilidade da rede, como redundância, absorção, confiabilidade interna e confiabilidade externa; análise de mal condicionamento do sistema de equações normais. Todavia o que diferencia a decisão de qual modelo adotar é a validação ponto a ponto usando, na literatura geodésica, é chamada de correlação cruzada, onde cada observação é retirada do modelo e usada como controle para verificar a discrepância, depois reposta quando o ponto seguinte é utilizado como controle. Uma a uma as discrepâncias vão sendo calculadas e no final o desvio padrão do

grupo de discrepância é calculado o desvio padrão, chamado de Erro Médio Quadrático (EMQ) no software, pela proximidade do erro verdadeiro do modelo.

O segundo modelo $N=Ax+By+Cxy+D$ foi o escolhido por representar melhores resultados nas etapas mencionadas anteriormente. O maior resíduo foi de 1,6cm a hipótese nula no teste qui-quadrado H_0 não foi rejeitada ao nível de significância de 5%. A Figura 20 mostra os resultados encontrados nesse modelo.

```

-----
MODELAGEM DO GEOIDE LOCAL
-----
N=Ax+By+Cxy+D
VETOR DAS OBSERVAÇÕES:
Ondulações Geoidais
ESTACAO      N
RECF          -5,4306
DNIT          -5,4569
RN_Rufino    -5,5009
RN3641M      -5,5495
V13_EIG      -5,6771
IgrejaBV     -5,7170
IGREJAPINA   -5,6269

PARÂMETROS AJUSTADOS
PARAM      X              sigma(X)
A =        -2,514892      0,250321
B =         2,256088      0,156579
C =         41,258209      7,506815
D =         -5,549754      0,005281

MATRIZ VARIÂNCIA-COVARIÂNCIA DOS PARÂMETROS AJUSTADOS
0,062660      0,024188      -0,867971      -0,000332
0,024188      0,024517      0,333490      0,000058
-0,867971     0,333490      56,352267      0,031611
-0,000332     0,000058      0,031611      0,000028

COORDENADAS DE ORIGEM DO CÁLCULO DOS PARÂMETROS
Latitude = -8°05'40,32702"  Longitude = -34°55'20,78891"

VETOR DOS RESÍDUOS ESTIMADO
ESTACAO      v              sigma(v)
RECF          0,0000      0,0000
DNIT          0,0046      0,0080
RN_Rufino    -0,0160      0,0121
RN3641M      -0,0019      0,0059
V13_EIG      0,0095      0,0078
IgrejaBV     -0,0053      0,0046
IGREJAPINA   0,0033      0,0025

Média dos Resíduos média(v) = -0,000806
Desvio padrão dos Resíduos des_pad(v) = 0,008215
Soma dos Resíduos Ponderados ao Quadrado (v`Pv) = 2,709957
Variância da Unidade de Peso a-posteriori (sig2_pos) = 0,903319
Desvio Padrão da Unidade de Peso a-posteriori (sig_pos) = 0,950431

TESTE ESTATÍSTICO QUI-QUADRADO UNI-CAUDAL PARA VARIÂNCIA
Hipótese nula (H0):      0,903319021868171 = 1 (sig2_pri)
Hipótese alternativa (H0): 0,903319021868171 > sig2_pri
Nível de significância (alfa) = 0,05
Número de observações (n) = 7
Número de parâmetros (u) = 4
Graus de liberdade (gl) = 3
--
Valor crítico superior (Chi2_sup) = 7,81
Estatística do teste (v`Pv/sig2_pri) = 2,70995706560451
Conclusão :
Hipótese nula (H0) não foi rejeitada ao nível de significância alfa=5%
As observações estão de acordo com o esperado.

```

Figura 20 - A correção cruzada mostra que a discrepância máxima encontrada é de -2,3cm e o Erro Médio Quadrático foi de 1,54cm. (AstGeoTop, 2017).

Estatísticas do modelo avaliado (N=Ax+By+Cxy+D):			
Média discrepância	=	-0,0103	
Média absoluta	=	0,0130	
Discrepância máxima	=	0,0053	--> DNIT
Discrepância mínima	=	-0,0230	--> IgrejaBV
Amplitude	=	0,0283	
Erro médio quadrático	=	0,0154	

Figura 21 – Análise da correlação cruzada entre os pontos e o modelo. (AstGeoTop, 2017).

O modelo de fato fica constituído pelos resultados apresentados na Figura 21 sendo:

Modelo funcional:

$$N = Ax + By + Cxy + D$$

Origem das coordenadas para o cálculo dos parâmetros:

$$\text{Latitude} = -8^{\circ}05'40,32702'' \quad \text{Longitude} = -34^{\circ}55'20,78891''$$

Parâmetros estimados pelo ajustamento (MMQ):

$$A = -2,514892$$

$$B = 2,256088$$

$$C = 41,258209$$

$$D = -5,549754$$

Modelo estocástico:

$$\Sigma \mathbf{x} = \begin{bmatrix} 0,062660 & 0,024188 & -0,867971 & -0,000332 \\ 0,024188 & 0,024517 & 0,333490 & 0,000058 \\ -0,867971 & 0,333490 & 56,352267 & 0,031611 \\ -0,000332 & 0,000058 & 0,031611 & 0,000028 \end{bmatrix}$$

Utilizando o modelo anterior, Figura 21, sua aplicação prática fica completada com as informações de uma estimativa de precisão das altitudes ortométricas obtidas a partir das altitudes elipsoidais. Da aplicação da lei de propagação das covariâncias conforme Gemael (1994), $\Sigma_N = G \Sigma_X G^T$, a raiz quadrada dos elementos da diagonal da matriz Σ_N , nesse caso unidimensional, vai dar o desvio padrão da ondulação geoidal estimada (σ_N).

