

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

MICHAEL ANTÃO DOS SANTOS

**METODOLOGIA PARA OBTENÇÃO DE ALTITUDES
ORTOMÉTRICAS ATRAVÉS DE INTERPOLAÇÃO DE MODELOS
GEOIDAIIS LOCAIS DEFINIDOS POR GPS/NIVELAMENTO E
GRAVIMETRIA**

Recife, 2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

MICHAEL ANTÃO DOS SANTOS

**METODOLOGIA PARA OBTENÇÃO DE ALTITUDES
ORTOMÉTRICAS ATRAVÉS DE INTERPOLAÇÃO DE MODELOS
GEOIDAIIS LOCAIS DEFINIDOS POR GPS/NIVELAMENTO E
GRAVIMETRIA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Curso de Engenharia Cartográfica do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de concentração Geodésia Aplicada, e defendida em 13/03/2009.

Orientadora: Prof^a. Dr. techn. Andréa de Seixas

Co-Orientador: Prof. Dr. Joaquim Alves Motta

Recife, 2009

S237m

Santos, Michael Antônio dos.

Metodologia para obtenção de altitudes ortométricas através de interpolação de modelos geoidais locais definidos por GPS/Nivelamento e gravimetria / Michael Antônio dos Santos. - Recife: O Autor, 2009.

viii, 110 folhas., il., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2009.

Inclui referências e anexos.

1. Geociências. 2.Sistema de Posicionamento Global. 3. Altitude Ortométrica. 4.Ondulação Geoidal. 5.Altitude Elipsoidal. I. Título.

551 CDD (22. ed.)

BCTG/2009-200

METODOLOGIA PARA OBTENÇÃO DE ALTITUDES ORTOMÉTRICAS ATRAVÉS DE INTERPOLAÇÃO DE MODELOS GEOIDAIIS LOCAIS DEFINIDOS POR GPS/NIVELAMENTO E GRAVIMETRIA

POR

MICHAEL ANTÃO DOS SANTOS

Dissertação defendida e aprovada em 13/03/2009.

Banca Examinadora:



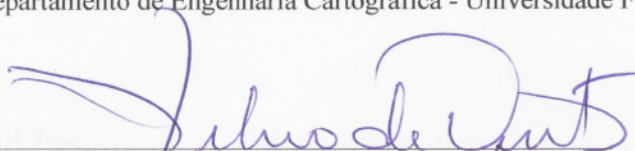
Profª. Dr.techn. ANDRÉA DE SEIXAS (orientadora)

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco



Profª. Dr.- Ing. VERÔNICA MARIA COSTA ROMÃO

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco



Prof. Titular Dr. SILVIO ROGÉRIO CORREIA DE FREITAS

Departamento de Geomática - Universidade Federal do Paraná

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe Vera Lúcia dos Santos, que sem dúvida nenhuma, se não fosse por ela não estaria completando mais esta fase da minha vida, não porque foi ela quem me deu a luz, e sim porque foi ela quem deu a vida por mim em muitos momentos, dedico também ao meu Pai Adeildo Antão; aos meus irmãos Flávio, Daniela e Priscila Antão; minha noiva Andréa Martins e a Professora Dra. Andréa de Seixas que tanto me apoiaram, dedico àquelas pessoas que indiretamente me fizeram estar aqui agora, estas me mostraram o quanto é bom ter um lugar de destaque na sociedade e despertaram em mim esta vontade de chegar lá, obrigado a todos.

AGRADECIMENTOS

À Prof^a. Dr. techn. Andréa de Seixas por toda a dedicação que tem para com seus orientandos, pela responsabilidade, respeito e acho que uma palavra chave maior para agradecê-la é a COMPREENSÃO, agradeço por ter me compreendido e ter cobrado nas horas certas.

Ao Prof. Dr. Joaquim Mota, pela co-orientação deste trabalho que foi de suma importância para o embasamento do mesmo.

Ao Prof. Msc. Adeildo Antão pela ajuda incrível que foi dada, pela contribuição fornecida e pelo apoio ao trabalho.

À amiga Luciene Ferreira, agradeço a esta amiga pelo vários socorros a que me vez durante toda esta caminhada, sem duvida uma peça fundamental nesta vitória.

Aos Professores do Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação do Departamento de Engenharia Cartográfica – DECart.

A todos os amigos: Janaina Barkokebas (in memorian), Katallynne, Wendel e a minha irmã Priscila Antão, sem vocês este trabalho não teria acontecido, obrigado pela paciência e determinação em ajudar uma pessoa que sozinha não teria feito nada disso.

À minha hoje Noiva futura esposa Andréa Martins pelo apoio, e pelo fortalecimento para ter chegado até este momento.

Ao Msc. Vagner pela grande contribuição dada a este trabalho no que diz respeito ao processamento dos dados de gravimetria.

Ao Professor Dr. Sílvio Freitas por ter aceitado participar da banca, e por ter feito tão boas considerações e contribuições na correção desta Dissertação.

Ao Professor Dra. Verônica Costa Romão também por ter aceitado participar da banca, e por ter feito tão boas considerações e contribuições na correção desta Dissertação.

À INFRAERO, que possibilitou a entrada em suas dependências para que o transporte da base gravimétrica fosse realizado.

Aos Laboratórios da Universidade por ter cedido seus equipamentos para a realização dos levantamentos, tais como: LAGEO, LATOP estes do Departamento de Engenharia Cartográfica e ao LGA do Departamento de Geologia.

A todos que direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento desta Dissertação.

SUMÁRIO

RESUMO E PALAVRAS-CHAVE	iii
ABSTRACT AND KEYWORDS	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE QUADROS.....	vii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	vii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	3
1.1.1 Objetivo Geral.....	3
1.1.2 Objetivos Específicos	3
1.2 Descrição dos Capítulos.....	4
2. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA	5
2.1 Superfície de Referência	5
2.2 Relação entre as altitudes e as Superfícies de referência	7
2.3 Cálculo da Ondulação Geoidal.....	9
2.4 Posicionamento GPS.....	10
2.4.1 Sistema de Posicionamento Global GPS	10
2.4.2 Métodos e Matérias utilizados no levantamento através do GPS	12
2.5 Estudos Gravimétricos.....	14
2.5.1 Determinação da Gravidade.....	16
2.5.2 Correções Gravimétricas	17
2.5.3 Instrumental do Método Gravimétrico	18
2.5.3.1 Gravímetro Utilizado.	18
2.5.4 Redução da Gravidade ao Geóide	23
3. DETERMINAÇÃO DO GEOIDE LOCAL POR MEIO DE GPS/NIVELAMENTO	25
3.1 Escolha da área de estudo.....	25
3.1.1 Localização da área.....	25
3.1.2 Seleção das Referências de Níveis (RNs)	26
3.2 Reconhecimentos da Área	26
3.3 Planejamento.....	27
3.4 Trabalho de Campo – Rastreamento GPS	33

3.5 Processamento.....	35
3.5.1 Resultados do Processamento das linhas de base.....	38
3.6 Ajustamento das linhas de base.....	42
3.7 Cálculo do Geóide Local.....	48
3.7.1 Modelos Matemáticos.....	48
3.7.2 Elementos Definidores para o Modelo.....	51
3.7.3 Formação das Matrizes dos coeficientes e observações.....	52
 4. DETERMINAÇÃO DO GEOIDE LOCAL POR MEIO DE MEDIÇÕES	
GRAVIMETRICAS	55
4.1 Planejamento.....	55
4.1.1 Transporte da base de referência	55
4.1.2 Trabalho de campo	56
4.1.2.1 Estabelecimento de estações gravimétricas	56
4.2 Determinação da correção do ar livre através do GEOSOFTE	58
4.3 Determinação do Geóide Local	60
4.3.1 Modelo Digital do Terreno	61
4.3.2 Cálculos e comparações entre os modelos MAPEGEO e o EGM 2008 com os valores observados.	62
4.3.3 Interpolação dos valores das Anomalias da Gravidade	62
4.3.4 Modelo Global do Geopotencial	63
4.3.5 A Técnica Remove-Restore	64
 5. ANALISE COMPARATIVA DOS GEÓIDES LOCAIS DA REDE GEODÉSICA EXPERIMENTAL	68
 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	69
6.1 Conclusões	69
6.2 Recomendações	70
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXOS	74

RESUMO

SANTOS, Michael Antão 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 PósGraduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação – UFPE. Recife. 2009.

O conhecimento da Altitude Ortométrica é de grande relevância para trabalhos realizados na Engenharia e Cartografia. Porém, na Região Nordeste Brasileira área alvo de estudo neste trabalho, ela é pouco conhecida ou com pouca precisão, principalmente em decorrência da baixa densidade de informações do campo da gravidade. Este trabalho objetiva integrar à atividade geodésica com equipamentos de última geração, no âmbito do Sistema de Posicionamento Global (GPS), mostrando que a utilização do mesmo tem proporcionado, com baixo custo e precisão razoável, uma forma de determinação da altitude ortométrica a partir do conhecimento da ondulação geoidal (N) e da altitude elipsoidal (h). Assim, uma metodologia com base nas Redes Geodésicas do IBGE, com o emprego do GPS, proporciona sua determinação com precisão satisfatória por meio de interpolações, sendo muito importante para o desenvolvimento futuro de modelagem de terrenos aplicada à Engenharia e Cartografia. Normalmente, na prática, não existe uma Referência de Nível nas proximidades do local da intervenção de uma obra de Engenharia, havendo a necessidade de implantação de um ponto com altitude ortométrica (H) referencial no local dos serviços. Para que possa ser explorada a potencialidade do GPS na altimetria, faz-se necessário o conhecimento da ondulação geoidal, com precisão compatível com a do nivelamento geométrico de 1ª ordem. Para o desenvolvimento dessa pesquisa foram definidos 15 (quinze) pontos em uma área que compreende litoral, zona da mata e início da agreste, constituintes da Rede Altimétrica do IBGE, e executado o levantamento por GPS e Gravimetria (gravímetro LacosteRomberg), realizando assim, os primeiros ensaios para a concepção de um modelo geoidal local de boa qualidade.

PalavrasChave – Sistema de Posicionamento Global (GPS), Altitude Ortométrica, Ondulação Geoidal, Altitude Elipsoidal, Nivelamento Geométrico.

ABSTRACT

SANTOS, Methodology for Obtaining Altitude Ortométrica Through Interpolation of Local Geoid Models Defined by GPS and Gravity. Dissertação de Mestrado Curso de PósGraduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação – UFPE. Recife. 2009.

The knowledge of the Orthometric Height is of great relevance for works carried through in Engineering and Cartography. However, in the Northeast Region Brazilian white area of study in this work, it little is known or with little precision, mainly in result of low the density of information of the field of the gravity. This objective work to integrate to the geodesic activity with equipment of last generation, in the scope of the Global Positioning System (GPS), showing that the use of the same has proportionate, with low cost and reasonable precision, a form of determination of the ortometric height from the knowledge of the geoidal undulation (n) and the elipsoidal height (h). Thus, a methodology based on the Geodesic Nets of the IBGE, with the job of the GPS, very provides its determination with satisfactory precision by means of interpolations, being important for the future development of modeling of lands applied to Engineering and Cartography. Normally, in the practical one, a Reference of Level in the neighborhoods of the place of the intervention of a workmanship of Engineering does not exist, having the necessity of implantation of a point with referential ortometric height (h) in the place of the services. So that the potentiality of the GPS in altimetry can be explored, the knowledge of the geoidal undulation becomes necessary, with compatible precision with the one of the geometric levelling of 1a order. For the development of this research 15 (fifteen) points in an area had been defined that understands the coast, zone of the bush and beginning of the wasteland, constituent of the Altimetric Net of the IBGE, and executed the survey for GPS and Gravity (gravity LacosteRomberg), thus carrying through, the first assays for the conception of a local geoidal model of good quality.

Keywords Global Positioning System (GPS), orthometric elevation, Geoid undulation, ellipsoidal height, Geometric Leveling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Relação entre Altitudes. Fonte: Santos (2006).....	02
Figura 2.1	Esquema de diferença entre a esfera e o elipsóide que é modelo mais aproximado da terra	06
Figura 2.2	Relação entre superfícies. Fonte: Blitzkow, Campos e Freitas (2004)	08
Figura 2.3	Aparelho de GPS – RASCAL. Fonte: O Autor	12
Figura 2.4	Receptores geodésicos Trimble 4000SST. Fonte: O Autor	13
Figura 2.5	Força de atração, centrífuga e de sobre a Terra esférica. Fonte: Tsuboi, 1983.....	15
Figura 2.6	Variação da gravidade com latitude em uma Terra simplificada. Fonte: Tsuboi, 1983.....	15
Figura 2.7	Esquema do funcionamento do gravímetro LaCoste & Romberg. Fonte: Manual LaCost & Romberg	20
Figura 2.8	Gravímetro LaCoste & Römberg modelo H – Precisão: 0,01 mgal. Fonte: Foto.	22
Figura 2.9	Gravímetro LaCoste & Römberg modelo G – Precisão: 0,01 mgal. Fonte: Foto	22
Figura 2.10	Sistema KSS31M com receptor GPS (Fonte: BGR)	22
Figura 2.11	Gravímetro Shipboard	22
Figura 3.1	Mapa de localização geológica da área em estudo.	25
Figura 3.2	Localização dos pontos na área em estudo. Fonte: AUTOCAD	28
Figura 3.3	Antena Rascal. Fonte: AOA	37
Figura 3.4	Antena Compact L1L2. Fonte:Trimble.....	38
Figura 3.5	Histograma de resíduos padronizaos. Fonte: TGO	43
Figura 3.6	Curvas Geoidais para N calculado.	54
Figura 3.7	Mapa 3D das curvas Geoidais para N calculado	54
Figura 4.1	Modelo digital do terreno. Fonte: SURFER	61
Figura 4.2	Ondulação geoidal do EGM2008. Fonte: SURFER	63
Figura 4.3	Decomposição espectral da altitude geoidal. Fonte: Sideris (2008).	65
Figura 4.4	Geóide gravimétrico para a região de Recife, PE. Fonte: SURFER	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Relação entre as superfícies de referência. Fonte: Cerqueira (2006)	8
Tabela 3.1	Referência de Nível Utilizada	29
Tabela 3.2	Cálculos do nivelamento para todos os vértices excêntricos	33
Tabela 3.3	Figuras rastreadas.....	34
Tabela 3.4	Considerações sobre o Rdop. Fonte: TGO	37
Tabela 3.5	Linhas de Base. Fonte: TGO	39
Tabela 3.6	Lista de Coordenadas em WGS'84 (Sirga 2000). Fonte: TGO	39
Tabela 3.7	Linhas de Base. Fonte: TGO	39
Tabela 3.8	Lista de Coordenadas em WGS'84 (Sirga 2000). Fonte: TGO	40
Tabela 3.9	Linhas de Base. Fonte: TGO	40
Tabela 3.10	Lista de Coordenadas em WGS'84 (Sirga 2000). Fonte: TGO	40
Tabela 3.11	Linhas de Base. Fonte: TGO	41
Tabela 3.12	Lista de Coordenadas em WGS'84 (Sirga 2000). Fonte: TGO	41
Tabela 3.13	Linhas de Base. Fonte: TGO	41
Tabela 3.14	Lista de Coordenadas em WGS'84 (Sirga 2000). Fonte: TGO	42
Tabela 3.15	Coordenadas Ajustadas no Sistema WGS'84 (Sirgas 2000). Fonte:TGO	43
Tabela 3.16	Termos de covariância. Fonte:TGO	44
Tabela 3.17	Coordenadas UTM dos vértices ajustados Fonte: TCGeo	48
Tabela 3.18	Coordenadas UTM e Altitudes	51
Tabela 3.19	Ondulação Geoidal calculada com o MAPGEO	51
Tabela 3.20	Formação da matriz A e L	53
Tabela 4.1	Gravidade no ponto para o qual foi transferida a base. Fonte: Geosoft.....	58
Tabela 4.2	Dados gravimétricos da transferência de base. Fonte: Geosoft	58
Tabela 4.3	Dados gravimétricos dos pontos levantados. Fonte: Geosoft	59
Tabela 4.4	Dados da correção de ar livre. Fonte: Dados retirados do Geosoft	60
Tabela 4.5	Valores máximos e mínimos encontrados pelo Mapgeo e Egm2008	62
Tabela 4.6	Resíduos para os pontos de controle	66
Tabela 4.7	Avaliação dos resíduos do geóide gravimétrico.	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1	Estação RECF – Coordenadas em WGS – 84 (Sirgas 2000). Fonte: IBGE.....	35
Quadro 3.2	Critério para rejeição. Fonte: TGO	36
Quadro 3.3	Critério de Análise para a determinação da qualidade da solução de linha de base. Fonte:TGO	36

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

GPS	Global Positioning System
GRS80	Global Geodetic System 1980
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NAVSTAR GPS	NAVigation System With Time and Ranging Global Positioning System
IAG	International Association of Geodesy
IGS	International GPS Service
IUGG	International Union of Geodesy and Geophysics
MVC	Matriz da variânciacovariância
SISTEM	Receiver INdependent Exchange Format
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RINEX	Receiver Independent data Exchange format
SAD 69	South American Datum 1969
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico das Américas
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
L1	Portadora L1 de Sinais GPS
L2	Portadora L2 de Sinais GPS
WGS 84	World Geodetic System of 1984
IGR	Igarassu
PDL	Paudalho
PLT	Paulista
SLM	São Lourenço da Mata
JBT	Jaboatão dos Guararapes
MRN	Moreno
CSA	Cabo de Santo Agostinho
ECD	Escada
SRN	Sirinhaem

MCZ	Marco Zero
PTZ	Pontezinha
LMR	Limoeiro
GLR	Glória de Goita
GVT	Gravatá
VTR	Vitória de Santo Antão

1. INTRODUÇÃO

A atividade geodésica aliada aos equipamentos de última geração, no âmbito do Sistema de Posicionamento Global (GPS), tem mostrado que a utilização do GPS vem proporcionando com baixo custo, uma forma de determinação da altitude ortométrica a partir do conhecimento da ondulação geoidal (N).

É sabido que na Região Nordeste Brasileira se conhece a ondulação geoidal com uma incerteza ruim pelo fato de se ter poucos pontos em perfeito estado (fonte – MAPGEO 2004 (IBGE,EPUSP)). Assim, uma metodologia, com base na determinação de redes geodésicas amarradas ao campo de pontos definidores das Redes Geodésicas do IBGE, não necessariamente de primeira ordem, com o emprego do GPS, que propicie sua determinação com precisão inferior a três metros, por meio de interpolações, é de grande relevância e de grande importância para o desenvolvimento futuro de modelagem de terrenos aplicados à Engenharia e Cartografia.