A altitude ortométrica (H) e uma estimativa de sua precisão (σ_H) são obtidas por:

$$H=h - N;$$

$$\sigma_H = \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_N^2}.$$

Considerando o modelo desenvolvido com aplicação na Rede de Referência Cadastral do campus Joaquim Amazonas da UFPE, implantado em (VILA FLOR, 2010) e utilizando as coordenadas divulgadas em (MENDONÇA *et al*, 2010), supondo as altitudes elipsoidais sem erro, as altitudes ortométricas com respectivas precisões, resultam nos valores apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Determinação das altitudes ortométricas do campus da UFPE usando o modelo geoidal local.

IdPonto	Latitude	Longitude	h(m)	N(m)	H(m)	D.padrão(m)
RECF	-8°03`03,46970"	-34°57`05,45910"	20,180	-5,431	25,611	0,000
EPS1	-8°02`53,44031"	-34°56`53,45504"	2,787	-5,430	8,217	0,001
EPS2	-8°02`50,24854"	-34°57`09,19544"	4,332	-5,426	9,758	0,001
EPS3	-8°03`07,57601"	-34°56`50,66166"	5,200	-5,435	10,635	0,001
EPS4	-8°03`05,84148"	-34°57`11,62465"	4,892	-5,430	10,322	0,001
EPS5	-8°03`23,36084"	-34°56`51,38975"	3,083	-5,440	8,523	0,002
EPS6	-8°03`21,26425"	-34°57`16,23980"	4,586	-5,433	10,019	0,001
EPS7	-8°03`08,21201"	-34°57`14,65599"	4,637	-5,430	10,067	0,001

Fonte: (GARNÉS, 2017). AstGeoTop: Modelo Geoidal Local - RECIFE/PE. Versão @ 2017.12.08.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O trabalho obteve êxito ao que foi proposto, tendo em vista que o modelo geoidal local cumpriu os parâmetros de precisão necessários, passando pelos testes do Qui-Quadrado e de tau de Pope para detecção de erros grosseiros. Nas análises ponto a ponto nenhum ponto ultrapassou a margem do 0,02m.

O conjunto GNSS e nivelamento geométrico para a determinação das ondulações geoidais se mostra cada vez mais satisfatório com a evolução das técnicas, softwares e equipamentos.

Para um modelo melhor ajustado aplicado a áreas mais afastadas das faixas niveladas, há necessidade de um maior adensamento dos pontos nivelados e rastreados, quanto maior a quantidade de pontos mais abundante as observações possibilitando assim, também a utilização de equações quadráticas.

A utilização dos rastreios de GNSS formando rede geodésica com uma boa quantidade de observações, determina as altitudes elipsoidais sigmas mais confiáveis, possibilitando a não superestimação.

Como consideração para a evolução da linha de trabalho seria a inclusão de dados gravimétricos para comparação dos modelos definidos ou aplicação de modelos mistos dos dois tipos de observações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 13.133 – **Execução de Levantamento Topográfico**. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. 1994. 35 p.

ARANA, José Milton. O uso do GPS na determinação de altitudes ortométricas. In: **Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**. 2004.

ARANA, J.M. - **O Uso do GPS na Elaboração de Carta Geoidal**. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Curitiba, PR, Brasil: Universidade Federal do Paraná (UFPR). 2000.

ARANA, J.M. – **Determinação da Ondulação do Geoide por GPS/Nivelamento e Modelos Geopotenciais**. Notas de Aula. Departamento de Cartografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia Unesp – Campus de Presidente Prudente, p. 28, 2000.

BAARDA, W. **A Testing Procedure for Use in Geodetic Networks**. New Series, vol. 2, n. 5, Delft, 1968.

BRASIL, Leis et al. **Decreto No 89.817**, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional (IRNTCN). Brasília: Diário Oficial da União (DOU) de, v. 22, p. 8

BERNARDI, J.V.E. & LANDIM, P.M.B. **Aplicação do Sistema de Posicionamento Global (GPS) na coleta de dados**. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatématica, Texto Didático 10, 31 pp. 2002. Disponível em . Acesso em: 25 de junho 2008.

BIRARDI, G. et al. **Setting-up local “mapping geoids” with the aid of GPS/LEV traverses. Application to the geoids of Sardinia**. Calabria. Journal of Geodesy, v. 70, n. 1-2, p. 98-109, 1995.

DOS SANTOS¹, M. A.; MOTTA, J.A.; DE SEIXAS¹, A.- **Determinação do Modelo Geoidal Local da região metropolitana do recife (RMR) e Parte Do Agreste de Pernambuco por Meio de Medições Gravimétricas**.

DE FREITAS, SRC de; BLITZKOW, D. Altitudes e geopotencial. **IGeS Bulletin** N, p. 47-62, 1999.

ESPARTEL, L. **Curso de topografia**. 7ª ed. Porto Alegre, Globo, 1980.

ESPECIFICAÇÕES, I. B. G. E. Normas para Levantamentos Geodésicos-PR n 22. **Rio de Janeiro**, 1983.

FEATHERSTONE, W. E.; DENTITH, M.C., KIRBY, J.F. – **Strategies for the Accurate Determination of Orthometric Heights from GPPS**, Survey Review.1998.

GARNÉS, S.J.A. **AstGeoTop (2014)**. Software. Módulo: fator de quadrícula UTM e desnível geoidal. Disponibilizado no Workshop - A formação de profissionais para a topografia moderna: GARNÉS, S.J. A; SCHWAB, A. Compatibilização de posicionamento GNSS e estação total - teoria e prática. In: **V SIMGEO** - Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife - PE, 12- 14 de nov. de 2014.1 CD-ROM.

GARNÉS, S. J. A. – **AstGeoTop (2017)**. *Software*. Módulo: modelo geoidal © Versão 2012.05.11. Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas**. Universidade Federal do Paraná: 1ª edição, Paraná, 1994, 220p.

GEMAEL, C. – **Introdução a Geodésia Física**. Edição atualizada. ed. Curitiba: Editora UFPR, 2012.

IBGE, **Resolução do Presidente, de 25 de fevereiro de 2005**. Estabelece a definição do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB).

IBGE - Sistema Geodésico Brasileiro - Rede Altimétrica - Disponível em < <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/altimetrica.shtm> > acesso em: 09 de novembro de 2016.

LOWRIE, William. **Fundamentals of geophysics**. Cambridge university press, 2007.

MENDONÇA, F. J. B.; GARNÉS, S.J.A ; PEREIRA, C.M. ; BARROSO NETO,J.A ; MELO,W.D.A . **Análise do Ajustamento por Mínimos Quadrados de uma Trilateração Topográfica com Injunções nos Planos UTM e Topocêntrico**. In: **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, 2010. Recife-Pernambuco. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2010. v. 1. p. 001-009.

Modelo de Ondulação Geoidal – **MAPGEO 2015**,
http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm

MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. UNESP, São Paulo-SP: 2ed. 2008.

Pope, A. J.. **The Statistics of Residuals and the Detection of Outliers**.,NOAA, Rockville, Md. 1976

REJANE, L.; SANTOS, S.; CABRAL, J.; GARNÉS, S. J. A.; HAROLDO, M. - **Resultados Preliminares da Estimativa De Subsidiência Através do Monitoramento com Uso do GNSS**. XII Simpósio Recursos Hídricos do Nordeste . Natal. 2014.

SEEBER, G. - **Satellite Geodesy**.2nd completely revised and extended edition. Walter de Gruyter Berlin New York 2003.

SIDERIS, M G (1995), **Fourier geoid determination with irregular data**. J Geod 70(1-2): 2-12.

SILVA, D. J. N. – **Avaliação da precisão de trechos da rede altimétrica de alta precisão do sistema geodésico brasileiro na cidade do Recife-PE**. Trabalho de Graduação – TCC. Orientador GARNÉS, S. J. A. Curso de Engenharia Cartográfica, Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco, 2014.

SILVA, I. Da, SEGANTINE LIMA, P.C., **Topografia para Engenharia –Teoria e Prática de Geomática**, RJ, Elsevier, 2015.

TEIXEIRA, N.N.; FERREIRA, L.D.D.; GARNÉS, S. J. A - **Carta Geoidal de Belo Horizonte: Fase Preliminar**, COBRAC, Belo Horizonte 2000.

TORGE, W. – **Geodesy: Third completely revised and extended edition**. Berlin, p. 416, 2001. ISSN 3-11-017072-8.

TOPCON – **Manual de Instrução AT-B2/B3/B4**, p.30. 2010

TOPCON – **Manual de Operação**. Hiper V, p.74. 2012

VANÍCEK, P.; KRAKIWSKY, E.J. – **Geodesy 2nd The Concepts** . Elsevier Science, 1986.

VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L. **Fundamentos de Topografia. UFPR – Curso de Engenharia Cartográfica**, 2007.

WELLS, D. E.; DELIKARAOGLOU, D.; VANICEK, P. **Marine navigation with NAVSTAR/Global Positioning System (GPS) today and in the future**.The Canadian Surveyor, v. 36, n. 1, 1982.

APÊNDICES

CADERNETA DE NIVELAMENTO CALCULADA

Nome do Circuito	Instituição	RN Inicial	RN Final	Dist (m)	Erro Fecha (m)	Desnível (m)	Precisão mm/km	Instituições Discrepância
1 - UFPE Av. dos Reitores	DECArt IBGE	3641B	3641C	519,54	0,00056	0,30634 0,3036	0,388 ***	-2,74 (mm)
2 - BR 101 DNIT	DECArt IBGE	3641C	3641D	1365,79	0,000	- 2,39338 -2,3914	Total E.F.=0	1,98 (mm)
3 - Av Recife: DNIT Rufino	DECArt IBGE	3641D	3641L	3065,56	0,00181	2,11126 2,1111	0,517 ***	-0,16 (mm)
4 - Av. Recife: Rufino Galetus	DECArt IBGE	3641L	3641M	1895,82	0,00095	- 3,86308 -3,8642	0,345	-1,12 (mm)
5 - Galetus Aeroporto	DECArt IBGE	3641M	3641X	4227,11	0,00011	3,88138 3,8833	0,027	1,92 (mm)
6 - Aeroporto	DECArt IBGE	3641X	3641U	90,48	0,00009	0,03879 0,0431	0,150 ***	4,31 (mm)
6 - Barão Souza Leão	DECArt IBGE	3641X	9319G	2018,47	0,00073	- 4,32937 -4,2786	0,257	5,077 (cm)
7 - Vércie V13 ESIG	DECArt ENGEFOTO	3641X	V-13	442,57	0,00117	- 0,59178 -0,584	0,879 ***	7,78 (mm)
7 - Igrj B.Viagem Igrj Pina	DECArt IBGE	9319G	9319M	5559,74	0,00155	- 1,26962 -1,3177	0,329 ***	-4,808 (cm)

DADOS GNSS CALCULADOS

COORDENADAS RNS

SIRGAS2000	a=6378137	alfa=1/298,257222101	
ID_Pto	Latitude	Longitude	Alt.Elip.(m)
RECF	- 8°03'03,46970"	-34°57'05,45910"	20,179
DNIT	- 8°03'49,00944"	-34°56'41,32925"	1,088
RN_Rufino	- 8°05'15,06250"	-34°55'48,39929"	3,102
RN3641M	- 8°06'08,33883"	-34°55'40,89187"	-0,482
V13_EIG	- 8°08'09,33018"	-34°54'59,92555"	2,68