Normalmente, na prática, não existe uma Referência de Nível nas proximidades do local da intervenção de uma obra de Engenharia, havendo a necessidade de implantação de um ponto com altitude ortométrica (H) referencial no local dos serviços. Para que possa ser explorada a potencialidade do GPS na altimetria, faz-se necessário o conhecimento da ondulação geoidal, com precisão compatível com a do nivelamento geométrico de precisão da ordem de $3 \text{ mm} \cdot K^{1/2}$. Ressalta-se que, se for desejada a determinação da altitude ortométrica (H) no modo relativo, ou seja, diferenças de altitudes entre os pontos observados por GPS, a precisão absoluta da ondulação do geóide tem pouca influência; contudo, o resultado final será função da qualidade da diferença da ondulação geoidal entre os pontos (SIDERIS e SHE, 1995), para, assim, apoiar a determinação e o controle das altitudes elipsoidais dos demais pontos.

Surge, então, a necessidade de transformar a altitude geométrica (h) ou elipsoidal obtida com GPS, em altitude ortométrica (H), altitude essa referenciada ao geóide. Esta transformação, do ponto de vista matemático, constitui-se em uma

operação simples, envolvendo a altitude geométrica e ondulação geoidal no ponto. Conforme se pode ver na Figura 1.1, as altitudes ortométricas e elipsoidais estão relacionadas por (AYHAN, 1993):

$$h \approx H + N$$

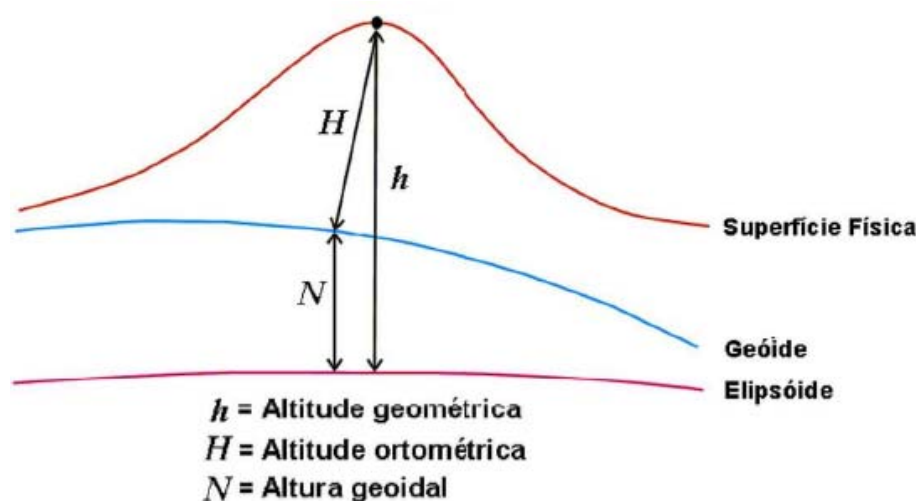


Figura 1.1 - Relação entre as altitudes. Fonte: SANTOS (2001)

Neste contexto, o estudo para a determinação de um modelo geoidal por meio de posicionamento com GPS, poderá incentivar e subsidiar a elaboração de uma carta geoidal do Estado de Pernambuco, além de contribuir para o desenvolvimento na determinação apropriada de dados altimétricos para utilização na Engenharia e Cartografia.

Além disso, após a elaboração de um mapa geoidal local, a ondulação geoidal passa a ser estimada através de interpolação utilizando, como amostra, os pontos de ondulação geoidal conhecidos na RVFB (Rede Vertical Fundamental Brasileira) já existente no Estado de Pernambuco.

Neste trabalho, também será determinado o geóide pelo método gravimétrico, para assim obter uma maior consistência no resultado final. Através da gravimetria foi gerado um modelo e este serviu com base comparativa para o modelo gerado através das observações GPS. Sendo assim, será analisado a partir de uma base

mais sólida para observar a precisão entre cada método e a combinação entre os mesmos.

Os resultados encontrados após todo levantamento e processamento dos dados observados, mostraram uma oportunidade de realizar, através de uma metodologia baseada nos rastreios com GPS/Nivelamento a determinação do Geóide, em detrimento da ausência de dados gravimétricos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma metodologia de elaboração de uma carta geoidal local para obtenção de altitudes ortométricas, através do GPS/Nivelamento, tendo como base comparativa o modelo geoidal obtido com o método gravimétrico.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Definir um campo de pontos de referência e um campo de pontos-objeto por GPS e Gravimetria na área em estudo;
- Desenvolver uma metodologia de estudo na área teste, procurando uma melhor qualidade e rapidez na busca pela altitude ortométrica, por meio de interpolação geométrica, em local onde não se encontrem RNs homologados pelo IBGE;
- Analisar a determinação da ondulação geoidal e a determinação de sua incerteza de medição, quando esta é efetivada por GPS/Nivelamento e por Gravimetria;
- Definir um modelo matemático para obtenção das ondulações geoidais interpoladas;
- Gerar o primeiro modelo geoidal local da área teste por GPS/Nivelamento e gravimetria

1.2 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

O trabalho está dividido em seis capítulos. O capítulo 1 consiste na introdução e contém a problemática e justificativa da temática abordada nesta pesquisa, os objetivos, assim como a estrutura da dissertação, a qual tem como conteúdo os seguintes capítulos:

O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, onde se descreve toda a fundamentação no que diz respeito a superfícies de referência, medições e cálculos com GPS e estudos gravimétricos.

O capítulo 3 descreve como foi feita a determinação do geóide local por meio de medições por GPS/Nivelamento sobre RNs.

O capítulo 4 descreve como foi feita a determinação do geóide local por meio de medições gravimétricas.

O capítulo 5 contém a análise comparativa dos geóides locais da rede geodésica experimental. Finalmente o capítulo 6, onde se encontra a conclusão e recomendações, seguidas das referências bibliográficas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

Este capítulo tem por objetivo apresentar todo o embasamento para o estabelecimento da metodologia empregada neste trabalho.

2.1 Superfícies de Referência

As definições de superfícies de referência são de suma importância para o entendimento sobre superfícies geoidais. Estas definições referem-se à forma da Terra e do campo de gravidade externo da Terra.

Se a Terra fosse uma esfera com densidade uniforme, a *gravidade* decresceria na direção do centro da mesma em uma taxa constante. No entanto, a gravidade varia com a variação da densidade da Terra, implicando em uma esfera achatada nos pólos devido à ação da força centrífuga com valor máximo no equador e mínimo nos pólos. Considerando a Terra de mesma constituição esta forma assemelhar-se-ia a um elipsóide de revolução. O Raio é maior no Equador por causa da maior força centrífuga, a qual tende a acelerar a massa central terrestre para fora. Dessa forma o raio equatorial é dado por: $\text{Raio do Equador} = \text{Raio do Pólo} + 21 \text{ km} = 6378 \text{ km}$ (SANTOS, 2001).

O Formato da Terra é descrito matematicamente como um "Elipsóide de revolução" em torno do eixo Norte-Sul (Figura 2.1). A Figura 2.1 mostra a diferença entre a esfera e o elipsóide.

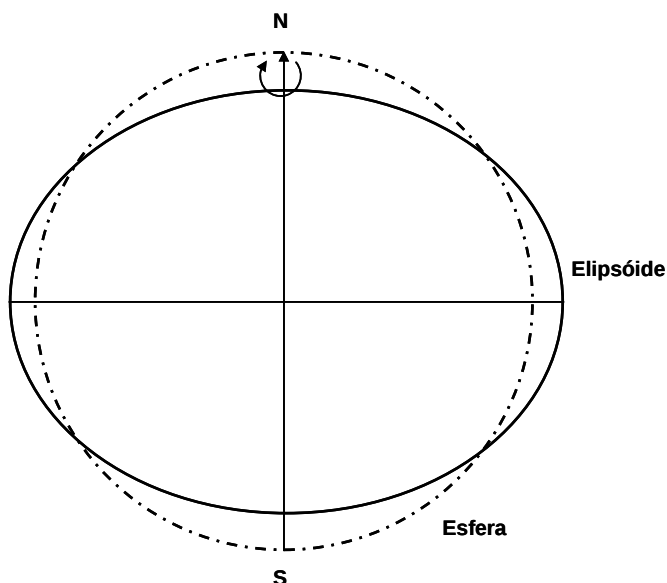


Figura 2.1 - Esquema da diferença entre a esfera e o elipsóide que é o modelo mais aproximado da forma da Terra

Conforme Gemael (1999), no caso particular do campo de gravidade terrestre, as superfícies equipotenciais são conhecidas como *geópes*. O geópe fundamental é o geóide, que é a superfície equipotencial melhor ajustada globalmente ao NMM (Nível Médio dos Mares). Na Terra, o Geóide é a superfície que corresponderia ao nível da água em canais imaginários cortados através dos continentes e representaria uma superfície, na qual o campo gravitacional tem o mesmo valor, e assim, é chamada uma Superfície Equipotencial. Se o valor da gravidade variasse, existiria uma Força da gravidade que forçaria a água a fluir de um lugar a outro. A Força da gravidade é representada por um vetor, que é em todos os lugares perpendicular ao Geóide.

O módulo da força gravitacional F (Equação 2.1), agindo sobre uma partícula de massa unitária, é dado pela seguinte equação (GEMAEL, 1999):

$$F = G \frac{m}{d^2} \quad (2.1)$$

Onde:

F – Módulo da força de atração entre as partículas;

G – Constante gravitacional ($6672 \times 10^{-14} \text{m}^3 \text{s}^{-2} \text{kg}^{-1}$, no Sistema Internacional);

m – Massa da partícula atrativa;

d – Distância entre as partículas.

Segundo Gemael (1999), rotineiramente, um geodesta trabalha com três formas representativas para a Terra. São elas:

a) A superfície física (superfície topográfica) onde são realizadas as operações geodésicas e que corresponde ao aspecto exterior e irregular da superfície terrestre.

b) A superfície geoidal, como descrito anteriormente, representada por uma superfície equipotencial da gravidade melhor ajustada globalmente ao NMM.

c) A superfície elipsoidal por ser uma superfície matematicamente trabalhável onde serão realizados os cálculos geodésicos.

2.2 Relação entre as altitudes e as superfícies de referência

Conforme Torge (2001), o geóide é usado como superfície de referência para as altitudes e profundidades, definindo-se a altitude ortométrica de um ponto da superfície da Terra como a distância linear entre o ponto e o geóide medida ao longo da linha vertical do lugar.

Segundo Vanicek e Krakiwsky (1982), Molodensky introduziu a definição do quase-geóide como uma aproximação relativa ao geóide para aplicações práticas, a fim de resolver os problemas nos cálculos geoidais. A separação entre o quase-geóide e o elipsóide corresponde à anomalia de altitude (ζ) que pode ser calculada teoricamente. Nesse sistema, também é definida uma outra superfície, o teluróide, cuja altitude em relação ao elipsóide H^N (altitude normal) corresponde à altura entre a superfície física da Terra e o quase-geóide (Figura 2.2).

Blitzkow et al. (2004), citam a Terra normal como um elipsóide de revolução que possui a mesma massa e velocidade de rotação da Terra real, com esferopotencial de gravidade sobre sua superfície igual ao geopotencial de gravidade da Terra real na superfície do geóide. A Figura 2.2 abaixo relaciona a superfície física, elipsóidal, geóidal, o teluróide e o quase-geóide.

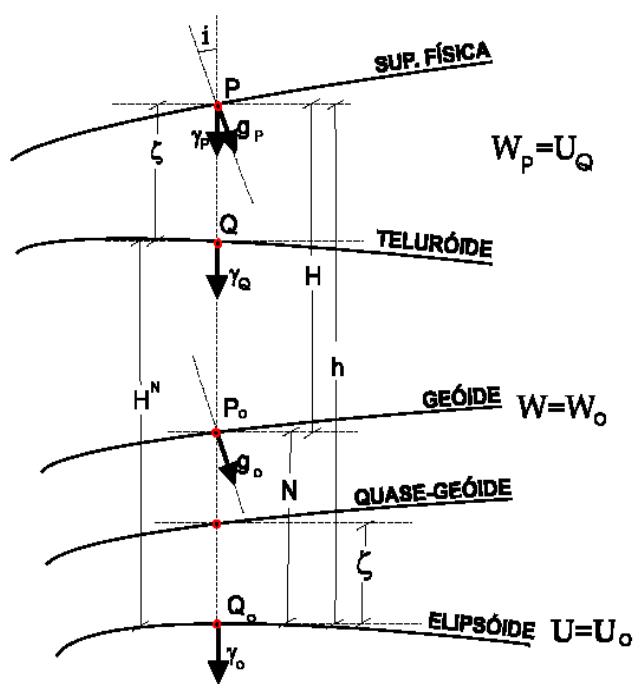


Figura 2.2 – Relação entre superfícies. Fonte: BLITZKOW, CAMPOS E FREITAS (2004)

A Tabela 2.1 descreve a relação entre as superfícies de referência mostrada na Figura 2.2 acima.

Superfície	Determinação	Relação entre as altitudes e as superfícies de referência				
		Superfície Física	Quase-Geóide	Geóidal	Elipsóidal	Teluróide
Física	Medições realizadas sobre pontos da superfície terrestre	-	H^N : altitude normal	H ; altitude ortométrica	h : altitude elipsoidal	r : anomalia de altitude
Quase-Geóide	Matematicamente	H^N : altitude normal	-	-	r : anomalia	-

					de altitude	
Geóide	Formulação matemática da superfície equipotencial por séries finitas truncadas	H: altitude ortométrica	-	-	N: ondulação geoidal	-
Elipsóide	Formulação matemática da superfície de rotação da elipse meridiana	h: altitude geométrica	r: anomalia de altitude	N: ondulação geoidal	-	H ^N : altitude normal
Teluróide	Matematicamente	r: anomalia de altitude	-	-	H ^N : altitude normal	-

Tabela 2.1 – Relação entre as superfícies de referência. Fonte: CERQUEIRA (2006)

A partir da Figura 2.2, tem-se que a diferença entre a altitude geoidal (N) e a anomalia de altitude (ζ) equivale à diferença entre a altitude normal (H^N) e a altitude ortométrica (H).

A desvantagem na utilização da altitude normal é que as superfícies as quais ela se refere (quase-geóide e teluróide) não são superfícies de nível ou equipotenciais.

2.3 Cálculo da ondulação geoidal

A ondulação geoidal, é dada pela diferença entre a altitude geométrica e a altitude ortométrica, conforme a equação (2.2) a seguir:

$$N = h + H \cos(i) \quad (2.2)$$

Admitindo que o valor do desvio da vertical (i) avaliado em um ponto na superfície física terrestre é o ângulo formado entre dois vetores que representam a inclinação entre a linha normal à superfície elipsóidal e a linha vertical à superfície geoidal neste ponto, que em casos extremos é de até 1' (um) minuto de arco (GEMAEL, 1999), logo para um valor muito pequeno, admite-se que a equação (2.2) seja apresentada de forma simplificada pela equação (2.3):

$$N \cong h - H \quad (2.3)$$

O desconhecimento da altitude elipsoidal levava a determinar a ondulação geoidal sempre através da gravimetria, operação que requer um cuidado maior, além de recursos humanos mais especializados. Ressalta-se que no Brasil existe uma deficiência de equipamentos (gravímetros) em trabalho de campo, dificultando o desenvolvimento de trabalhos nesta área. Na década de 90, iniciou-se o ciclo de operações com o posicionamento por satélites, onde se tornou possível a determinação das coordenadas geodésicas tridimensionais, são elas: horizontais (latitude e longitude) e da coordenada geodésica vertical (altitude elipsoidal ou altitude geométrica) de pontos da superfície da Terra. Técnicas de rastreamento inovadoras proporcionam cada vez mais uma melhor precisão na determinação da altitude elipsoidal, bem como o surgimento de satélites de última geração, tendo como consequência uma melhor precisão também no cálculo da determinação da ondulação geoidal através do posicionamento por satélites (SANTOS, 2001).

Estudos integrados utilizando técnicas GPS/Nivelamento e gravimétrica têm permitido a obtenção de resultados cada vez melhores, possibilitando uma qualidade melhor para a definição de um modelo geoidal mais apurado.

2.4 Posicionamento GPS

Todo o trabalho de campo teve a finalidade de determinar não só as coordenadas de latitude e longitude dos pontos, mas principalmente a altitude elipsoidal (altitude geométrica) para ser utilizada no modelo geoidal.

2.4.1 Sistema de Posicionamento Global – GPS

O Sistema NAVSTAR GPS (**N**avigation **S**ystem with **T**ime **A**nd **R**anging - **G**lobal **P**ositioning **S**ystem), uma das mais modernas tecnologias de posicionamento disponíveis ao técnico especializado, possibilitando, através da emissão de sinais da Banda L do espectro eletromagnético (SILVA, 1990) produzidos nos osciladores

atômicos (Cs e Rb) dos satélites GPS, a obtenção posições relativas ou absolutas de pontos na superfície terrestre.

Independente de hora do dia e sob quaisquer condições atmosféricas, sempre é possível rastrear no mínimo quatro satélites em qualquer lugar da superfície terrestre, desde que não haja obstrução no local do rastreo.

Segundo Seeber (2003), o GPS é um sistema de rádio navegação baseado em satélites, fornecendo o posicionamento tridimensional de precisão, além de informações para navegação e informações sobre o tempo, disponíveis para usuários devidamente equipados.

Ainda segundo Seeber (2003), a navegação por GPS baseia-se na medição das pseudo-distâncias entre o usuário e o mínimo de quatro satélites. Sob o ponto de vista geométrico seriam necessários apenas três satélites, no entanto, o fato do relógio do receptor não ser sincronizado com os relógios dos satélites, justifica-se a necessidade da utilização de um quarto satélite.

A determinação da distância “**antena do receptor-satélite**” se dá através da correlação do sinal do satélite (código) com uma cópia do código gerada no receptor. Na realidade, são comparados entre si **o tempo de envio** do sinal no satélite e **o tempo de recepção** pelo receptor do usuário.