IgrejaBV	-8°07'55,88288"	-34°54'03,26937"	-1,608
IGREJAPINA	-8°05'21,19560"	-34°53'06,24795"	-3,389

COORDENADAS AJUSTADAS

Name	Latitude	Longitude	Ell.Heig ht (m)	sigma h (m)	H ortom	sigma ort.	Contro l	td Dev n (m)	td Dev e (m)	td Dev Hz (m)
REFC	-8°03'03,46970"	-34°57'05,45910"	20,179	0,00001	25,6096	0,0001	Both	0	0	0
DNIT	-8°03'49,00944"	-34°56'41,32927"	1,087	0,002	6,5449	0,001	None	0,001	0,001	0,002
RN_Rufino	-8°05'15,06248"	-34°55'48,39942"	3,104	0,003	8,6029	0,001	None	0,001	0,002	0,002
RN3641M	-8°06'08,33883"	-34°55'40,89192"	-0,484	0,003	5,06754	0,001	None	0,001	0,002	0,002
V13_EIG	-8°08'09,33019"	-34°54'59,92558"	2,678	0,003	8,35714	0,001	None	0,002	0,002	0,002
IgrejaBV	-8°07'55,88289"	-34°54'03,26943"	-1,609	0,003	4,10905	0,001	None	0,002	0,002	0,002
IGREJAPINA	-8°05'21,19561"	-34°53'06,24801"	-3,388	0,003	2,2379	0,001	None	0,001	0,002	0,002

NIVELAMENTO DO RASTREIO ATÉ OS RRNN

NIVELAMENTO do PTO GPS no DNIT A RN3641D

EST	RE	MUD	COTA
RN3641D	1,102		6,8194
PTO GPS		1,376	6,5454
RN3641D	1,048		6,8194
PTO GPS		1,323	6,5444
		Média =	6,5449

NIVELAMENTO do PTO GPS
no CAVOCO A RN3641M

RN3641M
Foi rastreado em cima da RN nesse ponto

NIVELAMENTO do PTO GPS na Av. Recife até Pino de RN RN3641L na Rufino

EST	RE	INT	MUD	COTA
Pino	1,725			8,5114
Aux 1			1,400	8,8364
Aux 1	1,160			
Válvula		1,318		8,6784
PTO GPS			1,393	8,603
Pino	1,706			8,5114
Aux2			1,369	8,8484

Aux2	1,108		
Válvula		1,278	8,6784
PTO GPS			1,354
		Média =	8,60294

NIVELAMENTO do PTO GPS em
BV e RN9319G

EST	RE	MUD	COTA
RN9319G	1,024		4,62
PTO GPS		1,534	4,11
RN9319G	0,953		4,62
PTO GPS		1,464	4,109
		Média	
		=	4,109

NIVELAMENTO do PTO GPS
Igreja do Pina e RN9319M

EST	RE	MUD	COTA
RN9319M	0,523		3,35
PTO GPS		1,634	2,239
RN9319M	0,512		3,35
PTO GPS		1,625	2,237
		Média	
		=	2,238

DADOS DA CRIAÇÃO DO MODELO GEOIDAL

PONTOS DE CONTROL DO MODELO

ID_Pto	Alt.Elip.(m)	Sigma(m)	Ort.Controle(m)	sigma(m)
REFC	20,179	0,0001	25,6096	0,0001
DNIT	1,088	0,009	6,5449	0,001
RN_Rufino	3,102	0,014	8,6029	0,001
RN3641M	-0,482	0,009	5,06754	0,001
V13_EIG	2,68	0,011	8,35714	0,001
IgrejaBV	-1,608	0,01	4,10905	0,001
IGREJAPINA	-3,389	0,011	2,2379	0,001

DADOS DO PROCESSAMENTO

INTERPOLAÇÃO DAS ONDULAÇÕES GEOIDAIS

Modelo Geoidal : MAPGEO2015
 Sistema Geodésico de Referência : SIRGAS2000
 Interpolação bilinear dos valores de N
 Grade de 5` x 5` em latitude e longitude
 Arquivo Fonte : MAPGEO2015_SIRGAS2000.DAT

Número de linhas do Arquivo = 265680

Pto	Latitude	Longitude	N(m)	H.ort.(m)
RECF	-8°03`03,46970"	-34°57`05,45910"	-5,5379	25,7169
DNIT	-8°03`49,00944"	-34°56`41,32925"	-5,5835	6,6715
RN_Rufino	-8°05`15,06250"	-34°55`48,39929"	-5,6744	8,7764
RN3641M	-8°06`08,33883"	-34°55`40,89187"	-5,7147	5,2327
V13_EIG	-8°08`09,33018"	-34°54`59,92555"	-5,8160	8,4960
IgrejaBV	-8°07`55,88288"	-34°54`03,26937"	-5,8464	4,2384
IGREJAPINA	-8°05`21,19560"	-34°53`06,24795"	-5,7812	2,3922

ALTITUDE ORTOMÉTRICAS CORRIGIDAS

Estação de Controle : DNIT >> H = 6,5449

Estação	Alt.ortométrica(m)
RECF	25,5903
DNIT	6,5449
RN_Rufino	8,6498
RN3641M	5,1061
V13_EIG	8,3694
IgrejaBV	4,1118
IGREJAPINA	2,2656

Estação de Controle : RN_Rufino >> H = 8,6029

Estação	Alt.ortométrica(m)
RECF	25,5434
DNIT	6,4980
RN_Rufino	8,6029
RN3641M	5,0592
V13_EIG	8,3225
IgrejaBV	4,0649
IGREJAPINA	2,2187

Estação de Controle : RN3641M >> H = 5,06754

Estação	Alt.ortométrica(m)
RECF	25,5517
DNIT	6,5064
RN_Rufino	8,6113
RN3641M	5,0675
V13_EIG	8,3309
IgrejaBV	4,0732
IGREJAPINA	2,2271

Estação de Controle : V13_EIG >> H = 8,35714

Estação	Alt.ortométrica(m)
RECF	25,5780
DNIT	6,5326
RN_Rufino	8,6375
RN3641M	5,0938
V13_EIG	8,3571
IgrejaBV	4,0995
IGREJAPINA	2,2533

Estação de Controle : IgrejaBV >> H = 4,10905

Estação	Alt.ortométrica(m)
RECF	25,5875
DNIT	6,5422
RN_Rufino	8,6471
RN3641M	5,1033
V13_EIG	8,3667
IgrejaBV	4,1090
IGREJAPINA	2,2629

Estação de Controle : IGREJAPINA >> H = 2,2379
 Estação Alt.ortométrica (m)
 RECF 25,5626
 DNIT 6,5172
 RN_Rufino 8,6221
 RN3641M 5,0784
 V13_EIG 8,3418
 IgrejaBV 4,0841
 IGREJAPINA 2,2379

AGRUPAMENTO DAS SOLUÇÕES

Estação	DNIT	RN_Rufino	RN3641M	V13_EIG	IgrejaBV
IGREJAPINA					
RECF	25,5903	25,5434	25,5517	25,5780	25,5875
25,5626					
DNIT	6,5449	6,4980	6,5064	6,5326	6,5422
6,5172					
RN_Rufino	8,6498	8,6029	8,6113	8,6375	8,6471
8,6221					
RN3641M	5,1061	5,0592	5,0675	5,0938	5,1033
5,0784					
V13_EIG	8,3694	8,3225	8,3309	8,3571	8,3667
8,3418					
IgrejaBV	4,1118	4,0649	4,0732	4,0995	4,1090
4,0841					
IGREJAPINA	2,2656	2,2187	2,2271	2,2533	2,2629
2,2379					

MATRIZ DE DISCREPÂNCIAS ENTRE SOLUÇÕES PARA CADA PONTO CONTROLE

Estação	DNIT	RN_Rufino	RN3641M	V13_EIG	IgrejaBV
IGREJAPINA					
DNIT	0,0000	-0,0469	-0,0385	-0,0123	-0,0027
-0,0277					
RN_Rufino	-0,0469	0,0000	0,0084	0,0346	0,0442
0,0192					
RN3641M	-0,0385	0,0084	0,0000	0,0262	0,0358
0,0108					
V13_EIG	-0,0123	0,0346	0,0262	0,0000	0,0096
-0,0154					
IgrejaBV	-0,0027	0,0442	0,0358	0,0096	0,0000
-0,0250					
IGREJAPINA	-0,0277	0,0192	0,0108	-0,0154	-0,0250
0,0000					

ALTITUDES ORTOMÉTRICAS MÉDIAS SEM INJUNÇÕES DE PONTOS DE CONTROLE

RECF 25,5689
 DNIT 6,5236
 RN_Rufino 8,6284
 RN3641M 5,0847
 V13_EIG 8,3481
 IgrejaBV 4,0904
 IGREJAPINA 2,2442

MODELAGEM DO GEOIDE LOCAL

 $N = Ax + By + Cxy + D$

VECTOR DAS OBSERVAÇÕES:

Ondulações Geoidais

ESTACAO N

DNIT	-5,4569
RN_Rufino	-5,5009
RN3641M	-5,5495
V13_EIG	-5,6771
IgrejaBV	-5,7170
IGREJAPINA	-5,6269

PARÂMETROS AJUSTADOS

PARAM	X	sigma(X)
A =	-2,820561	0,356447
B =	2,444956	0,217772
C =	42,390121	13,494195
D =	-5,579742	0,006069

MATRIZ VARIÂNCIA-COVARIÂNCIA DOS PARÂMETROS AJUSTADOS

0,127054	0,029822	-2,858264	-0,000633
0,029822	0,047425	0,326798	0,000048
-2,858264	0,326798	182,093294	0,048750
-0,000633	0,000048	0,048750	0,000037

COORDENADAS DE ORIGEM DO CÁLCULO DOS PARÂMETROS

Latitude = -8°06`06,46990" Longitude = -34°55`03,34388"

VETOR DOS RESÍDUOS ESTIMADO

ESTACAO	V	sigma(V)
DNIT	0,0032	0,0023
RN_Rufino	-0,0162	0,0150
RN3641M	-0,0018	0,0069
V13_EIG	0,0099	0,0092
IgrejaBV	-0,0056	0,0046
IGREJAPINA	0,0035	0,0026

Média dos Resíduos média(v) = -0,001159

Desvio padrão dos Resíduos des_pad(v) = 0,009051

Soma dos Resíduos Ponderados ao Quadrado (v`Pv) = 2,745477

Variância da Unidade de Peso a-posteriori (sig2_pos) = 1,372738

Desvio Padrão da Unidade de Peso a-posteriori (sig_pos) = 1,171639

TESTE ESTATÍSTICO QUI-QUADRADO UNI-CAUDAL PARA VARIÂNCIA

Hipótese nula (H0): 1,37273831216441 = 1 (sig2_pri)

Hipótese alternativa (H0): 1,37273831216441 > sig2_pri

Nível de significância (alfa) = 0,05

Número de observações (n) = 6

Número de parâmetros (u) = 4

Gruas de liberdade (gl) = 2

--

Valor critico superior (Chi2_sup) = 5,99

Estatística do teste (v`Pv/sig2_pri) = 2,74547662432883

Conclusão :

Hipótese nula (H0) não foi rejeitada ao nível de significância alfa=5%

As observações estão de acordo com o esperado.