Para levantamentos por GPS se faz necessário ter conhecimento de várias variáveis, as quais quando tratadas e observadas de forma correta, irão permitir um levantamento com melhores dados e conseqüentemente melhores resultados no processamento destes dados. São essas as seguintes variáveis:

1. Geometria das Órbitas ;
2. Movimento do satélite no Plano Orbital;
3. Coordenadas Geocêntricas do Satélite;
4. Efemérides de Navegação ;
5. Observações GPS;
6. Modelos matemáticos para posicionamento.

2.4.2 Métodos e Materiais utilizados no levantamento através do GPS

Nesta pesquisa, foi realizado o levantamento estático, com o intuito de obter coordenadas precisas do campo de estruturas de apoio da rede geodésica (estações). Quando o equipamento permanece parado em um ponto por um determinado período de tempo, gravando a cada intervalo de tempo no caso desta pesquisa a cada 15 segundos dados enviados pelos satélites em que a antena consegue captar seus sinais; esta característica defini o método estático.

Os equipamentos empregados para aquisição de dados no campo foram:

- Receptores geodésicos de dupla frequência. Marca AOA, modelo RASCAL (Figura 2.3);



Figura 2.3 – Aparelho de GPS – RASCAL. Fonte: O autor.

As especificações segundo o manual do fabricante para levantamento utilizando o receptor RASCAL são:

- Para o método estático com 30 min de ocupação e 6 satélites. A precisão horizontal é 5mm +1 ppm.
- Para levantamento cinemático a precisão horizontal é 10mm + 1ppm com taxa de ocupação de 1s.

➤ Receptores geodésicos da Marca TRIMBLE, modelo 4000SST (Figura 2.4);



Figura 2.4 - Receptores geodésicos Trimble 4000SST. Fonte: O autor.

As especificações segundo o manual do fabricante para levantamento utilizando o receptor geodésico trimble 4000SST são:

- Para o método estático com um período de rastreamento de 60 minutos e no mínimo 4 satélites a precisão para linha de base observada é de 1 cm + 2 ppm.

2.5 ESTUDOS GRAVIMÉTRICOS

Através do estudo global do campo da gravidade, obtêm-se informações acerca das dimensões, forma e massa da Terra, bem como do modo como a massa se distribui no interior do planeta.

O método gravimétrico é fundamentado basicamente na Lei da Gravitação Universal de Isaac Newton, publicada em 1687, a qual foi deduzida a partir das leis empíricas de Kepler, relacionadas aos movimentos planetários. Segundo essa Lei, existe uma força que atua nos corpos próximos à superfície e também em todo o espaço intergaláctico, denominada de “Força Gravitacional” ou “Força de Atração Mútua entre duas massas”, que é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.

A equação (2.20) que expressa a Lei da Gravitação de Newton:

$$F = G \frac{M_T m}{R^2} \quad (2.20)$$

Onde:

G = Constante Gravitacional

M_T = Massa da terra

m = massa de um outro corpo

R^2 = Raio da terra ao quadrado

A primeira pessoa a medir a Gravidade da Terra foi Galileu e em sua homenagem, uma unidade gravitacional, o *Gal*, foi nomeada: $1Gal = 10^{-2}m \cdot s^{-2}$ (Fowler, 1990).

Considerando a Terra *perfeitamente esférica* e girando ao redor de seu eixo, a força de gravidade (g) por unidade de massa, num ponto sobre a superfície terrestre

é a resultante vetorial da força centrífuga (f) e da força de atração da Terra (F), conforme ilustrado na Figura 3.5, e seu valor muda com a latitude, como mostra a curva da Figura 3.6 (Tsuboi, 1983).

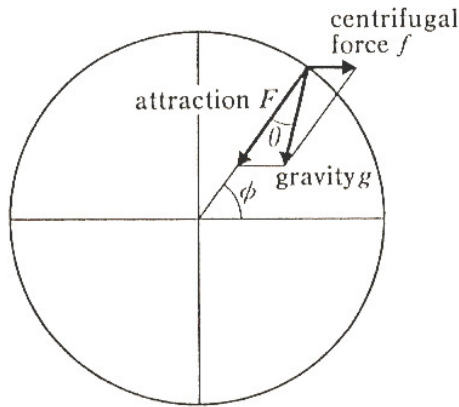


Figura 2.5 - Força de atração, centrífuga e de sobre a Terra esférica. Fonte: TSUBOI, 1983.

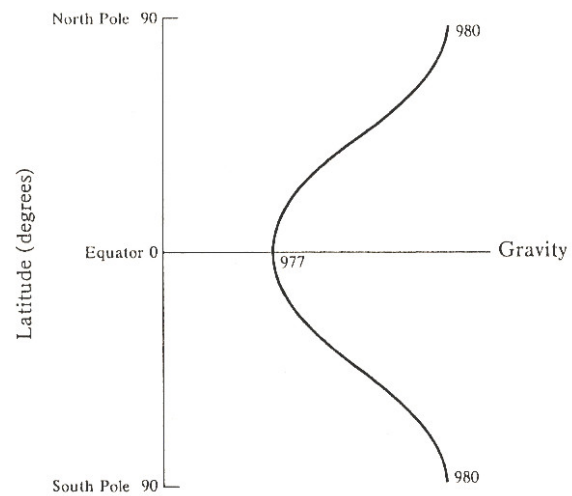


Figura 2.6 – Variação da gravidade com latitude em uma Terra simplificada. Fonte: TSUBOI, 1983.

O fato de o núcleo, o manto e a crosta terrestre encontrarem-se distribuídos aproximadamente em posições concêntricas torna possível a aplicação da 2ª Lei de Newton, onde a aceleração da gravidade constitui a componente principal do campo gravitacional e os efeitos resultantes da forma da Terra e da aceleração centrífuga são bastante relevantes na composição da força de gravidade.

De acordo com essa Lei, a força e aceleração da gravidade estão relacionadas por:

$$F_r = m \cdot a_g; \quad F_r = \frac{G \cdot M \cdot m}{r^2} \Rightarrow m \cdot a_g = \frac{G \cdot M \cdot m}{r^2} \therefore a_g = \frac{G \cdot M}{r^2} \quad (2.21)$$

Pode-se perceber a força gravitacional quando se solta uma partícula próxima à superfície da Terra e esta puxa a partícula, devido à atração da força gravitacional que provocará a aceleração gravitacional a_g . É importante salientar que g

(aceleração de queda livre) não é exatamente igual à a_g (aceleração da gravidade), devido a Terra não ser uma esfera uniforme e estar girando (Silva, 2006).

A aceleração da gravidade teria o mesmo valor em qualquer ponto da superfície, se a Terra fosse perfeitamente esférica e não rotacionasse (FOWLER, 1990); entretanto isso não acontece, pois ela se apresenta dilatada no equador e achatada nos pólos.

A Geodésia tem vínculo recíproco com a Geofísica, pois a Gravimetria é uma ferramenta utilizada por ambas: Na irregularidade da distribuição das massas, na determinação da superfície equipotencial, dentre outras. Em primeira aproximação, podemos dizer que a Geodésia se preocupa com uma Gravimetria em escala global, enquanto a Geofísica esta mais interessada em determinações regionais e/ou residuais, mas as determinações gravimétricas feitas por uma, servem a ambas. Além disso, a Geofísica requer da Geodésia o posicionamento devido à necessidade da geometria de deformação temporal da Terra, enquanto a Geodésia desenvolve as técnicas para a determinação dos movimentos das placas tectônicas.

2.5.1 Determinação da Gravidade

Força da gravidade (g) por unidade de massa em um ponto da superfície terrestre é a resultante da força de atração exercida pelas massas terrestres e da força centrífuga que atuam sobre a unidade de massa situada nesse ponto.

Pode-se considerar dois casos para determinação de g :

- i) Determinações absolutas – Proporcionam diretamente o valor de g em uma estação se baseando na medida do tempo de percurso de um corpo em queda livre, ou de oscilação de um pêndulo por exemplo.
- ii) Determinações relativas – Exigem a ocupação de duas estações e determinam a diferença de g entre ambas. Realizadas comumente com uso do gravímetro, mas também podem ser determinadas utilizando os pêndulos.

O gravímetro fornece subsídio para a determinação da ondulação geoidal com altíssima precisão através do Teorema de Stokes.

Segundo Khan (1980), a aceleração da gravidade varia na superfície da Terra como consequência de fatores como a latitude, as diferenças de elevações entre estações, as irregularidades da topografia e as marés (variação regular do campo de gravidade da Terra, produzida pela atração gravitacional do Sol e da Lua). Torna-se necessário corrigir os dados obtidos (valores lidos) em um levantamento gravimétrico durante o processamento, para compensação desses efeitos, evidenciando as procuradas variações laterais e verticais de densidade e, a partir daí, gerar os mapas gravimétricos e perfis que possibilitem a interpretação da área estudada.

2.5.2 Correções Gravimétricas

As distorções (anomalias) estão diretamente relacionadas a diferentes distribuições laterais na densidade dos materiais da subsuperfície. Assim, ressalta-se que é condição fundamental a existência de contraste de densidade para o emprego deste método.

Dependendo de como seja adquirido o valor de gravidade, determinadas correções deverão ser realizadas para que se possa posicionar o ponto na superfície geoidal da estação medida; assim, sobre os valores medidos nas estações gravimétricas terrestres deverão ser realizadas as seguintes correções gravimétricas (GEMAEL, 1999):

- **Correção de Ar Livre** - Correção da redução na gravidade devido à altura sobre o geóide, independente das rochas abaixo. A correção do ar livre é a diferença entre a gravidade medida ao nível do mar e em uma elevação, h , no espaço livre. Correção do ar livre = $-0,3086 \text{ mGal/m}$. Com a precisão atual das medições gravimétricas, de $-0,01 \text{ mGal/m}$, a elevação pode ser conhecida na faixa de 5 cm.

- **Correção de Bouguer** – Aplica-se a correção Bouguer para eliminar o efeito gravitacional da porção de massa crustal entre o ponto de medida e o geóide, sendo conveniente conhecer sua densidade com a melhor exatidão possível (TEIXEIRA, 2001).
- **Correção de terreno ou topográfica** – É aplicada a levantamentos de detalhe, realizados em regiões muito acidentadas, onde se tornam relevantes as feições da área, corrigindo a influência das elevações e depressões do terreno considerado com relação ao ponto medido. As correções de terreno podem ser computadas usando máscaras, como as chamadas Cartas Hammer.

Como o valor de gravidade depende da posição φ , λ , h (H), torna-se necessária a utilização de equipamentos auxiliares que forneçam estes valores, como GPS (diferencial ou/e absoluto), altímetros, níveis e outros que deveram ser utilizados durante as aquisições.

2.5.3 Instrumental do Método Gravimétrico

Este item trata sobre os instrumentos que foram utilizados para realizar o levantamento gravimétrico, descrevendo cada um deles.

2.5.3.1 Gravímetro utilizado

Os gravímetros surgiram na terceira década do século passado. Pequenos, leves e de manejo simples, não esquecendo a delicadeza de sua constituição interna, produziram em termos de Gravimetria, o mesmo impacto que os distanciômetros eletrônicos na Geodésia Geométrica. Através da facilidade e do pouco tempo necessário na operação, tais instrumentos permitiram a rápida densificação das redes gravimétricas nos continentes, porém com um custo alto na obtenção e manutenção deste tipo de equipamento.

Esses equipamentos seguem um princípio de funcionamento muito simples, de forma que em um gravímetro o peso de um corpo é equilibrado por uma força

antagônica, geralmente elástica e a variação da posição de equilíbrio do sistema em função da variação da gravidade permite a avaliação desta última.

Fundamentalmente, pode-se reduzir este equipamento à classificação em dois tipos principais: estáveis e instáveis.

O gravímetro estável tem um elemento de resposta (uma mola, por exemplo) que contrabalança a força de gravidade com outra força determinada mediante um deslocamento com relação a sua posição de equilíbrio, que é proporcional, ou aproximadamente proporcional, a mudança no valor da gravidade desde o valor de equilíbrio. Posto que os deslocamentos sejam sempre extremamente pequenos, deve-se amplificá-los por meios ópticos, mecânicos ou elétricos. Os gravímetros instáveis se constroem de tal maneira que qualquer mudança na gravidade desde seu valor de equilíbrio desencadeia a atuação de outras forças que aumentam os deslocamentos que causariam somente a mudança da gravidade. A força se mantém em equilíbrio instável com a força que se opõe. A instabilidade se provoca por introdução de uma terceira força que intensifica o efeito de qualquer mudança da força de gravidade de seu valor de equilíbrio.

Um Gravímetro do tipo diferencial da marca LACOSTE & ROMBERG modelo G-994, juntamente com GPS diferenciais foram utilizados nesta pesquisa com objetivo de adquirir dados necessários a execução deste trabalho, todos pertencentes ao Laboratório de Geofísica Aplicada (LGA), Departamento de Geologia e ao Laboratório de Geodésia (LAGEO), Departamento de Engenharia Cartográfica, ambos da UFPE.

O G-994 é facilmente transportável, pois com sua caixa e bateria pesam apenas 13 kg e pode medir diferenças de até 7.000 mGal.

O sistema elástico é de quartzo fundido (não magnético), encerrado em uma câmara estanque a coberto de variações da pressão atmosférica, sendo o equipamento termostatizado, isto é, mantido eletricamente a uma temperatura constante. A mola é feita de metal com alta condutividade térmica, para minimizar o

efeito da expansão térmica, sendo pretensionada na fábrica (Comprimento zero). A leitura é efetuada em um visor que mostra a luz refletida do feixe e para ser feito o ajuste de nulo utiliza-se o parafuso micrométrico. A precisão do equipamento vai a 0,02 mGal.

A chamada “linha de leitura” corresponde a “posição zero” ou simplesmente a marca de referência para as leituras com uso da mola de longitude zero, que vem registrada para cada gravímetro no respectivo manual, juntamente com a temperatura operacional e a tabela de calibração. O equipamento utilizado tinha linha de leitura modificada para 2,20, onde a figura 2.7 a seguir mostra o funcionamento do gravímetro internamente.

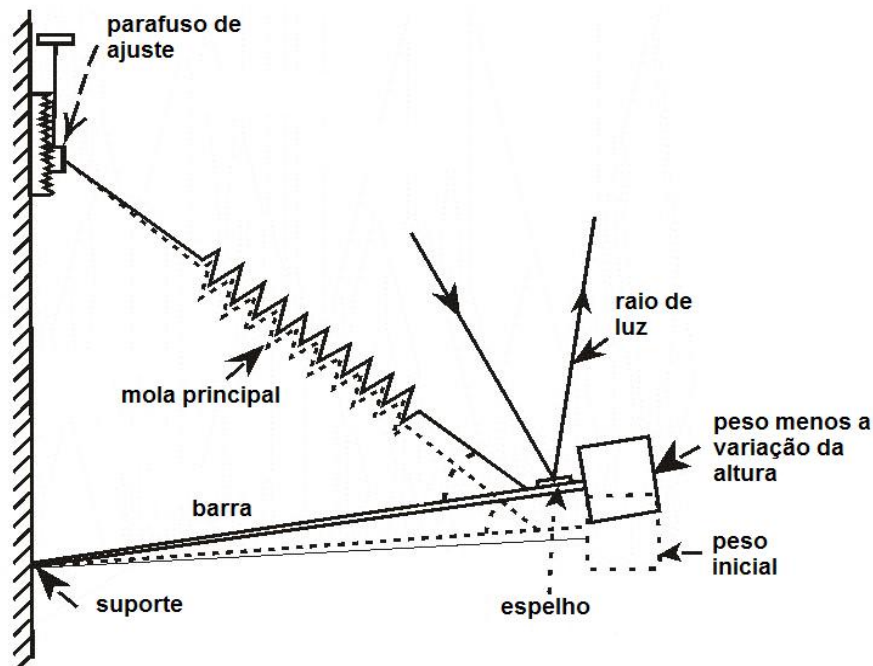


Figura 2.7 - Esquema do funcionamento do gravímetro LaCoste & Romberg
(Fonte:Manual Lacoste & Romberg, 1990)

O Levantamento gravimétrico de uma área delimitada consiste na obtenção de valores relativos de gravidade em estações distribuídas na área e corrigidas com relação a uma base de referência. Como requisito, nesta devem ser conhecidos os

valores de posição nas três dimensões φ , λ , h (H) e ela deve pertencer à Rede Vertical Fundamental Brasileira (RVFB).

Conforme já mencionado, para realização de levantamentos gravimétricos são utilizados instrumentos de alta precisão (gravímetros), que podem ser de um ou mais tipos, conforme a necessidade do ambiente de estudo (terrestre, marinho raso, marinho profundo e aéreo). Abaixo se encontram citados e ilustrados os principais tipos de gravímetros:

- ❖ Gravímetros tipo G (*ground*), comumente utilizados em levantamentos terrestres (Figura 3.8) apresentam precisão em torno de 0,01mGal;
- ❖ Gravímetros utilizados em levantamentos aquáticos podem ser de dois subtipos: gravímetros submergíveis, tipo H (*hybrid* – Figura 2.9), cuja precisão das medidas sob boas condições é de cerca de 0,1 mGal, e os Gravímetros *shipboard* para medidas de gravidade na superfície d'água (Figuras 2.10 e 2.11), onde a precisão diminui bastante pela dependência do grau de agitação das águas, e no qual a margem de erro é dificilmente inferior a 1mGal.
- ❖ Para levantamentos aéreos, o gravímetro *airborne* é apropriado, mas apresenta a mais alta margem de erro entre 1 a 2mGal, dado o fato de depender de correção de variações extremas na velocidade, curso e altura de navegação, as quais podem acabar não sendo registradas.