ELEMENTOS DE CONFIABILIDADE DO AJUSTAMENTO

Semi-eixos do Hiperelipsoide de Erros

semi-eixo 1 = 0,00482555265214509

semi-eixo 2 = 0,159200828615242

semi-eixo 3 = 0,321969003184411

semi-eixo 4 = 13,4958800070252

Número de condição do Sistema Eq. Normais = 7821828,6765805

O número de condição indica mal-condicionamento no Sistema de Equações Normais
 Se não forem proporcionais os comprimentos dos semi-eixos do hiperelipsoide de erros
 o sistema de equações normais é de fato mal-condicionado.

Traço da matriz de redundância $tr(R) = 2$

ESTACAO	N°.redund.	Conf.Int.	N.Absorção	Conf.Ext
DNIT	0,0590	0,1328	-0,0515	255,2072
RN_Rufino	0,8266	0,0618	0,0034	3,3575
RN3641M	0,4226	0,0557	0,0025	21,8631
V13_EIG	0,5003	0,0625	-0,0099	15,9796
IgrejaBV	0,1521	0,1031	0,0310	89,2078
IGREJAPINA	0,0395	0,2224	-0,0852	389,3106

INTERPRETAÇÃO

- 1) O número de redundância vai de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1 mais ganho tem o ajustamento. Esse número indica a contribuição da observação correspondente para os graus de liberdade do ajustamento
- 2) A confiabilidade interna indica uma probabilidade de 90% para detectar erros grosseiros acima dos valores mostrados ou a probabilidade de 10% em não detectar erros grosseiros abaixo dos valores mostrados.
- 3) O número de absorção indica o quanto um erro grosseiro na observação poderia afetar o cálculo do resíduo, então quanto menor esse valor, melhor.
- 4) A confiabilidade externa global indica o quanto os parâmetros estimados poderiam ser afetados na presença de erros grosseiros não detectados mostrados na confiabilidade interna, então quanto menor, melhor.

DETECÇÃO DE ERROS GROSSEIROS

1.Método: $|v_i| > 2 * sig(v)$ [0,018103]

Os resultados em análise preliminar estão dentro do esperado!

2.Método: Data Snopping de Baarda(1968) para $\alpha=5\%$

ESTACAO	V(padronizado)	Decisão: $ V_p < 1,96$
DNIT	1,6496	Ok
RN_Rufino	-1,2698	Ok
RN3641M	-0,3097	Ok
V13_EIG	1,2678	Ok
IgrejaBV	-1,4204	Ok
IGREJAPINA	1,5963	Ok

3.Método: tau de Pope(1976) para $\alpha=10\%$

ESTACAO	V(padronizado)	Decisão: $ V_p < 1,41$
DNIT	1,4079	Ok
RN_Rufino	-1,0838	Ok
RN3641M	-0,2643	Ok
V13_EIG	1,0821	Ok
IgrejaBV	-1,2123	Ok
IGREJAPINA	1,3625	Ok

RESULTADO DA ALTITUDE ORTOMÉTRICA COM MODELO LOCAL

Pto	Latitude	Longitude	N (m)	H.ort. (m)
RECF	-8°03`03,46970"	-34°57`05,45910"	-5,4329	25,6119
DNIT	-8°03`49,00944"	-34°56`41,32925"	-5,4537	6,5417
RN_Rufino	-8°05`15,06250"	-34°55`48,39929"	-5,5171	8,6191

RN3641M	-8°06`08,33883"	-34°55`40,89187"	-5,5514	5,0694
V13_EIG	-8°08`09,33018"	-34°54`59,92555"	-5,6672	8,3472
IgrejaBV	-8°07`55,88288"	-34°54`03,26937"	-5,7226	4,1146
IGREJAPINA	-8°05`21,19560"	-34°53`06,24795"	-5,6234	2,2344

ANEXOS

MEMORIAIS DESCRITIVOS RRNN UTILIZADAS



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	3641D	Nome da Estação :	3641D	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	RECIFE			UF :	PE
Última Visita:	18/07/2014	Situação Marco Principal :	Bom		
Conexões :	EG : 8131580				

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08 ° 03 ' 49 " S	Altitude Ortométrica(m)	6,8165	Gravidade(mGal)	978.159,87
Longitude	34 ° 56 ' 42 " W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	RGFB
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,09	Data Medição	27/03/2009
Origem		Datum		Imbituba	Data Cálculo
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	18/07/2014		22/11/2011
Data Medição	18/07/2014	Data Cálculo	19/11/2014		
Data Cálculo					
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.108.159				
UTM(E)	285.656				
MC	-33				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/ref_sirgas2000.pdf
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015.

Localização
 Na calçada, sob a janela da guarita de segurança do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, junto à Polícia Rodoviária Federal, localizado no marco quilométrico nº 69 da Rodovia BR - 101, no bairro do Curado e a 1,34 km além da RN 3641 C.

Descrição
 Chapa de bronze medindo 6,0 cm de diâmetro, estampada: IBGE RN 3641 D, fixada no piso.

Observação
 A RN encontra-se a 1,34 km além da RN 3641 C

Foto(s).



Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG.
 Agradecemos a comunicação de falhas ou omissões.
 Para entrar em contato conosco, utilize os recursos abaixo :
 Fale conosco: 0800 218181 Email: ibge@ibge.gov.br

Estação :	9319M	Nome da Estação :	9319M	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	RECIFE			UF :	PE
Última Visita:	11/05/2006	Situação Marco Principal :	Bom		

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08° 05' 21" S	Altitude Ortométrica(m)	3,3525	Gravidade(mGal)	
Longitude	34° 53' 07" W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,09	Data Medição	
Origem		Datum	Imbituba	Data Cálculo	
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	06/08/1958		
Data Medição	11/05/2006	Data Cálculo	15/06/2011		
Data Cálculo					
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.105.364				
UTM(E)	292.253				
MC	-33				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtml
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015.