Figura 2.8 – Gravímetro LaCoste & Römberg modelo G – Precisão: 0,01 mgal

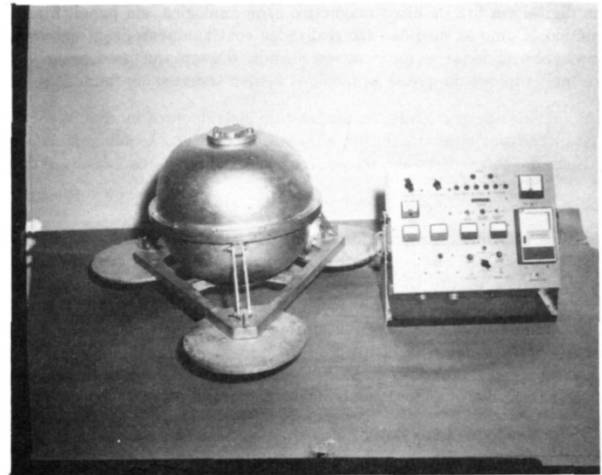


Figura 2.9 – Gravímetro LaCoste & Römberg modelo H – Precisão: 0,01 mgal



Figura 2.10 – Sistema KSS31M com receptor GPS (Fonte: BGR)

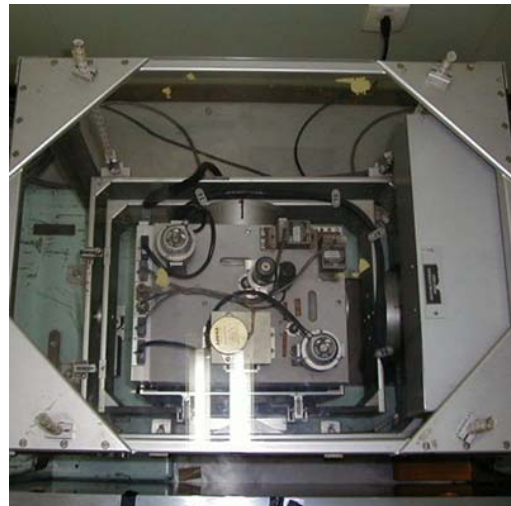


Figura 2.11 – Gravímetro Shipboard

As medidas obtidas com o(s) gravímetro(s) corresponderão às diferenças pontuais de gravidade, ou seja, entre as estações da área, e são valores relativos que serão corrigidos em relação a uma estação gravimétrica absoluta (estação base).

Segundo Khan (1980), a aceleração da gravidade varia na superfície da Terra como consequência de fatores como a latitude, as diferenças de elevações entre estações, as irregularidades da topografia e as marés (variação regular do campo de

gravidade da Terra, produzida pela atração gravitacional do Sol e da Lua). Torna-se necessário corrigir os dados obtidos (valores lidos) em um levantamento gravimétrico durante o processamento, para compensação desses efeitos, evidenciando as procuradas variações laterais e verticais de densidade e, a partir daí, gerar os mapas gravimétricos e perfis que possibilitem a interpretação da área estudada.

2.5.4 Redução da gravidade ao geóide

A gravidade referida ao esferóide fornece o valor que deveria encontrar-se em um ponto considerando que a Terra tivesse a forma de um esferóide perfeitamente uniforme ajustado a uma superfície equipotencial que melhor se ajuste ao NMM, se não afetada pelas marés, ventos, correntes e diferenças térmicas.

i. Definir anomalia da gravidade

Após terem sido feitas todas as correções nos dados gravimétricos é chegada à hora de identificar as anomalias resultantes de corpos ou estruturas de origem profunda e/ou rasa chamadas anomalias de Bouguer ou Campo Total (C_{TOTAL}).

$$C_{TOTAL} = C_{REGIONAL} + C_{RESIDUAL} \quad (2.23)$$

ii. Métodos de separação

- a - Manual
- b - Média Móvel
- c - Ajuste de Polinômio
- d - Condição de Isostasia
- e - FFT

a) **Método Manual** - Separa comprimentos de onda de regional e residual com vínculos na suavidade do regional e na tendência do residual à zero. Tem como características sua versatilidade e a dependência de um

intérprete experiente para não gerar interpretações erradas, e como desvantagens a demora do processo e a não reprodução, já que como é manual a reprodução nunca terá mesmo resultado.

- b) Método da Média Móvel** – Semelhante ao método manual, definindo-se uma pequena área circular que possa ser individualizada no mapa Bouguer e através de leituras obtidas na intersecção entre a circunferência e as linha de isovalor (valores em milgal) é obtido, aplicando média aritmética, o valor do Campo Regional para a estação medida. O valor residual é definido pela fórmula do campo total (mostrada acima) Este método pode ser aplicado usando procedimento computacional no que diminui sensivelmente o erro de cálculo
- c) Método por Ajuste de Polinômio (Robusto)** - Método iterativo e utiliza a solução obtida através do ajuste polinomial pelo método dos mínimos quadrados como aproximação inicial. Na metodologia empregada, a influência de observações contendo forte contribuição do campo residual é minimizada no ajuste do campo regional. A componente regional obtida a partir da separação regional-residual é transformada em um mapa qualitativo onde apenas as grandes estruturas podem ser estudadas e modeladas, resultando em valores numéricos associados as amplitudes de anomalias..
- d) Método da Condição de Isostasia** – Também é um método de separação, mas que considera extensões muito grande, maiores que 100 km, pois é a partir desta extensão que se considera a compensação isostática.

3 DETERMINAÇÃO DO GEOIDE LOCAL POR MEIO DE GPS/NIVELAMENTO

Este capítulo tem por objetivo descrever a metodologia empregada para a determinação de uma Superfície Geoidal Local da área de estudo. Foram escolhidos os vértices dos pontos de triangulação definidos pelo IBGE para a aplicação do método GPS/Nivelamento. O resultado dessas medições foi utilizado em um modelo matemático que melhor representa a área de estudo. Os resultados do processamento e a superfície geoidal local resultante finalizam a abordagem desse capítulo.

3.1 Escolha da Área para Estudo

A região onde foi desenvolvida a pesquisa tem uma área de aproximadamente 7.360 km² e compreende o Litoral, Zona da Mata e Agreste do Estado de Pernambuco. Constata-se que nesta área de desenvolvimento da pesquisa desde a implantação dos RNs pelo IBGE, a região passou por muitas transformações, melhorias nas vias, com duplicações, recuperação, dentre outras. Houve muitas mudanças nas escolhas, locais, onde quase não existem mais RNs em bom estado de conservação, restando apenas as Igrejas, as quais em sua grande maioria mantiveram o bom estado das RNs.

3.1.1 Localização da Área

A área escolhida para o desenvolvimento da pesquisa encontra-se entre os Municípios de Igarassu e Sirinhaém (norte-sul), e entre o Recife e Gravatá (leste-oeste), incluindo todos os municípios que fazem parte desta área onde foram detectados RNs em perfeito estado, como mostra na Figura 3.1.

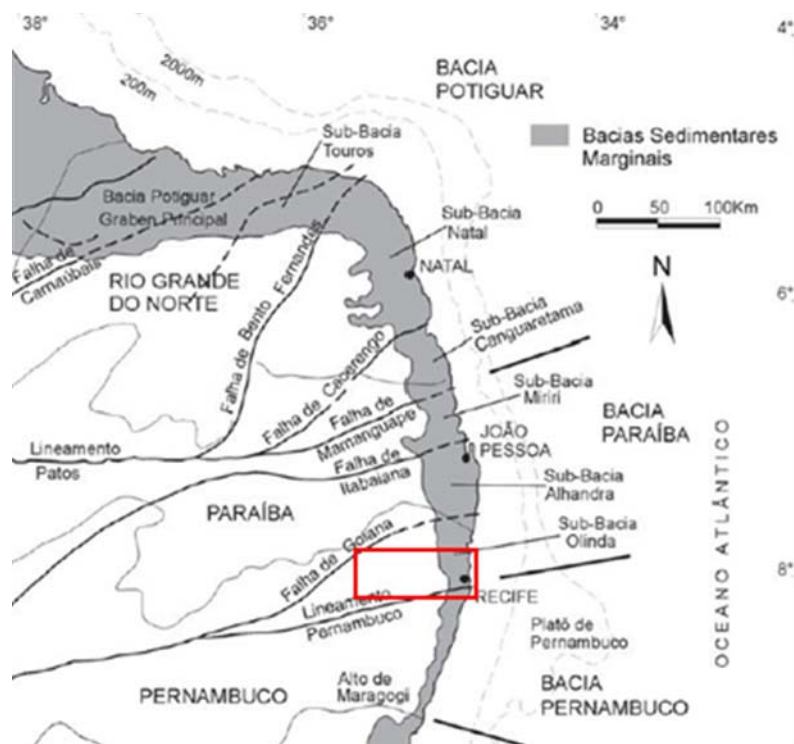


Figura 3.1 - Mapa de localização geológica da área em estudo

3.1.2 Seleção das Referências de Níveis (RNs)

A partir de uma lista disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foram selecionados todas as RNs constantes na lista que faziam parte da área escolhida para a pesquisa. Nesta lista existe o nome da RN, a localização, as coordenadas (latitude, longitude e altitude elipsoidal).

O número de RNs selecionadas foi bem maior que o pretendido, pois havia grande possibilidade de muitas estarem destruídas.

3.2 Reconhecimento da Área

Foi feito um reconhecimento minucioso de cada RN. Estas já haviam sido pré-selecionadas, onde foi observada a destruição completa ou parcial da grande maioria dessas RNs. Após a conclusão da campanha de reconhecimento das RNs foi dado o início no desenvolvimento de todo o planejamento de execução das atividades de rastreamento GPS no campo. O principal objetivo da etapa do reconhecimento foi a de obter um primeiro contato com a região de estudo,

observando a facilidade de acesso às RNs, selecionando as que tinham um estado de boa conservação.

Como as RNs mais bem conservadas estão localizadas nas Igrejas e que por sua vez estas são cravadas na sua porta principal, foi constatado, nesta etapa, a necessidade de se empregar mais uma técnica de medição. Foi dada uma atenção especial para diagnosticar possíveis obstruções dos sinais GPS e multi-caminhos (*multipath*), havendo-se necessidade, então, de utilizar estações excêntricas.

Observa-se, então, que:

- 1 - O objetivo principal do reconhecimento foi o de proporcionar subsídios para elaborar a seleção das RNs;
- 2 - O percurso a ser desenvolvido na coleta de dados de campo; e
- 3 - A possibilidade do rastreo em cima da própria RN ou a necessidade da utilização de uma estação excêntrica e posteriormente o transporte da RN com o emprego do nivelamento geométrico.

De posse das cartas, já com as RNs plotadas e das fichas que contêm as descrições das RNs, foi elaborado uma estratégia para o reconhecimento das mesmas. Depois de estabelecida a estratégia, iniciou-se, no dia 02 de Julho de 2007, o reconhecimento das RNs constantes na lista fornecida pelo IBGE. Apenas 22 (vinte e duas) foram encontradas em boas condições de conservação e apenas 15 (quinze) foram utilizadas nesta pesquisa, pelo fato de que as outras 7 (sete) RNs estavam muito próximo de outras já encontradas. Não havendo assim, a necessidade de sua utilização. Os municípios que tinham mais de uma RN encontrada foram: Vitória de Santo Antão, Jaboatão dos Guararapes, Moreno, São Lourenço da Mata e Recife.

3.3 Planejamento

Com as RNs encontradas foi feito um planejamento de campanha para rastreo GPS de forma a montar a melhor configuração geométrica (Figura 3.2).



Figura 3.2 – Localização dos pontos na área em estudo. Fonte: O autor.

A Tabela (3.1) mostra a localização e descrição das RNs utilizadas no trabalho. Pode-se observar o nome dos Municípios, descrição das mesmas, sua identificação e sua altitude ortométrica. A última coluna fornece o nome adotado nesta pesquisa para cada RN ocupada.

Município	Descrição do RN	Identificação do Rn	Altitude Ortométrica (m)	Nome do vértice
Cabo de Santo Agostinho - 	Chapa cravada ao lado direito da porta principal da igreja da matriz.	390-E	30,0923	CSA
Escada 	Chapa cravada no lado direito da porta principal da igreja de nossa senhora da escada, matriz da cidade.	2439-A	109,5636	ECD
Glória do Goitá 	Chapa cravada no lado direito da ponte sobre o riacho grota funda; 130m além da casa do Sr. José Lima Vasconcelos, no sitio Ednaldo; 2,9 km aquém da igreja matriz da cidade de Gloria de Goitá.	2447-X	136,3662	GLR
Gravatá 	Chapa cravada no patamar ao lado direito da porta principal da igreja matriz, na praça Justino Carneiro de Miranda.	378-I	447,5182	GVT

Igarassu 	Chapa cravada na soleira Lado direito da porta principal da igreja dos Santos São Cosme e São Damião, matriz da cidade.	1816-M	19,9732	IGR
Jaboatão dos Guararapes 	Chapa cravada na calçada da igreja de Nossa Senhora do Perpetuo Socorro, na Rua Marechal Manoel Rabelo, s/n.	1815-S	29,6729	JBT
Limoeiro 	Chapa cravada no lado direito da porta principal da Igreja Matriz.	387-G	138,2660	LMR
Moreno 	Chapa cravada na base do mastro da bandeira do posto da policia Rodoviária Federal; 200m aquém do entroncamento para Moreno	1815-J	109,9498	MRN

Paudalho 	Chapa cravada a direita da porta principal da Igreja Matriz.	391-T	69,8531	PDL
Paulista 	Chapa cravada na soleira do lado direito da porta da Igreja de Santa Elizabete, Matriz da Cidade, Na Av. Marechal Floriano.	394-I	14,1586	PLT
Pontezinha 	Chapa cravada na base do mastro da bandeira, na frente do posto da Policia Rodoviária Federal; 11,7 km aquém do aeroporto Internacional dos Guararapes, em Recife.	2439-R	7,7285	PTZ
São Lourenço da Mata 	Chapa cravada ao lado direito da porta principal da Igreja Matriz.	391-L	59,0396	SLM

Sirinhaém 	Chapa cravada ao lado Direito da porta Principal da Igreja Matriz.	393-H	49,5022	SRN
Vitória de Santo Antão 	Chapa cravada na plataforma da Estação Ferroviária.	378-V	145,7914	VSA
Marco Zero 	Chapa cravada junto ao marco zero.	393-S	4,700	MCZ

Tabela 3.1 – Referência de Nível Utilizada

Nas RNs, onde houve a necessidade de estação excêntrica, esta foi implantada a uma distância máxima de 20 m da RN. As estações excêntricas foram determinadas para eliminar possíveis bloqueios dos sinais causados por construções civis ou por vegetações próximas às RNs, ou ainda, por reflexos indesejáveis geradores de multicaminhos (*multipath*) (cf. item 3.2). Em sua grande maioria elas se encontram situadas nas portas das Igrejas, onde a obstrução para os sinais GPS é grande.

O desnível entre a estação excêntrica e a RN original foi determinado por nivelamento geométrico, onde se executou o nivelamento e contra-nivelamento. Não houve nenhum caso com a necessidade de mais de um lance, desta forma verificou-se que a maior discrepância aceita entre o nivelamento e contra nivelamento foi de 2 mm. Essas observações foram realizadas com o nível Kern e seguintes acessórios do Laboratório de Topografia do Departamento de Engenharia Cartográfica.

A Tabela 3.2 abaixo mostra a caderneta com as estações excêntricas.

Caderneta do Nivelamento						
	Altitude ortométrica das RN	Leituras (m)		Distância (m)	Diferença de nível(m)	RNs das estações excêntricas
		Ré	Vante		ré -vante	
IGR	19,9732	1,486	1,129	14,550	0,357	20,3302
PDL	69,8531	1,457	1,533	4,880	-0,076	69,7771
PLT	14,1586	1,175	2,118	14,600	-0,943	13,2156
SLM	59,0396	1,233	1,172	8,840	0,061	59,1006
JBT	29,6729	Estação Ocupada				29,6729
MRN	109,9498	1,307	1,381	13,730	-0,074	109,8758
CSA	30,0923	1,158	1,315	11,100	-0,157	29,9353
ECD	109,5636	1,775	1,772	7,000	0,003	109,5666
SRN	49,5022	1,339	1,588	7,775	-0,249	49,2532
MCZ	4,700	Estação Ocupada				4,7
PTZ	7,7285	1,263	1,344	6,090	-0,081	7,6475
LMR	138,2660	1,498	1,945	8,360	-0,447	137,819
GLR	136,3662	Estação Ocupada				136,3662
GVT	447,5182	0,512	0,848	16,400	-0,336	447,1822
VTR	145,7914	1,152	1,480	30,850	-0,328	145,4634

Tabela 3.2 – Cálculos do nivelamento para todos os vértices excêntricos

3.4 Trabalho de Campo – Rastreio GPS

O Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco dispõe de 02 (dois) pares de receptores de dupla frequência: modelos Rascal e 4000SST (cf. item 2.4.2). Ambos foram utilizados procurando sempre simultaneidade para se ter sempre quadriláteros completos e assim garantir maior rigidez nas figuras geométricas observadas.

Considerando que a distância média entre os pontos seria de 30 km, e que o ponto mais distante do Recife, onde se encontra a RBMC (**R**ede **B**rasileira de **M**onitoramento **C**ontínuo), teria apenas 80 km de distância do Recife, verificou-se que 60 minutos de rastreamento seriam suficientes para obter resultados confiáveis.

Uma taxa de coleta de dados GPS de 15 segundos é suficiente para obter resultados confiáveis (PESSOA, 1994).

O rastreio foi feito sempre com a formação de figuras formando um quadrilátero, o que proporcionou levantar várias vezes a mesma linha de base, uma vez que quando terminava o primeiro rastreio apenas dois receptores e antenas GPS mudavam de posição, ocupando outras RNs, e os outros dois receptores GPS continuavam rastreando até o término do rastreio deste outro quadrilátero formado.

A configuração para o levantamento está apresentada na Tabela 3.3. A partir do nome das RNs ocupadas pode-se confrontar com a Figura 3.2 para abstrair os levantamentos executados. O tempo mínimo de rastreio foi de 1 hora com ângulo de elevação de 15° e taxa de coleta dos dados GPS de 15 segundos.

Dia	RNs Ocupadas (Cidades)	OBS:
13-07-2007	MRN-RECF-PRF	Não aproveitável - falta de habilidade com equipamentos
16-07-2007	GLR-VTR-MRN-JBT	Não aproveitável perda de observação
21-07-2007	LMR-PDL-GLR-SLR	Aproveitável
27-07-2007	LMR-GLR-GVT-VTR-MRN-ECD	Aproveitável
28-07-2007	PLT-JBT-SLM-IGR-MRN	Aproveitável
04-08-2007	MRN-ECD-CSA-SRN	Aproveitável
18-08-2007	PLT-SLM-MRN-JBT-PTZ-MZR	Aproveitável

Tabela 3.3 – Figuras Rastreadas

Os dias dos rastreios também estão descritos na Tabela 3.3 acima.

No final de cada dia de trabalho, os dados eram descarregados para liberar os equipamentos para novos rastreios, sem ter a preocupação de perda de dados.

3.5 Processamento

Observa-se que os quatro (04) receptores envolvidos no projeto são de fabricantes diferentes, como também são diferentes os tipos de antenas utilizadas.

Para o processamento das linhas de base e ajustamento da rede, adotou-se o software TGO (Trimble Geomatics Office) e para o tratamento dos dados foram utilizados os softwares GRAFNAV E GRAFNET do fabricante Allen Osborne Associates (AOA) dos receptores RASCAL.

Neste caso, os dados de campo dos receptores RASCAL tiveram que ser convertidos para arquivo RINEX (**R**eceive **I**ndependence **E**Xchange) e para assim serem utilizados pelo software TGO.

Para todas as linhas de base calculadas adotou-se as coordenadas do vértice da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – Estação RECF) como fixas (Quadro 3.1).

Latitude	Longitude	Altitude Elipsoidal
8°03'03,4697"	34°57'05,4591"	20,18 m

Quadro 3.1 – Estação RECF – Coordenadas em SIRGAS 2000. Fonte: IBGE

Algumas observações devem ser expostas:

Quase que em sua totalidade as linhas de base apresentaram a necessidade de alguma mudança durante o processamento em sua configuração para que os dados ficassem mais refinados, pois a configuração original de rastreo trouxe algumas falhas, tais como interrupções, interferências, dentre outras.

Todas estas modificações são possíveis dentro de certos critérios para que se possa atingir a precisão: *fixação da ambigüidade – solução livre de ionosfera; índice de variação; variação de referência e RMS*. Com esta modificação, procurou-se

atingir o critério adotado de precisão. O quadro abaixo (Quadro 3.2) extraído do TGO mostra o critério adotado para o cálculo de linha de base:

	Frequência única L1		Frequência dupla L1 e L2	
		Falha		Falha
Se RMS >	0,03	0,04	0,02	0,03
Se Índice <	3	1,5	3	1,5
Se divergência >	10	20	5	10

Quadro 3.2 – Critério para Rejeição. Fonte: TGO

No Quadro 3.3 a seguir, mostra as resoluções que o programa pode dar em relação aos cálculos de RMS. Em relação a este trabalho todas as soluções tiveram suas resoluções em Fixada a ambigüidade, logo não foi necessária a volta ao campo para refazer algum levantamento.

Fixada a ambigüidade	RMS Ok. Solução “livre de ionosfera” recomendada
Fixada a ambigüidade	RMS muito grande. Dados com muito “ruídos” ou linha de base é muito extensa.
Ambigüidade não fixada	RMS Ok. Solução não fixada devida a linha de base ser muito extensa; pouco tempo de rastreo; ou número de satélite mínimo.
Ambigüidade não fixada e RMS muito grande	Motivo idêntico ao item anterior com a agravante dos dados estarem com muito “ruídos” e a linha ser superior a 100 Km.

Quadro 3.3–Critério de Análise para a determinação da qualidade da solução de linha de base. Fonte:TGO

Considerações sobre o R_{dop}:

O R_{dop} tem sua unidade em m/ciclo; e quando seus valores estão abaixo do valor de 0,4/ciclos o TGO dá um resultado satisfatório; com uma boa solução para ambigüidade, uma geometria de satélites de boa qualidade, indica que o tempo de rastreo foi suficiente; e por fim com o R_{dop} baixo e o ratio bom significa dizer que as condições atmosféricas eram favoráveis na hora do rastreo sem interferências, tais como: antenas e fios de alta tensão. A Tabela 3.4 a seguir apresenta as considerações sobre o R_{dop}.

Distancia(km)	Índice de variação Ratio	RMS (critério)	RMS (distância)
0 – 10	$\geq 3,0$	$< 0,02 + (0,004 \cdot \text{Km})$	0,02 – 0,06
10 – 20	$\geq 2,8$	$< 0,03 + (0,003 \cdot \text{Km})$	0,06 – 0,09
20 – 30	$\geq 2,6$	$< 0,04 + (0,0025 \cdot \text{Km})$	0,09 – 0,115
30 – 40	$\geq 2,4$	$< 0,04 + (0,0025 \cdot \text{Km})$	0,115 – 0,14
40 – 60	$\geq 2,2$	$< 0,08 + (0,0015 \cdot \text{Km})$	0,14 – 0,17
60 – 100	$\geq 2,2$	$< 0,17$	0,17
100	$\geq 2,2$	$< 0,20$	0,20

Tabela 3.4 – Considerações sobre Rdp. Fonte: TGO – Trimble Geomatic Office

Outro detalhe importante e que deve ser considerado são os tipos de antenas utilizadas e como foi o processo para obtenção da altura da mesma em relação ao seu centro de fase.

Inicialmente serão feitos comentários sobre a antena RASCAL. A (Figura 3.3) abaixo mostra as definições que foram inseridas no Software GRAFNET e assim determinar a real altura da antena para o seu centro de fase, para poder utilizar no arquivo RINEX gerado.

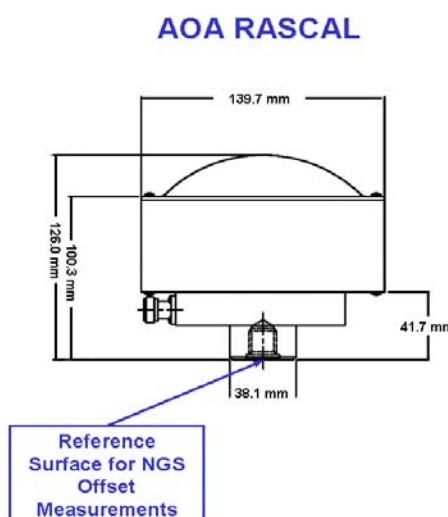


Figura 3.3 – Antena RASCAL (Fonte: AOA)

Quanto à antena dos equipamentos da TRIMBLE como mostra Figura 3.4 não houve problema, porque o software tem capacidade de determinar a altura para o centro de fase quando é informado o tipo da antena. Neste caso, a *Compact L1L2 w/ground*, foi o tipo de antena utilizado.

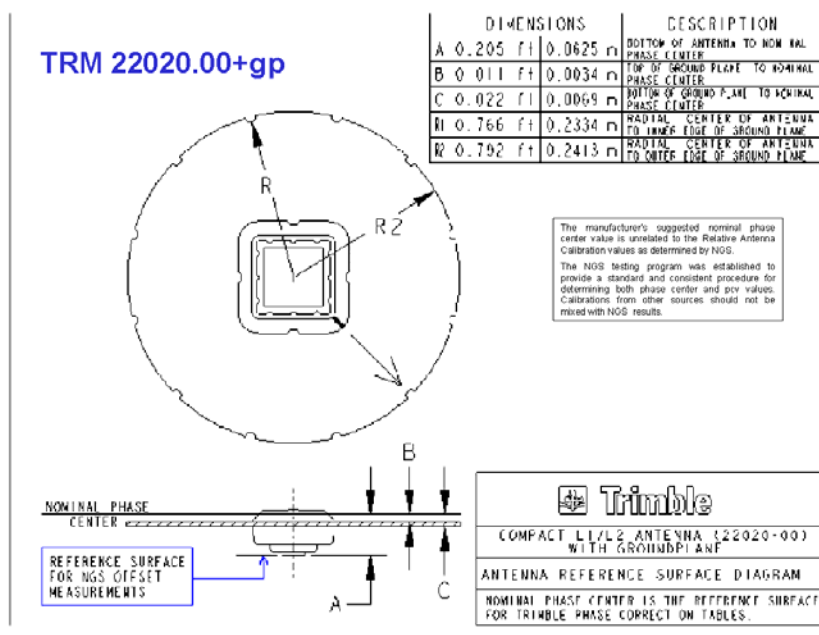


Figura 3.4 – Antena Compact L1L2 (Fonte: TRIMBLE)

A antena da Estação RECF pertencente à RBMC é do ZEPHYR GNSS GEODETIC MODEL 2 (TRM 55971.00), e o programa GRAFNET, também tem capacidade de determinar a sua altura para o centro de fase.

Em todo o trabalho adotou-se, para a medição da altura da antena, o modo inclinado com, no mínimo, 03 medições com única exceção a antena da RBMC que é definida pelo IBGE.

3.5.1 Resultado do Processamento de Linhas de Base

Seguem tabelas com todas as linhas de base determinadas por dia de trabalho, onde nestas tabelas constam as distâncias entre as linhas de base, o tipo de

solução dada pelo software, o índice Ratio (Relação Sinal/Ruído), a variação de referência e por fim o RMS. Esse último pode ser calculado da seguinte maneira:

a) Dia 21-07-2007

	Para	Linha de Base	Tipo de solução	Relação Sinal/Ruído	Variação de Referência	RMS
RECF	SLM	11468,408m	Livre de ionosfera	18,1	1,011	0,012m
PDL	SLM	18827,475m	Livre de ionosfera	12,4	3,082	0,019m
RECF	PDL	30275,724m	Livre de ionosfera	5,9	2,259	0,018m
PDL	GLR	17094,687m	Livre de ionosfera	6,4	2,352	0,017m
SLM	GLR	28811,262m	Livre de ionosfera	13,0	2,564	0,016m
LMR	GLR	20727,005m	Livre de ionosfera	13,9	3,413	0,019m
RECF	GLR	39139,401m	Livre de ionosfera	4,0	1,699	0,015m
PDL	LMR	30461,112m	Livre de ionosfera	31,7	2,479	0,018m
RECF	LMR	58499,911m	Livre de ionosfera	4,6	1,869	0,016m
SLM	LMR	47394,023m	Livre de ionosfera	15,4	3,211	0,018m

Tabela 3.5 – Linhas de Base. Fonte: TGO - Trimble Geomatic Office

Vértice	Latitude (S)	Longitude (W)	Altura –h – (m)
PDL	7°53'44,93104"	35°10'39,93914"	64,471
GLR	7°59'21,87332"	35°18'04,12005"	130,893
SLM	7°59'46,56104"	35°02'23,63951"	53,626
LMR	7°52'46,76500"	35°27'12,64769"	132,211

Tabela 3.6 – Lista de Coordenadas em WGS'84. Fonte: TGO - Trimble Geomatic Office

b) Dia 27-07-2007

De	Para	Linha de Base	Tipo de solução	Relação Sinal/Ruído	Variação de Referência	RMS
RECF	MRN	20713,234m	Livre de ionosfera	3,5	1,265	0,016m
RECF	GLR	39139,378m	Livre de ionosfera	17,0	2,294	0,018m
GLR	LMR	20727,002m	Livre de ionosfera	6,2	2,570	0,018m
RECF	LMR	58499,955m	Livre de ionosfera	9,4	1,919	0,019m
MRN	VTR	18594,114m	Livre de ionosfera	6,4	3,383	0,019m
VTR	GLR	14466,639m	Livre de ionosfera	4,3	2,323	0,017m
RECF	VTR	38846,273m	Livre de ionosfera	3,1	2,497	0,019m
RECF	VTR	38846,262m	Livre de ionosfera	6,4	1,694	0,016m

VTR	ECD	27602,229m	Livre de ionosfera	16,3	2,465	0,019m
VTR	LMR	31701,810m	Livre de ionosfera	7,4	2,302	0,018m
MRN	ECD	30036,650m	Livre de ionosfera	3,5	2,319	0,019m
RECF	ECD	46753,948m	Livre de ionosfera	7,7	2,167	0,020m
GVT	MRN	49422,325m	Livre de ionosfera	11,3	2,516	0,020m
GVT	GLR	37721,260m	Livre de ionosfera	3,4	2,701	0,019m
GVT	VTR	31228,312m	Livre de ionosfera	20,6	2,374	0,016m
GVT	VTR	31228,320m	Livre de ionosfera	12,5	2,342	0,019m
GVT	LMR	37923,641m	Livre de ionosfera	4,5	2,246	0,018m
GVT	ECD	40402,757m	Livre de ionosfera	3,9	2,745	0,020m
RECF	GVT	69987,405m	Livre de ionosfera	7,0	1,660	0,016m

Tabela 3.7 – Linhas de Base. Fonte: TGO - Trimble Geomatic Office

Vértice	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude – h – (m)
LMR	7°52'46,76211"	35°27'12,65034"	132,370
GLR	7°59'21,87316"	35°18'04,11679"	131,056
MRN	8°06'50,63868"	35°07'42,41919"	104,518
VTR	8°07'12,53791"	35°17'49,37551"	139,712
ECD	8°21'45,75959"	35°14'17,15979"	104,099
GVT	8°12'10,85122"	35°34'04,52674"	441,459

Tabela 3.8– Lista de Coordenadas em WGS'84. Fonte: TGO - Trimble Geomatic Office

c) Dia 28-07-2007

De	Para	Linha base	Tipo de solução	Relação Sinal/Ruído	Variação de Referência	RMS
RECF	PLT	14542,490m	Livre de ionosfera	7,9	3,582	0,020m
RECF	JBT	7893,210m	Livre de ionosfera	4,8	2,546	0,019m
RECF	SLM	11468,394m	Livre de ionosfera	7,3	2,244	0,017m
RECF	IGR	24494,756m	Livre de ionosfera	11,3	1,363	0,013m
SLR	PLT	18683,323m	Livre de ionosfera	10,3	3,526	0,020m
SLR	MRN	16279,167m	Livre de ionosfera	17,3	2,622	0,016m
JBT	MRN	14839,310m	Livre de ionosfera	10,4	1,633	0,015m
RECF	MRN	20713,156m	Livre de ionosfera	10,6	3,442	0,019m

Tabela 3.9 – Linhas de Base. Fonte: TGO - Trimble Geomatic Office

Vértice	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude –h – (m)
IGR	7°50'02,92127"	34°54'22,24471"	14,908
PDL	7°53'44,93055"	35°10'39,92244"	64,044

PLT	7°56'25,85893"	34°52'47,76322"	7,629
SLR	7°59'46,56116"	35°02'23,63901"	53,784
JBT	8°06'30,49331"	34°59'38,14080"	23,945
MRN	8°06'50,63689"	35°07'42,41616"	104,582

Tabela 3.10 – Lista de Coordenadas em WGS'84. Fonte: TGO - Trimble Geomatic Office

d) Dia 04-08-2007

De	Para	Linha de base	Tipo de solução	Relação Sinal/Ruido	Variação de Referência	RMS
RECF	MRN	20713,226m	Livre de ionosfera	4,9	1,667	0,017m
CSA	MRN	21673,437m	Livre de ionosfera	4,5	2,318	0,019m
MRN	ECD	30036,520m	Livre de ionosfera	4,4	1,758	0,016m
CSA	ECD	23381,778m	Livre de ionosfera	3,1	3,557	0,019m
RECF	ECD	46754,069m	Livre de ionosfera	11,9	2,508	0,019m
RECF	CSA	28017,316m	Livre de ionosfera	20,1	2,856	0,019m
MRN	SRN	52793,037m	Livre de ionosfera	5,6	2,508	0,019m
SRN	ECD	28594,881m	Livre de ionosfera	4,4	2,886	0,019m
CSA	SRN	34529,771m	Livre de ionosfera	13,0	2,578	0,018m
RECF	SRN	62464,807m	Livre de ionosfera	7,4	2,586	0,018m

Tabela 3.11– Linhas de Base. Fonte: TGO - Trimble Geomatic Office

Vértice	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude – h – (m)
MRN	8°06'50,63815"	35°07'42,41811"	104,564
CSA	8°17'19,41988"	35°02'21,33552"	24,283
ECD	8°21'45,75917"	35°14'17,15923"	103,936
SRN	8°35'28,54752"	35°07'00,12359"	43,167

Tabela 3.12 – Lista de Coordenadas em WGS'84 (Sirgas 2000). Fonte: TGO

e) Dia 18-08-2007

De	Para	Linha base	Tipo de solução	Relação Sinal/Ruido	Variação de Referência	RMS
RECF	MCZ	8962,027m	Livre de ionosfera	12,8	1,075	0,014m
RECF	PLT	14542,510m	Livre de ionosfera	14,9	2,230	0,019m
MCZ	PLT	13598,814m	Livre de ionosfera	12,0	2,675	0,019m
RECF	JBT	7893,162m	Livre de ionosfera	5,6	2,440	0,019m
RECF	SLM	11468,384m	Livre de ionosfera	10,9	1,486	0,017m

MCZ	SLM	20020,723m	Livre de ionosfera	24,1	1,218	0,013m
MCZ	JBT	14431,661m	Livre de ionosfera	4,5	3,236	0,018m
MRN	SLM	16279,167m	Livre de ionosfera	18,5	1,981	0,016m
MRN	JBT	14839,369m	Livre de ionosfera	3,6	3,551	0,019m
RECF	PTZ	18836,444m	Livre de ionosfera	5,0	2,407	0,020m
MCZ	PTZ	20304,450m	Livre de ionosfera	3,5	1,819	0,014m
MRN	PTZ	21457,976m	Livre de ionosfera	10,2	1,190	0,013m
RECF	MRN	20713,218m	Livre de ionosfera	13,6	0,957	0,014m
MRN	PLT	33450,463m	Livre de ionosfera	3,1	2,748	0,019m
MCZ	MRN	28914,371m	Livre de ionosfera	17,4	1,670	0,014m

Tabela 3.13– Linhas de Base. Fonte: TGO - Trimble Geomatic Office

Vértice	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude – h – (m)
PLT	7°56'25,85858"	34°52'47,76255"	7,556
SLM	7°59'46,56250"	35°02'23,63949"	53,542
MCZ	8°03'47,38627"	34°52'16,09984"	-2,307
JBT	8°06'30,49254"	34°59'38,13921"	23,699
MRN	8°06'50,63868"	35°07'42,41769"	104,438
PTZ	8°13'14,47362"	34°57'56,76757"	1,633

Tabela 3.14 – Lista de Coordenadas em WGS'84. Fonte: TGO - Trimble Geomatic Office

3.6 Ajustamento das Linhas de Base

O ajustamento envolvendo todas as linhas de base foi efetuado pelo programa TGO. O critério de confiança adotado foi de 95% para o limite de tolerância.

O vértice que foi utilizado neste trabalho como fixo foi o da RBMC, pelo fato de ser um equipamento ligado 24 horas/dia, e estes dados são fornecidos via internet através do site do IBGE.