Localização

RN da Prefeitura do Recife, situado na parede 43 cm acima do nível da calçada do lado esquerdo de quem entra na porta principal da Igreja de Nossa Senhora do Rosário, mais conhecida com Igreja do Pina, na Av. Herculano Bandeira, nº 471, no bairro do Pina, em Recife, PE.

Descrição

Chapa de aço da Prefeitura medindo 12x12 cm de forma circular com pino também de aço no seu topo.

Observação

Conhecedor da Estação: Frei Evilásio Campelo de Medeiros, Pároco da Igreja - fone: 081-3467-7943 e a funcionária da Igreja Maria Cícera de Souza.

Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG
 Agradecemos a comunicação de falhas ou omissões
 Para entrar em contato conosco, utilize os recursos abaixo
 Fale conosco: 0800 218181 Email: ibge@ibge.gov.br

Estação :	3641X	Nome da Estação :	3641X	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	RECIFE			UF :	PE
Última Visita:	30/03/2009	Situação Marco Principal :	Bom		
Conexões :	EG : 8131603				

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08 ° 07 ' 57 " S	Altitude Ortométrica(m)	8,9488	Gravidade(mGal)	978.151,25
Longitude	34 ° 55 ' 03 " W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	RGFB
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,09	Data Medição	30/03/2009
Origem		Datum	Imbituba	Data Cálculo	22/11/2011
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	22/11/2004		
Data Medição	30/03/2009	Data Cálculo	15/06/2011		
Data Cálculo					
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.100.554				
UTM(E)	288.724				
MC	-33				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/ref_sirgas2000.pdf
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015.

Localização

Por trás da 9ª pilastra de sustentação, defronte a saída do estacionamento coberto, 19 m a Sudeste da porta de Desembarque Sul nº A-6 do Aeroporto Internacional Gilberto Freyre.

Descrição
Chapa padrão IBGE.

Observação

Conhecedor da estação: Carlos Eduardo de Almeida - Coord. Segurança da Infraero no Aeroporto do Recife. RN 3641X ■ EG 8131603

Foto(s)



Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG.
Agradecemos a comunicação de falhas ou omissões.
Para entrar em contato conosco, utilize os recursos abaixo :
Fale conosco: 0800 218181 Email: ibge@ibge.gov.br

Estação :	3641V	Nome da Estação :	3641V	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	RECIFE			UF :	PE
Última Visita:	30/03/2009	Situação Marco Principal :	Bom		
Conexões :	EG : 8131602				

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08 ° 07 ' 56 " S	Altitude Ortométrica(m)	9,0306	Gravidade(mGal)	978.151,27
Longitude	34 ° 55 ' 03 " W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	RGFB
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,09	Data Medição	30/03/2009
Origem		Datum	Imbituba	Data Cálculo	22/11/2011
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	21/11/2004		
Data Medição	30/03/2009	Data Cálculo	15/06/2011		
Data Cálculo					
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.100.584				
UTM(E)	288.724				
MC	-33				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <http://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em http://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGED2015 disponível em http://www.ibge.gov.br/home/geodencias/geodesia/modelo_geodal.shtm
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015.

Localização
No centro da oitava coluna de sustentação, 30m ao Sul da porta de desembarque A- 5 do Aeroporto Internacional Gilberto Freyre.

Descrição
Chapa padrão IBGE.

Observação
Conhecedor da estação: Carlos Eduardo de Almeida - Coord. Segurança da Infraera no Aeroporto do Recife. Tel: 81-33224360 Fax: 81-33224067. RN 3641V ■ EG 8131602.

Foto(s)



Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG.
Agradecemos a comunicação de falhas ou omissões.
Para entrar em contato conosco, utilize os recursos abaixo :
Fale conosco: 0800 218181 Email: ibge@ibge.gov.br

Estação :	3641U	Nome da Estação :	3641U	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	RECIFE	Situação Marco Principal :	Bom	UF :	PE
Última Visita:	30/03/2009				
Conexões :	EG : 8131601				

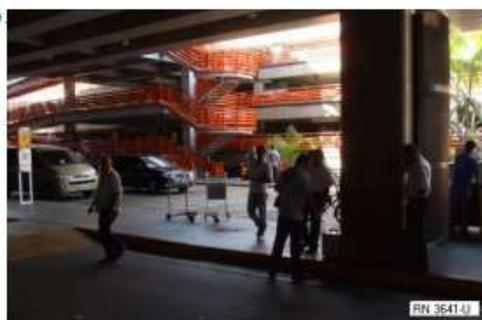
DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08 ° 07 ' 54 " S	Altitude Ortométrica(m)	8,9919	Gravidade(mGal)	978.151,35
Longitude	34 ° 55 ' 03 " W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	RGFB
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,09	Data Medição	30/03/2009
Origem		Datum	Imbituba	Data Cálculo	22/11/2011
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	21/11/2004		
Data Medição	30/03/2009	Data Cálculo	15/06/2011		
Data Cálculo					
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.100.646				
UTM(E)	288.723				
MC	-33				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/ref_sirgas2000.pdf
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGED2015 disponível em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shrn
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015.

Localização
Na parte central, junto a 6ª pilastra de sustentação, 17 m a Sudeste do portão de desembarque Sul A - 4, no Aeroporto Gilberto Freyre.
Descrição
Chapa padrão IBGE.

Observação:
 Conhecedor da estação: Carlos Eduardo de Almeida: Coord. Segurança da Infraera no Aeroporto do Recife. Tel: 81-33224360 Fax: 81-33224067. RN 3641 ■ EG 8131601.