A Tabela 3.15 mostra as coordenadas ajustadas e a Figura 3.5 representa o histograma de resíduos padronizados.

a) Coordenadas Ajustadas

RN	Latitude (S)	Erro N (m)	Longitude (W)	Erro L (m)	Altitude – h – (m)	erro alt (m)
IGR	7°50'02,92106"	0,014	34°54'22,24461"	0,025	15,075	0,055
PDL	7°53'44,93349"	0,014	35°10'39,93716"	0,030	64,348	0,057
PLT	7°56'25,85899"	0,006	34°52'47,76337"	0,007	7,621	0,018
SLM	7°59'46,56140"	0,009	35°02'23,63953"	0,014	53,594	0,033
JBT	8°06'30,49252"	0,011	34°59'38,13936"	0,011	23,771	0,029
MRN	8°06'50,63850"	0,005	35°07'42,41786"	0,006	104,582	0,022
CSA	8°17'19,41788"	0,027	35°02'21,33421"	0,057	24,061	0,209
ECD	8°21'45,76145"	0,044	35°14'17,15843"	0,030	103,789	0,073
SRN	8°35'28,54753"	0,011	35°07'00,12369"	0,028	43,146	0,221
MCZ	8°03'47,38625"	0,006	34°52'16,09992"	0,008	-2,219	0,039
PTZ	8°13'14,47371"	0,010	34°57'56,76776"	0,011	1,670	0,051
LMR	7°52'46,76454"	0,015	35°27'12,64736"	0,034	132,212	0,063
GLR	7°59'21,87510"	0,011	35°18'04,11390"	0,023	130,953	0,074
GVT	8°12'10,85130"	0,008	35°34'04,52539"	0,013	441,328	0,117
VTR	8°07'12,53788"	0,005	35°17'49,37440"	0,006	139,715	0,057

Tabela 3.15 - Coordenadas Ajustadas no Sistema WGS'84. Fonte:TGO - Trimble Geomatic Office

b) Histogramas de residuais padronizados

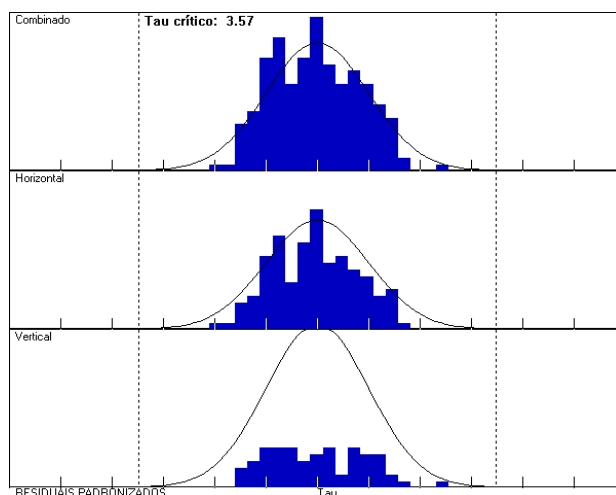


Figura 3.5 – Histograma de residuais padronizados. Fonte: TGO - Trimble Geomatic Office

c) Termos das covariâncias - Ajuste efetuado em WGS-84

Do ponto	Para o ponto		Componentes	Erro a posteriori ($1,96\sigma$)	Precisão horiz. (Índice)	Precisão 3D (Índice)
IGR	PDL	Az.	257°09'08,4981"	0°00'00,0695"	1:1187799	1:1187799
		ΔAl.	49,273m	0,045m		
		Dist.	30716,561m	0,026m		
IGR	PLT	Az.	166°10'51,4492"	0°00'00,4489"	1:977108	1:977108
		ΔAl.	-7,454m	0,055m		
		Dist.	12114,951m	0,012m		
IGR	SLM	Az.	219°25'23,7007"	0°00'00,1558"	1:945524	1:945524
		ΔAl.	38,520m	0,053m		
		Dist.	23214,099m	0,025m		
IGR	RECF	Az.	191°46'20,7074"	0°00'00,1929"	1:1425158	1:1425158
		ΔAl.	5,105m	0,055m		
		Dist.	24494,710m	0,017m		
PDL	PLT	Az.	98°34'53,9036"	0°00'00,1024"	1:1151148	1:1151148
		ΔAl.	-56,727m	0,058m		
		Dist.	33209,874m	0,029m		
PDL	SLM	Az.	126°10'19,0703"	0°00'00,2752"	1:815451	1:815451
		ΔAl.	-10,754m	0,055m		
		Dist.	18827,315m	0,023m		
PDL	RECF	Az.	124°32'24,0051"	0°00'00,1605"	1:1343340	1:1343340
		ΔAl.	-44,168m	0,057m		
		Dist.	30275,426m	0,023m		
PDL	LMR	Az.	273°20'39,5362"	0°00'00,0959"	1:874674	1:874674
		ΔAl.	67,864m	0,050m		
		Dist.	30460,619m	0,035m		
PDL	GLR	Az.	232°43'27,2610"	0°00'00,2399"	1:570735	1:570735
		ΔAl.	66,605m	0,074m		
		Dist.	17094,297m	0,030m		
PLT	SLM	Az.	250°43'08,8151"	0°00'00,1043"	1:1188900	1:1188900
		ΔAl.	45,973m	0,034m		
		Dist.	18683,216m	0,016m		
PLT	RECF	Az.	212°51'34,4930"	0°00'00,0865"	1:2159906	1:2159906
		ΔAl.	12,559m	0,018m		
		Dist.	14542,452m	0,007m		
PLT	JBT	Az.	214°04'15,4737"	0°00'00,0958"	1:1695439	1:1695439

		ΔAl.	16,150m	0,031m		
		Dist.	22426,348m	0,013m		
PLT	MRN	Az.	234°57'59,5689"	0°00'00,0408"	1:3866004	1:3866004
		ΔAl.	96,961m	0,026m		
		Dist.	33450,082m	0,009m		
PLT	MCZ	Az.	175°54'42,4913"	0°00'00,1538"	1:1732348	1:1732348
		ΔAl.	-9,840m	0,040m		
		Dist.	13598,796m	0,008m		
SLM	RECF	Az.	121°50'28,2340"	0°00'00,2235"	1:1007535	1:1007535
		ΔAl.	-33,414m	0,033m		
		Dist.	11468,289m	0,011m		
SLM	JBT	Az.	157°47'23,4750"	0°00'00,2667"	1:1167698	1:1167698
		ΔAl.	-29,823m	0,039m		
		Dist.	13404,035m	0,011m		
SLM	MRN	Az.	216°50'03,6910"	0°00'00,1427"	1:1215838	1:1215838
		ΔAl.	50,987m	0,035m		
		Dist.	16278,909m	0,013m		
SLM	MCZ	Az.	111°41'56,4694"	0°00'00,1292"	1:1449764	1:1449764
		ΔAl.	-55,814m	0,047m		
		Dist.	20020,576m	0,014m		
SLM	LMR	Az.	285°45'42,0148"	0°00'00,0894"	1:1438263	1:1438263
		ΔAl.	78,617m	0,062m		
		Dist.	47393,377m	0,033m		
SLM	GLR	Az.	271°29'24,7639"	0°00'00,0937"	1:1127811	1:1127811
		ΔAl.	77,359m	0,073m		
		Dist.	28810,759m	0,026m		
RECF	JBT	Az.	216°18'47,4749"	0°00'00,2456"	1:661256	1:661256
		ΔAl.	3,591m	0,029m		
		Dist.	7893,136m	0,012m		
RECF	MRN	Az.	250°17'50,3294"	0°00'00,0493"	1:3399205	1:3399205
		ΔAl.	84,402m	0,022m		
		Dist.	20712,857m	0,006m		
RECF	CSA	Az.	200°10'56,5261"	0°00'00,3804"	1:790201	1:790201
		ΔAl.	3,881m	0,209m		
		Dist.	28017,169m	0,035m		
RECF	ECD	Az.	222°27'55,2147"	0°00'00,0996"	1:976255	1:976255
		ΔAl.	83,609m	0,073m		
		Dist.	46753,678m	0,048m		

RECF	SRN	Az.	196°55'26,0216"	0°00'00,0873"	1:4544935	1:4544935
		Δ Al.	22,966m	0,221m		
		Dist.	62464,744m	0,014m		
RECF	MCZ	Az.	98°39'50,5514"	0°00'00,1485"	1:1108011	1:1108011
		Δ Al.	-22,399m	0,039m		
		Dist.	8961,984m	0,008m		
RECF	PTZ	Az.	184°46'56,1276"	0°00'00,1253"	1:1846520	1:1846520
		Δ Al.	-18,510m	0,051m		
		Dist.	18836,412m	0,010m		
RECF	LMR	Az.	288°51'42,6021"	0°00'00,0719"	1:1902982	1:1902982
		Δ Al.	112,032m	0,063m		
		Dist.	58499,305m	0,031m		
RECF	GVT	Az.	256°03'11,0938"	0°00'00,0223"	1:5154975	1:5154975
		Δ Al.	421,148m	0,117m		
		Dist.	69983,944m	0,014m		
RECF	VTR	Az.	258°36'55,9659"	0°00'00,0250"	1:6353609	1:6353609
		Δ Al.	119,535m	0,057m		
		Dist.	38845,652m	0,006m		
JBT	MRN	Az.	267°36'00,3904"	0°00'00,1465"	1:1452426	1:1452426
		Δ Al.	80,810m	0,028m		
		Dist.	14838,989m	0,010m		
JBT	MCZ	Az.	69°41'30,5661"	0°00'00,1470"	1:1230753	1:1230753
		Δ Al.	-25,991m	0,039m		
		Dist.	14431,621m	0,012m		
MRN	CSA	Az.	153°02'28,1649"	0°00'00,5222"	1:695198	1:695198
		Δ Al.	-80,521m	0,209m		
		Dist.	21673,218m	0,031m		
MRN	ECD	Az.	203°42'32,5285"	0°00'00,1435"	1:613647	1:613647
		Δ Al.	-0,792m	0,073m		
		Dist.	30036,164m	0,049m		
MRN	MCZ	Az.	78°47'26,0361"	0°00'00,0416"	1:3800296	1:3800296
		Δ Al.	-106,801m	0,041m		
		Dist.	28913,965m	0,008m		
MRN	GVT	Az.	258°29'12,9072"	0°00'00,0351"	1:3483519	1:3483519
		Δ Al.	336,746m	0,118m		
		Dist.	49419,187m	0,014m		
MRN	VTR	Az.	267°54'52,2629"	0°00'00,0723"	1:2284912	1:2284912
		Δ Al.	35,133m	0,059m		

		Dist.	18593,745m	0,008m		
CSA	ECD	Az.	249°30'03,7888"	0°00'00,3963"	1:359050	1:359050
		ΔAl.	79,728m	0,213m		
		Dist.	23381,526m	0,065m		
CSA	SRN	Az.	194°17'34,8168"	0°00'00,3205"	1:1136294	1:1136294
		ΔAl.	19,085m	0,105m		
		Dist.	34529,613m	0,030m		
ECD	VTR	Az.	346°23'09,9981"	0°00'00,2735"	1:718485	1:718485
		ΔAl.	35,926m	0,078m		
		Dist.	27601,681m	0,038m		
MCZ	PTZ	Az.	210°53'53,6982"	0°00'00,1089"	1:2078715	1:2078715
		ΔAl.	3,890m	0,047m		
		Dist.	20304,455m	0,010m		
LMR	GLR	Az.	125°51'29,5751"	0°00'00,2533"	1:799054	1:799054
		ΔAl.	-1,259m	0,069m		
		Dist.	20726,586m	0,026m		
LMR	GVT	Az.	199°25'03,2386"	0°00'00,1735"	1:1744448	1:1744448
		ΔAl.	309,116m	0,125m		
		Dist.	37920,690m	0,022m		
LMR	VTR	Az.	147°02'46,8104"	0°00'00,2070"	1:1667224	1:1667224
		ΔAl.	7,503m	0,081m		
		Dist.	31701,093m	0,019m		
GLR	GVT	Az.	231°12'06,9971"	0°00'00,0845"	1:1767025	1:1767025
		ΔAl.	310,375m	0,130m		
		Dist.	37718,349m	0,021m		
GLR	VTR	Az.	178°12'45,1005"	0°00'00,3190"	1:1367576	1:1367576
		ΔAl.	8,762m	0,089m		
		Dist.	14466,336m	0,011m		
GVT	VTR	Az.	72°57'06,6314"	0°00'00,0480"	1:2308931	1:2308931
		ΔAl.	-301,613m	0,116m		
		Dist.	31225,468m	0,014m		

Tabela 3.16 – Termos de covariância. Fonte:TGO - Trimble Geomatic Office

A Tabela 3.17 a seguir descreve a transformação das coordenadas geodésicas para coordenadas UTM em SIRGAS2000 e essa transformação foi efetuada pelo programa TCGeo fornecido pelo IBGE.

RNs	Latitude (S)	Longitude (W)	N (m)	E (m)	Altitude elipsoidal – h – (m)
IGR	-7 50 02,92106	-34 54 22,24461	9133560,937	289819,008	15,075
PDL	-7 53 44,93349	-35 10 39,93716	9126592,883	259896,037	64,348
PLT	-7 56 25,85899	-34 52 47,76337	9121808,357	292766,845	7,621
SLM	-7 59 46,56140	-35 02 23,63953	9115557,866	275156,673	53,594
JBT	-8 06 30,49252	-34 59 38,13936	9103171,175	280286,394	23,771
MRN	-8 06 50,63850	-35 07 42,41786	9102476,820	265460,113	104,582
CSA	-8 17 19,41788	-35 02 21,33421	9083206,271	275390,443	24,061
ECD	-8 21 45,76145	-35 14 17,15843	9074903,074	253525,707	103,789
SRN	-8 35 28,54753	-35 07 00,12369	9049693,081	267038,708	43,146
MCZ	-8 03 47,38625	-34 52 16,09992	9108246,988	293798,428	-2,219
PTZ	-8 13 14,47371	-34 57 56,76776	9090773,390	283450,940	1,67
LMR	-7 52 46,76454	-35 27 12,64736	9128211,775	229466,029	132,212
GLR	-7 59 21,87510	-35 18 04,11390	9116164,651	246343,391	130,953
GVT	-8 12 10,85130	-35 34 04,52539	9092353,396	217067,159	441,328
VTR	-8 07 12,53788	-35 17 49,37440	9101702,419	246876,245	139,715

Tabela 3.17 – Coordenadas UTM dos vértices ajustados Fonte: TCGeo

3.7 Cálculo do Geóide Local

O objetivo deste item será a modelagem dos dados adquiridos no levantamento GPS/Nivelamento para definir um modelo matemático que viabilize a determinação geoidal na região sem o uso do nivelamento geométrico, ou seja, através de levantamento de uma linha de base por GPS poder-se-á determinar por interpolação geométrica a altitude ortométrica do ponto usando as coordenadas tridimensionais das RNs, determinadas nessa pesquisa, e o modelo matemático.

3.7.1 Modelos Matemáticos

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, através da Coordenação de Geodésia - CGED, e a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP, geraram um Modelo de Ondulação Geoidal com uma resolução de 10' de arco e desenvolveram o Sistema de Interpolação de Ondulação Geoidal - MAPGEO2004. Através desse sistema, os usuários podem obter a ondulação

geoidal (N) em um ponto, e/ou conjunto de pontos, referida aos sistemas SIRGAS2000 e SAD69. No cálculo do Modelo de Ondulação Geoidal, com resolução de 10', utilizando a integral modificada de Stokes, através da técnica de transformada rápida de Fourier (FFT), foram utilizadas para o MAPGEO2004:

- Anomalias médias de Helmert em quadrículas de 10'x10' em áreas continentais, obtidas a partir de informações gravimétricas do IBGE, e de diversas instituições no Brasil e em países vizinhos;
- Anomalias ar-livre derivadas da altimetria por radar a bordo de satélite em áreas oceânicas, utilizando o modelo KMS99;
- Modelo Digital de Terreno (MDT) de 1'x1', desenvolvido pela EPUSP, obtido a partir da digitalização de cartas topográficas e, quando não disponíveis, utilizando o modelo GLOBE;
- Modelo de geopotencial EGM96 até grau e ordem 180.

O Modelo de Ondulação Geoidal foi corrigido do termo de ordem zero, $N_0 = -0,5$ metros, para compatibilização com o elipsóide GRS80, usado pelo SIRGAS2000.

O erro médio padrão associado ao modelo MAPGEO2004 foi de +/- 0,5 metros, determinado a partir das comparações de altitudes GPS com altitudes de referências de nível (altitudes obtidas através de nivelamento geométrico) do IBGE. Isso significa que no Brasil, poderão ocorrer erros maiores que 0,5 metros, em regiões onde existe carência de informações para subsidiar a elaboração do modelo, como por exemplo, a Região Amazônica (fonte MAPGEO-IBGE)FALTA REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.

Contudo, pode-se definir um modelo que melhor se ajuste as condições locais através do plano inclinado (KING, 1985):

$$N = AX + BY + C \quad (3.1)$$

Onde a ondulação geoidal para um determinado local é conhecida quando se conhece os parâmetros A, B e C. Sendo X e Y valores conhecidos, tal que:

N – ondulação geoidal

A, B e C – parâmetros definidores da equação

X - diferença entre a ordenada do ponto e a ordenada média da área:

$$X = N_1 - N_M \quad (3.2)$$

N_1 = Coordenadas em UTM ao Norte;

N_M = Média das coordenadas em UTM ao Leste;

Y - diferença entre a abscissa do ponto e a abscissa média da área:

$$Y = E - E_M \quad (3.3)$$

E = Coordenadas em UTM ao Leste;

E_M = Média das coordenadas em UTM ao Leste.

Estudaremos os modelos das equações (3.1), e como pode ser visto no ajustamento foi utilizado o método paramétrico com a seguinte equação:

$$AX = L \quad (3.4)$$

Cuja solução é dada por (GEMAEL, 1999):

$$X = N^{-1}U \quad (3.5)$$

Com

$$\begin{aligned} N &= A^T P A \\ U &= A^T P L \end{aligned} \quad (3.6)$$

3.7.2 Elementos Definidores para o Modelo

A Tabela 3.18 , com exceção das coordenadas UTM, foi extraída da Tabela 3.15, coordenadas ajustadas dos vértices que compõem a área estudada, e da Tabela 3.1, onde estão registradas as altitudes (Referência de Nível – RN). Esta Tabela mostra a ondulação geoidal determinada pela diferença entre a altitude elipsoidal determinada pelo GPS/Nivelamento e as RNs ocupadas.

RN	N (m)	E (m)	Alt. Elipsoidal (h) (m)	Alt. Ortométrica – H – (m)	$N^{OBS} = h - H$
IGR	9133560,937	289819,008	15,075	20,330	-5,255
PDL	9126592,883	259896,037	64,348	69,777	-5,429
PLT	9121808,357	292766,845	7,621	13,216	-5,595
SLM	9115557,866	275156,673	53,594	59,101	-5,507
JBT	9103171,175	280286,394	23,771	29,673	-5,902
MRN	9102476,820	265460,113	104,582	109,876	-5,294
CSA	9083206,271	275390,443	24,061	29,935	-5,874
ECD	9074903,074	253525,707	103,789	109,567	-5,778
SRN	9049693,081	267038,708	43,146	49,253	-6,107
MCZ	9108246,988	293798,428	-2,219	4,700	-6,919
PTZ	9090773,390	283450,940	1,670	7,648	-5,978
LMR	9128211,775	229466,029	132,212	137,819	-5,607
GLR	9116164,651	246343,391	130,953	136,366	-5,413
GVT	9092353,396	217067,159	441,328	447,182	-5,854
VTR	9101702,419	246876,245	139,715	145,463	-5,748

Tabela 3.18 – Coordenadas UTM e Altitudes

A Tabela 3.19 mostra a ondulação geoidal (N^{cal}) determinada através do programa MAPGEO fornecido pelo IBGE, este programa encontra-se no site www.ibge.com.br. Na última coluna verifica-se a diferença entre as ondulações geoidais observadas e a calculadas.

Vértice	N^{cal} (m)	N^{OBS} (m)	$N^{OBS} - N^{cal}$ (m)
IGR	-5,55	-5,255	0,295
PDL	-5,12	-5,429	0,131
PLT	-5,79	-5,595	-0,025
SLM	-5,60	-5,507	0,073

JBT	-5,90	-5,902	-0,312
MRN	-5,63	-5,294	0,306
CSA	-6,04	-5,874	-0,264
ECD	-5,88	-5,778	-0,158
SRN	-6,35	-6,107	-0,477
MCZ	-6,09	-6,919	-1,279
PTZ	-6,20	-5,978	-0,328
LMR	-4,67	-5,607	0,053
GLR	-5,12	-5,413	0,257
GVT	-5,31	-5,854	-0,174
VTR	-5,45	-5,748	-0,058

Tabela 3.19 – Ondulação Geoidal calculada com o MAPGEO2004

Desta Tabela tira-se a seguinte conclusão em valores absolutos:

Média da diferença = 0,279 m

Valor máximo da diferença= 1,279 m

Valor mínimo da diferença= 0,025 m

Observa-se que a diferença entre as ondulações geoidais observada (GPS) e calculadas (MAPGEO2004) teve valores bastante próximos, contudo o vértice Marco Zero (MCZ) mostrou uma discrepância maior - superior a 1 metro . Este fato chamou a atenção e após uma nova avaliação constata-se que a altitude ortométrica deste vértice não faz parte do sistema de referência do IBGE. Deste modo o vértice Marco Zero foi excluído do modelo matemático, ficando, porém para ser testado.

3.7.3 Formação das Matrizes dos coeficientes e observação

A matriz dos coeficientes é dada pelas coordenadas em UTM no Sistema e a ondulação geoidal calculada, veja Tabela 3.20 a seguir.

RN	$N - N_M = A[i,1]$	$E - E_M = A[i,2]$	$A[i,3]$	$N^{OBS} = L[i]$
IGR	30691,216	26780,17286	1	-5,255
PDL	23723,162	-3142,798143	1	-5,429
PLT	18938,636	29728,00986	1	-5,595
SLM	12688,145	12117,83786	1	-5,507
JBT	301,454	17247,55886	1	-5,902
MRN	-392,901	2421,277857	1	-5,294
CSA	-19663,450	12351,60786	1	-5,874
ECD	-27966,647	-9513,128143	1	-5,778
SRN	-53176,640	3999,872857	1	-6,107
PTZ	-12096,331	20412,10486	1	-5,978
LMR	25342,054	-33572,80614	1	-5,607
GLR	13294,930	-16695,44414	1	-5,413
GVT	-10516,325	-45971,67614	1	-5,854
VTR	-1167,302	246876,245	1	-5,748

Tabela 3.20 – Formação da matriz A e L

Cuja solução, através da equação 3.1 para o modelo foi:

$$A = 8,847454488732229e-006$$

$$B = -2,788156200827332e-007$$

$$C = -5,661975762351019$$

Tal que:

$$N = 8,847544e^{-6}X - 2,788156e^{-7}Y - 5,6619758$$

A Figura 3.6 mostra o comportamento da ondulação geoidal na área de teste.

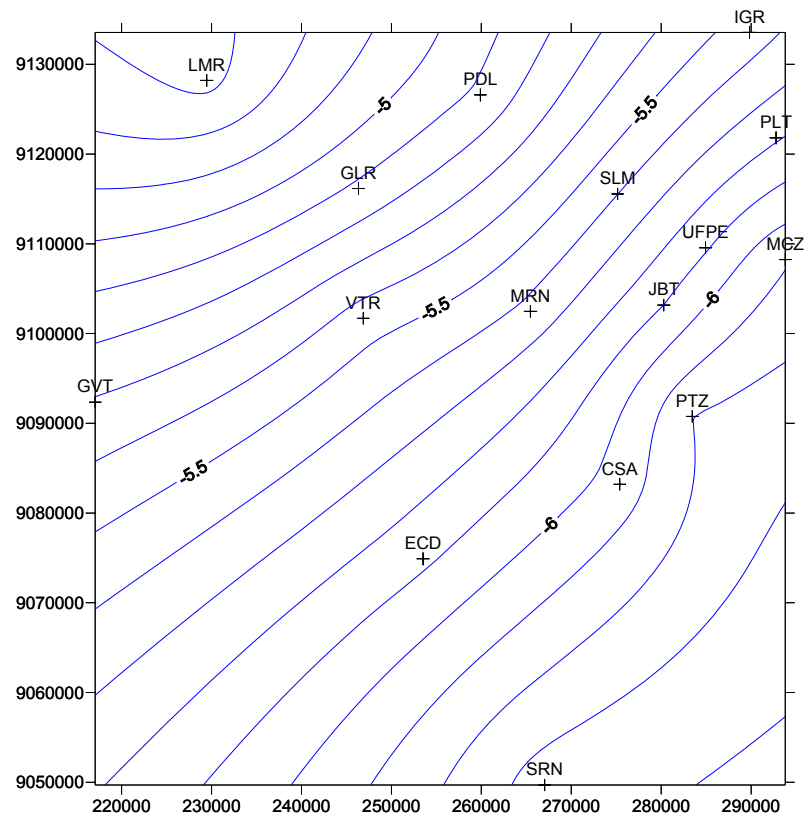


Figura 3.6 – Curvas Geoidais para N^{cal}

A Figura 3.7 mostra o comportamento da ondulação geoidal na área de teste, através de uma apresentação 3D.

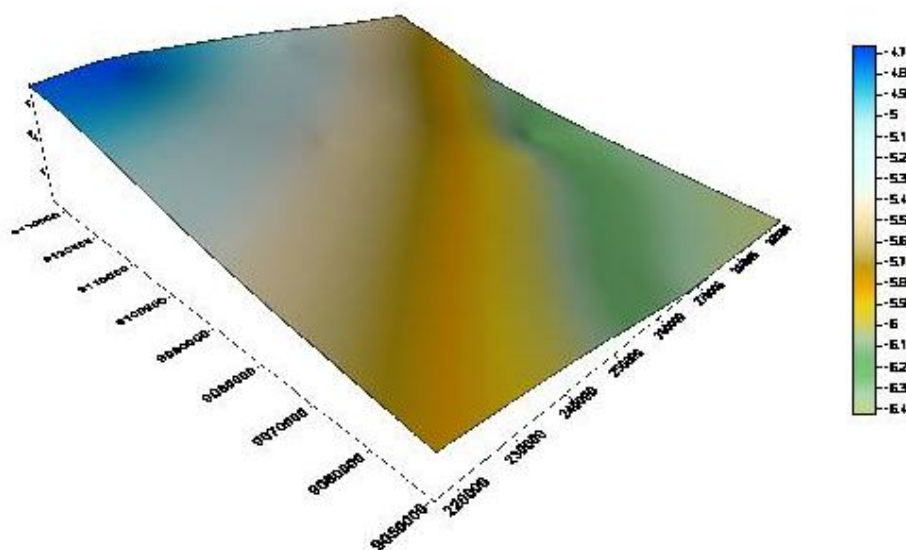


Figura 3.7 – Mapa 3D das curvas Geoidais para N calculado

4. DETERMINAÇÃO DO GEOIDE LOCAL POR MEIO DE MEDIÇÕES GRAVIMÉTRICAS

Este capítulo tem por objetivo determinar a Superfície Geoidal Local na área em questão através do levantamento dos dados gravimétricos a partir de medições com o gravímetro (cf. item 2.5.3.1), nas mesmas RNs já rastreadas com GPS, e analisar, comparativamente, com o geóide determinado por GPS/Nivelamento (capítulo 3), suas vantagens e desvantagens.

4.1 Planejamento

Todo o levantamento foi planejado para ser executado em quatro dias, tendo em vista que o primeiro momento do levantamento seria a transferência da base que se localiza em uma área hoje restrita a civis, no Aeroporto Internacional dos Guararapes, na cidade do Recife (PE). Trata-se de uma estação gravimétrica estabelecida pelo Observatório Nacional e está contida na Rede Nacional Gravimétrica, de valor de gravidade absoluta $9,7815125 \text{ m/s}^2$.

4.1.1 – Transporte da base de referência

A transferência da base foi feita para um ponto chamado Jaboatão dos Guararapes, localizado na Igreja Nossa Senhora do Perpetuo Socorro, na Rua Marechal Manoel Rabelo s/n, cidade de Jaboatão dos Guararapes (PE); com coordenadas $8^{\circ}06'30,49'' \text{ S}$ e $34^{\circ}59'38,14'' \text{ N}$.

A transferência foi obtida através 3 leituras da base principal (base Aeroporto) intercalada por duas leituras na Base Jaboatão com intervalos de leitura nunca superior a 0,2 mGal entre cada cobertura.

Este procedimento visa estabelecer uma diferença conhecida entre as duas bases de modo que seja possível se considerar a correção das estações do levantamento como se fosse na base do Aeroporto dos Guararapes.

4.1.2 Trabalho de Campo

Este item descreve como foi feito todo o levantamento dos pontos pertencentes ao conjunto de pontos RNs, a partir da experiência da transferência de base já mencionada no item anterior.

4.1.2.1 Estabelecimento de estações Gravimétricas

Para efeito da obtenção das estações gravimétricas foram estabelecidos 15 RNs já anteriormente visitados para execução do rastreo com GPS (cf. Capítulo 3). O levantamento foi dividido da seguinte forma: No primeiro dia foram executados os levantamentos nas RNs Cabo de Santo Agostinho(CSA), Pontezinha (PTZ), Sirinhaem(SRN), Escada(SCD); no segundo dia nas RNs Gravatá (GRT), Vitoria de Santo Antão (VTR), Moreno (MRN), Limoeiro (LMR), Gloria de Goita (GLR) (cf. item 3.3). No terceiro dia foram levantadas as RNs Paudalho (PDL), São Lourenço da Mata (SLM), Paulista (PLT), Igarassu (GRS), Marco Zero (MZ), sempre utilizando a base em Jaboatão dos Guararapes.

O rastreo foi feito sempre com a intenção de levantar os pontos que estivessem mais perto uns dos outros, diferentemente do levantamento com o GPS, na gravimetria não se fazia necessário o levantamento através quadrilátero. Ficando assim estabelecido da forma com já foi mencionada anteriormente.

A determinação dos valores da gravidade, em diferentes RNs da superfície a ser pesquisada, tem o objetivo de se obter o quadro de anomalias gravimétricas (MIRÓNOV, 1977).

Em cada ponto, mede-se a variação da força da gravidade com respeito a determinado ponto da região a investigar, o qual é denominado estação de referência (Jaboatão dos Guararapes - JBT), com o valor da força de gravidade conhecido. Portanto, o valor da gravidade de todas as RNs do levantamento gravimétrico é obtido somando-se algebricamente a variação de gravidade ao valor do ponto de referência (MIRÓNOV, 1977).

A densificação pode ser constituída de polígonos, que é o caso desta pesquisa, onde a estação inicial (JBT) foi reocupada ao final do trabalho. Esta estação inicial sempre foi a mesma devido a sua ligação com uma estação de ordem superior (Estação Aeroporto dos Guararapes). Contudo, foi observado no transporte da base que, por causa de muito trânsito nos trechos da cidade do Recife, pela distância nos trechos de Rodovia Federal e muita trepidação no transporte do equipamento; seria necessário ficar no máximo 4 (quatro) horas sem fazer um fechamento na base novamente, então para as três campanhas seguintes foi adotado o seguinte procedimento:

1 - Abria a base pela manhã, tomando todos os cuidados tais como verificação da sensibilidade e drift;

2 – Essa base era reocupada uma vez a mais que o orientado, para que fosse diminuída a probabilidade de perdas de dados por causa da deriva;

Após este cuidado neste trabalho, todos os dias foram aproveitados tendo em vista que a sensibilidade e o Drift ficaram em níveis aceitáveis e podem ser observados no anexo II.

Teste de Sensibilidade – Para o teste de sensibilidade utiliza-se o seguinte critério: Faz-se uma leitura da gravidade com o instrumento parado no valor em linha de leitura 1,8; após essa leitura, coloca-se a linha para o valor 2,8, e o valor da nova gravidade na leitura tem que corresponder a mesma diferença dada no instrumento, ou seja, 10.

Teste do Drift – O teste do drift é feito após as três leituras da gravidade, observando que a diferença na leitura tem que ser a mais próxima de zero possível, não variando mais do que 0,5 mGal, caso contrário o drift está com algum tipo de problema.

O retorno a estação inicial se justifica pela necessidade da determinação da correção da maré (diário) e drift instrumental, principal inconveniente dos

gravímetros. Mudanças no comportamento do sistema elástico fazem com que as leituras executadas na mesma estação, em horas diferentes, não coincidam, mesmo quando depuradas de efeitos conhecidos, tais como a força de maré e a deriva, e uma vez que esta deriva instrumental se dê fora do indicado pelo instrumento o levantamento feito naquele dia não poderá ser utilizado.

Não obstante a sua natureza instrumental, a deriva é influenciada por fatores externos como variação de temperatura, trepidação durante o transporte, dentre outros.

4.2 Determinação da correção do ar-livre através do Geosoft

A determinação da correção do ar-livre é realizada a partir do software Geosoft, onde após a finalização de todas as campanhas com todas as RNs levantadas, deu-se início ao processamento onde foi seguido uma sequência de cálculos descrita em 5 passos a seguir:

1- Cálculo da gravidade teórica no ponto para onde foi feita a transferência de base;

gravidade teorica 1967	radiano	°	'	"	latitude em graus	latitude média
978134,49519132300000	0,141468632	8	6	20	8,105555556	8,105555556

Tabela 4.1: Gravidade no ponto para o qual foi transferida a base. Fonte: Geosoft

2- Cálculo da correção de ar-livre para o ponto de transferência;

dt=2008/05/09 gm=-3.0 sf=G994.csv op=inm in=G-994							
Estação	Longitude	Latitude	Hora	Leitura	Altura inicial	Altura Ortometrica	Data
90001	*	*	09:19	1.794.017	0.0	*	9/5/2008
1	-355846	-80620	10:40	1.802.503		29.67	9/5/2008
90001	*	*	11:26	1.793.895		*	9/5/2008
2	-355846	-80620	12:43	1.802.401		29.67	9/5/2008
90001	*	*	13:50	1.793.794		*	9/5/2008

Tabela 4.2 – Dados gravimétricos da transferência de base. Fonte: Geosoft

3- Este terceiro passo exige os seguintes procedimentos:

- Prepara-se uma tabela fazendo a média das leituras observadas por RN (são sempre três leituras por RN), obtendo assim, a leitura da gravidade naquela RN;
- Adquirir as coordenadas das RNs que são as mesmas fornecidas pelo IBGE daqueles RNs;
- Leitura dos horários das medições gravimétricas;
- Por fim, prepara-se um arquivo em .txt, como é visto a seguir na Tabela 4.3;

dt=2008/09/16 gm=-3.0 sf=G994.csv op=inm in=G994							
Estação	Longitude	Latitude	Hora	Leitura	Altitude inicial	Altitude Ortométrica	Data
90001	-34°58'46"	-8°06'20"	09:35	1.802.523	0.0	*	17/6/2008
1	-34°58'05"	-8°13'10"	10:24	1.794.730	0.0	7.73	17/6/2008
90001	-34°58'46"	-8°06'20"	11:01	1.802.524	0.0	*	17/6/2008
2	-35°02'09"	-8°17'23"	11:53	1.800.827	0.0	30.09	17/6/2008
3	-35°06'57"	-8°35'22"	14:15	1.823.596	0.0	49.50	17/6/2008
4	-35°14'01"	-8°21'52"	15:30	1.773.954	0.0	109.56	17/6/2008
90001	-34°58'46"	-8°06'20"	16:46	1.802.765	0.0	*	17/6/2008
90001	-34°58'46"	-8°06'20"	08:03	1.802.586	0.0	*	18/6/2008
5	-35°10'36"	-7°53'52"	09:10	1.772.073	0.0	69.85	18/6/2008
6	-35°02'26"	-8°00'25"	09:49	1.786.071	0.0	59.04	18/6/2008
90001	-34°58'46"	-8°06'20"	11:44	1.802.503	0.0	*	18/6/2008
7	-34°54'16"	-7°49'55"	13:44	1.804.308	0.0	19.97	18/6/2008
8	-34°52'49"	-7°56'30"	14:23	1.805.164	0.0	14.16	18/6/2008
9	-34°52'58"	-8°04'21"	15:10	1.804.267	0.0	4.7	18/6/2008
90001	-34°58'46"	-8°06'20"	16:25	1.802.666	0.0	*	18/6/2008
90001	-34°58'46"	-8°06'20"	08:20	1.802.968	0.0	*	25/8/2008
10	-35°34'00"	-8°12'00"	09:49	1.667.731	0.0	447.52	25/8/2008
11	-35°17'41"	-8°07'13"	10:45	1.746.411	0.0	145.79	25/8/2008
12	-35°07'41"	-8°06'46"	11:25	1.768.995	0.0	109.95	25/8/2008
90001	-34°58'46"	-8°06'20"	12:05	1.803.150	0.0	*	25/8/2008
13	-35°27'11"	-7°52'45"	13:51	1.737.632	0.0	138.27	25/8/2008
14	-35°17'41"	-7°55'46"	14:47	1.750.348	0.0	136.37	25/8/2008
90001	-34°58'46"	-8°06'20"	15:18	1.803.003	0.0	*	25/8/2008

Tabela 4.3 – Dados gravimétricos dos pontos levantados. Fonte: Geosoft

4- Prepara-se um arquivo também em .txt com a localização das RNs rastreadas a partir da base (JBT);

5- Cálculo da correção do ar-livre;

A Tabela 4.4 a seguir descreve a correção de ar-livre que foi feita para todas as RNs a partir da transferência de Base (cf. item 4.1.1), que foi no valor de -15944 mGal.