Foto(s)



Estação :	3641T	Nome da Estação :	3641T	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	RECIFE			UF :	PE
Última Visita:	30/03/2009	Situação Marco Principal :	Bom		
Conexões :	EG : 8131604				

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08 ° 07 ' 50 " S	Altitude Ortométrica(m)	8,9922	Gravidade(mGal)	978.151,49
Longitude	34 ° 55 ' 04 " W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	RGFB
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,09	Data Medição	30/03/2009
Origem		Datum	Imbituba	Data Cálculo	22/11/2011
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	21/11/2004		
Data Medição	30/03/2009	Data Cálculo	15/06/2011		
Data Cálculo					
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.100.769				
UTM(E)	288.692				
MC	-33				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015.

Localização

Na base da 3ª coluna de sustentação, 18 m da porta central de desembarque Norte do Aeroporto Internacional Gilberto Freyre.

Descrição

Chapa padrão IBGE.

Observação

Conhecedor da estação: Carlos Eduardo de Almeida - Coord. Segurança da Infraero no Aeroporto do Recife. Tel: 81-33224360 Fax: 81-33224067. RN 3641T ■ EG 8131604.

Foto(s)



Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG.
Agradecemos a comunicação de falhas ou omissões.
Para entrar em contato conosco, utilize os recursos abaixo :
Fale conosco: 0800 218181 Email: ibge@ibge.gov.br

Estação :	3641M	Nome da Estação :	3641M	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	RECIFE			UF :	PE
Última Visita:	23/06/2017	Situação Marco Principal :	Bom		
Conexões :	EG : 8131588				

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08° 06' 08" S	Altitude Ortométrica(m)	5,0655	Gravidade(mGal)	978.160,87
Longitude	34° 55' 41" W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	RGFB
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,09	Data Medição	27/03/2009
Origem		Datum	Imbituba	Data Cálculo	22/11/2011
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	20/11/2004		
Data Medição	23/06/2017	Data Cálculo	15/06/2011		
Data Cálculo					
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.103.897				
UTM(E)	287.544				
MC	-33				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtml
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015.

Localização	
Sobre a ponte do Rio Tegipiú ou Ponte do Caçote, no início e lado direito sentido Boa Viagem, próximo a "EMLURB", na Av. Recife, 1,70 km além da RN 3641 L.	
Descrição	
Chapa metálica estampada RN 3641M.	
Observação	
Dados atualizados por meio de contribuição de usuários do serviço PPP (IBGE).	

Foto(s) :



Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG.
 Agradecemos a comunicação de falhas ou omissões.
 Para entrar em contato conosco, utilize os recursos abaixo :
 Fale conosco: 0800 218181 Email: ibge@ibge.gov.br

Estação : 3641L **Nome da Estação :** 3641L **Tipo :** Referência de Nível - RN
Município : RECIFE **UF :** PE
Última Visita: 27/03/2009 **Situação Marco Principal :** Bom
Conexões : EG : 8131587

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08 ° 05 ' 12 " S	Altitude Ortométrica(m)	8,9297	Gravidade(mGal)	978.161,97
Longitude	34 ° 55 ' 51 " W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	RGFB
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,09	Data Medição	27/03/2009
Origem		Datum	Imbituba	Data Cálculo	22/11/2011
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	20/11/2004		
Data Medição	27/03/2009	Data Cálculo	15/06/2011		
Data Cálculo					
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.105.617				
UTM(E)	287.230				
MC	-33				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em [ftp://geotfp.ibge.gov.br/tocumentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf](http://geotfp.ibge.gov.br/tocumentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf)
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em [ftp://geotfp.ibge.gov.br/tocumentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf](http://geotfp.ibge.gov.br/tocumentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf)
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtml
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015.

Localização

A 5m do portão de entrada junto ao canto da parede, a esquerda de quem entra pela porta principal da Igreja Santa Luzia, na Av. José Rufino, s/n, próximo ao viaduto Ulisses Guimarães no bairro da Estância e 0,50km além da RN 3641 J.

Descrição

Chapa padrão IBGE.

Observação

Informante: Padre José Lins de Moura Tel.: (81) 3251-0681. RN 3641 L = EG 8131587

Foto(s) :



Estação :	3640Z	Nome da Estação :	3640Z	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	RECIFE			UF :	PE
Última Visita:	26/03/2009	Situação Marco Principal :	Bom		
Conexões :	GPS : 93110 EG : 8131576				

DADOS PLANIALTIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08 ° 03 ' 03,46972 " S	Altitude Ortométrica(m)	25,6096	Gravidade(mGal)	978.154,37
Longitude	34 ° 57 ' 05,45911 " W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	RGFB
Altitude Geométrica(m)	20,180	Sigma Altitude(m)	0,09	Data Medição	26/03/2009
Fonte	GPS Geodésico	Datum	Imbituba	Data Cálculo	22/11/2011
Origem	Ajustada	Data Medição	17/11/2004		
Datum	SIRGAS2000	Data Cálculo	15/06/2011		
Data Medição	15/07/1999				
Data Cálculo	23/11/2004				
Sigma Latitude(m)	0,001				
Sigma Longitude(m)	0,002				
Sigma Altitude Geométrica(m)	0,002				
UTM(N)	9.109.554,894				
UTM(E)	284.931,043				
MC	-33				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015.

Localização

1,37m do nível do terraço, na parte sul da laje de concreto da Biblioteca Central da UFPE, na Avenida dos Reitores, bairro Cidade Universitária e a 0,60 km além da RN 3640 X.

Descrição

Pino de centragem forçada com uma chapa cravada no pilar de concreto de base retangular, medindo 0,40 x 0,22 m e altura de 1,37 m acima da laje de concreto do prédio da Biblioteca.

Observação

Informante: Professor Adeildo Antão dos Santos - Professor do Departamento de Cartografia da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.Tel.: (81)2126-8095.E-mail: asantos@npd.ufpe.br. SAT 93110 • RN 3640Z • EG 8131576.

Foto(s).