Dia	Nomes dos Pontos	Ar- Livre (mGal)	Resultado Ar-livre corrigido (mGal)
17/6/2008	Jaboatão	9.231	-6.713
17/6/2008	Pontezinha	-8.439	-24.383
17/6/2008	Jaboatão	9.231	-6.713
17/6/2008	Cabo Santo Agostinho	2.925	-13.019
17/6/2008	Sirinhaem	24.503	8.559
17/6/2008	Escada	-2.037	-17.981
17/6/2008	Jaboatão	9.231	-6.713
18/6/2008	Jaboatão	9.231	-6.713
18/6/2008	Paudalho	-4.485	-20.429
18/6/2008	São Lourenço	3.853	-12.091
18/6/2008	Jaboatão	9.231	-6.713
18/6/2008	Igarassu	14.922	-1.022
18/6/2008	Paulista	11.347	-4.597
18/6/2008	Marco Zero	4.286	-11.658
18/6/2008	Jaboatão	9.231	-6.713
19/6/2008	Jaboatão	9.231	-6.713
19/6/2008	Gravata	-3.381	-19.325
19/6/2008	Vitoria	-13.624	-29.568
19/6/2008	Moreno	-1.279	-17.223
19/6/2008	Jaboatão	9.231	-6.713
19/6/2008	Limoeiro	-18.853	-34.797
19/6/2008	Gloria do Goita	-7.573	-23.517
19/6/2008	Jaboatão	9.231	-6.713

Tabela 4.4 – Dados da correção de ar-livre. Fonte: Dados retirados do Geosoft

4.3 DETERMINAÇÃO DO GEÓIDE LOCAL

Este item descreve como foi feito o processamento para a determinação do geóide local.

4.3.1 Modelo Digital do Terreno

O modelo digital de elevação empregado para o cálculo da correção do terreno bem como do efeito indireto é o Modelo Digital de Terreno (MDT) gerado com base nos dados da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com dados disponibilizados pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e *United States Geological Survey* (USGS). Este modelo fornece pontos com altitudes médias a cada 90 m e compreende toda a área de estudo disponível em <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>.

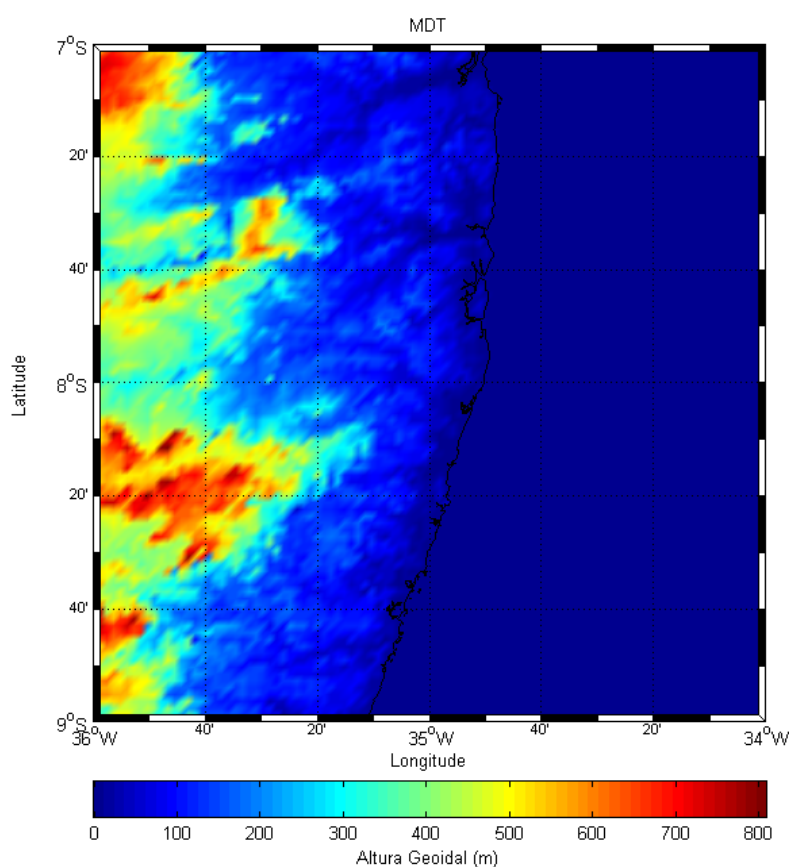


Figura 4.1 - Modelo digital do terreno. Fonte: SURFER com os dados gravimétricos

4.3.2 Cálculos e comparações entre os modelos MAPGEO 2004 e o EGM2008 com os valores observados

Na Tabela 4.5 a seguir pode ser observado a média, rms e os valores máximos e mínimos calculados pelo EGM 2008.

Symbol	Net WTS - B (Change 2009)	Net WTS - S (Change 2009)	B (CZ)	S (PAR C2: G)	B (CZ 2009)	B (CZ) - S (PAR C2: G)	B (CZ) - S (CZ 2009)
IGR	-7,834144739	-34,906179058	-4,958	-5,55	-5,55	0,592	0,740
PDL	-7,895814858	-35,17760322	-5,505	-5,12	-5,55	-0,385	0,048
PLT	-7,940516386	-34,829334269	-5,538	-5,79	-5,90	-0,748	-0,534
SLM	-7,99267056	-35,08989369	-5,445	-5,60	-5,77	0,154	0,328
JBT	-8,108470144	-34,993927600	-5,902	-5,90	-6,16	-0,002	0,258
MFRN	-8,114066250	-35,129449405	-5,368	-5,63	-5,90	0,262	0,531
CSA	-8,288272189	-35,089259508	-6,091	-6,04	-6,40	0,008	0,377
ECD	-8,362711514	-35,238099564	-5,775	-5,88	-6,16	0,105	0,388
SFRN	-8,591263203	-35,116701025	-6,356	-6,35	-6,49	-0,005	0,138
MCZ	-8,663162947	-34,821138967	-5,919	-6,09	-6,29	-0,829	-0,631
PTZ	-8,720632142	-34,965768322	-6,059	-6,20	-6,49	0,141	0,434
LMR	-7,879656817	-35,453513156	-6,054	-6,57	-5,51	-1,394	-0,544
GLR	-7,989408750	-35,301142750	-5,413	-5,12	-5,82	-0,293	0,404
GVT	-8,203014250	-35,567923719	-6,190	-5,31	-5,89	-0,880	-0,295
VTR	-8,120449411	-35,297049444	-6,076	-5,45	-5,89	-0,626	-0,185
					net diff	-8,26	8,82
					total	8,58	8,44
					net diff (net)	8,552	8,740
					net volume	-4,384	-8,55

Tabela 4.5 – Valores máximos e mínimos encontrados pelo MAPGEO 2004 e Egm2008.

4.3.3 Interpolação dos Valores das Anomalias da Gravidade

As anomalias da gravidade ar-livre utilizadas para o cálculo do geóide foram geradas através das anomalias da gravidade de Bouguer interpoladas para toda a área de interesse a partir dos 15 RNs observadas em campo.

A recomposição das anomalias ar-livre oriundas das anomalias Bouguer foi feita através da seguinte equação empregando-se o MDT:

$$\Delta g_{AL} = \Delta g_B + 0,1119 H_{MDT}. \quad (4.1)$$

Onde: H é a altitude de cada ponto da malha, neste caso, emprega-se o MDT (Modelo Digital do Terreno) gerado em 4.3.1.

4.3.4 Modelo Global do Geopotencial (MGG)

O modelo MGG empregado para modelar os longos comprimentos de ondas do geóide foi o EGM2008 (PAVLIS *et al.*, 2008) desenvolvido até o grau e ordem 2190 dos coeficientes harmônicos esféricos do geopotencial. Os dados foram calculados no sítio do ICGEM (*International Centre for Global Earth Models*) através do seguinte endereço: <http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/ICGEM.html>. O interessante deste sítio é que é possível calcular os elementos do campo da gravidade em qualquer sistema de referência, em qualquer sistema de maré bem como em diversos graus e ordem do desenvolvimento em harmônicos esféricos. Todos os cálculos foram efetuados no sistema *tide-free*, para maiores detalhes neste assunto consultar (FREITAS *et al.*, 2007).

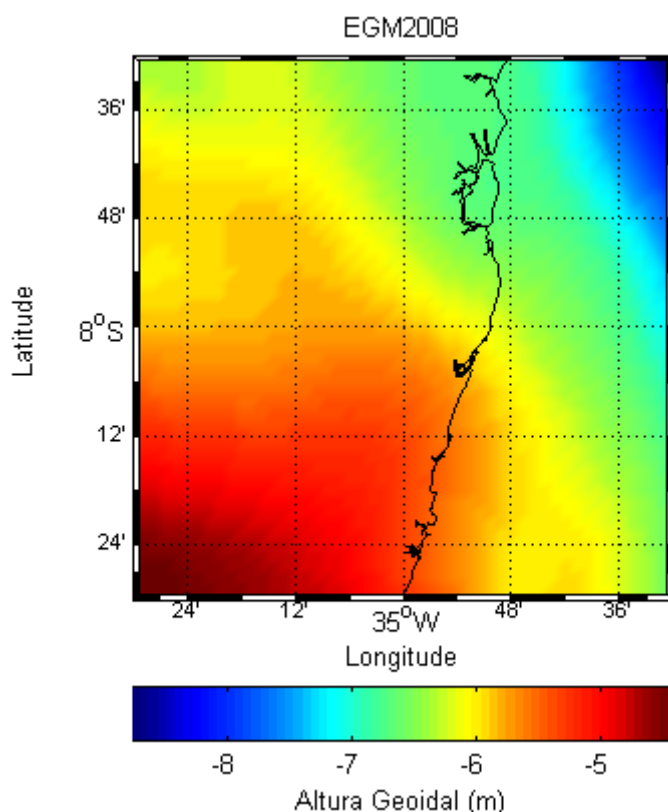


Figura 4.2 - Ondulação geoidal do EGM2008. Fonte: SURFER

4.3.5 A Técnica *Remove-Restore*

O uso da equação (Stokes) requer anomalias da gravidade em toda a superfície da Terra para o cálculo de uma simples altitude geoidal. Na prática, isto é irrealizável.

O cálculo das altitudes geoidais com o intuito da determinação de um geóide local é realizado combinando-se informações do MGG, ou seja, das informações dos longos comprimentos de ondas. Esta técnica é amplamente empregada no cálculo dos modelos geoidais.

O estágio da remoção (*remove*) se dá da seguinte forma:

$$\Delta g_{res} = \Delta g_{AL} - \Delta g_{MGG} - \Delta g_{MDT} \quad (4.2)$$

Onde: Δg_{AL} anomalia ar-livre; Δg_{MGG} a contribuição do modelo geopotencial e Δg_{MDT} a contribuição do relevo.

Na prática, utiliza-se a equação (4.3)

$$\Delta g_{res} = \Delta g_{FA} + \epsilon - \Delta g_{MGG} \quad (4.3)$$

A etapa da restauração (*restore*) é feita por:

$$N = N_{MGG} + N_{\Delta g} + N_{MDT} \quad (4.4)$$

Em que N_{MGG} representa a altitude geoidal proveniente do Modelo Global da Gravidade, ou seja, dos longos comprimentos de onda; $N_{\Delta g}$ calculado através da equação de Stokes, aplicando-se as anomalias residuais da gravidade conforme equação (4.4); a parcela N_{MDT} é o efeito indireto é determinada pelo método da condensação de Helmert. Na Figura 4.3 pode-se visualizar o espectro das altitudes geoidais como uma composição dos longos, médio e curtos comprimentos de ondas.

Onde os Longos comprimentos de ondas são gerados a partir do EGM2008 o Modelo Global do Geopotencial (MGG); os Médios comprimentos de ondas são gerados através das anomalias da gravidade de Bouguer interpoladas para toda a área em estudo; e por fim os curtos comprimentos de ondas são representados pelo modelo digital de elevação do terreno empregado para cálculo da correção do terreno bem como do efeito indireto conhecido como MDT – Modelo Digital do Terreno.

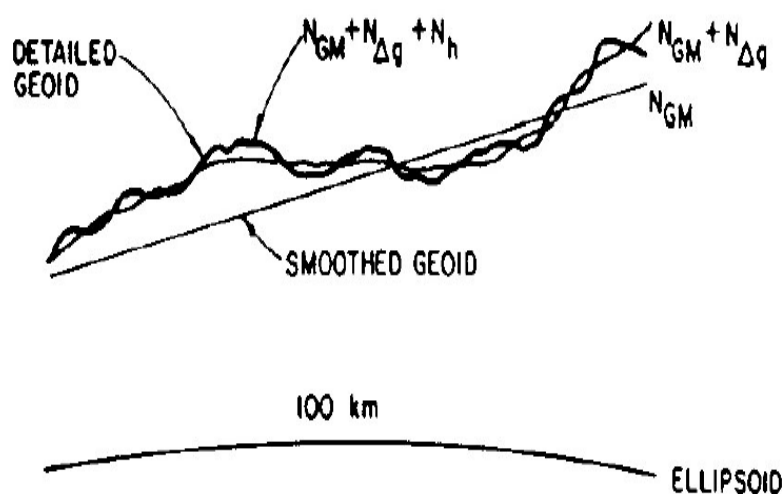


Figura 4.3 - Decomposição espectral da altitude geoidal. Fonte: SIDERIS (2008).

O geóide gravimétrico para a região de estudo está compreendido entre as latitudes $-8,5^{\circ}\text{S}$ e $-7,5^{\circ}\text{S}$ e longitudes $-35,5^{\circ}\text{W}$ e $34,5^{\circ}\text{W}$ conforme Figura 4.4.

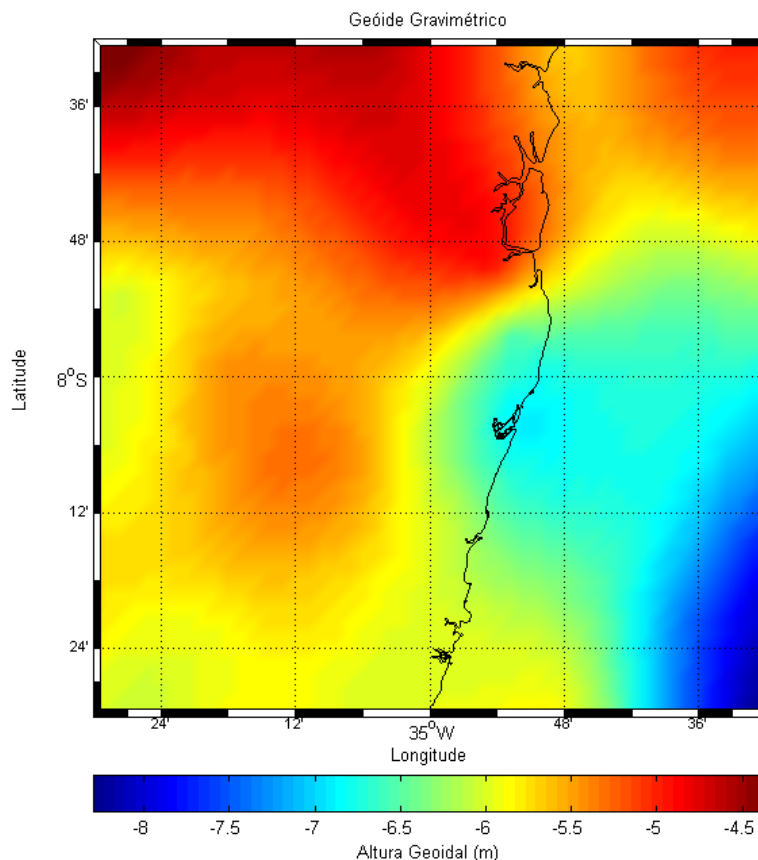


Figura 4.4 - Geóide gravimétrico para a região de Recife, PE. Fonte: SURFER

Devido ao fato de terem sido adquirido poucas observações para o cálculo do primeiro geóide gravimétrico da região, 15 RNs, foi possível a sua avaliação apenas com 4 pontos de controle, sendo eles: VTR (Vitória de Santo Antão), SLM (São Lourenço da Mata), JBT (Jaboatão dos Guararapes) e CSA (Cabo da Santo Agostinho). Os resultados para estes pontos estão apresentados nas Tabelas 4.6 e 4.7.

Ponto	Latitude	Longitude	N (GPS) (m)	Diferença entre as Ondulações GEOIDAIAS COM GPS/NIVELAMENTO E Gravímetro (m)
SLM	-7.996267056	-35.039899869	-5.446	0.304
JBT	-8.108470144	-34.993927600	-5.902	0.233
CSA	-8.288727189	-35.039259503	-6.031	-0.124
VTR	-8.120149411	-35.297048444	-6.076	-0.612

Tabela 4.6 - Resíduos para os pontos de controle

Número de pontos	4
Soma	-0.199
Mínimo	-0.612
Máximo	0.304
Média	-0.050

Tabela 4.7 - Avaliação dos resíduos do geóide gravimétrico

Uma análise comparativa dos geóides locais determinados por meio sw GPS/Nivelamento (capítulo 3) e medições gravimétricas (capítulo 4) da rede geodésica experimental será descrita no capítulo 5 a seguir.

5. ANÁLISE COMPARATIVA DOS GEOIDES LOCAIS DA REDE GEODÉSICA EXPERIMENTAL

Este trabalho mostra uma possibilidade de determinar através de uma metodologia, que a utilização do GPS/NIVELAMENTO, poderia através do seu alto nível de precisão proporcionar para a região em estudo a construção de um mapa da ondulação geoidal, levando assim o conhecimento da altitude ortométrica. Já que tal região não possui uma rede gravimétrica densificada, ou melhor, a rede gravimétrica é inexistente.

Para tal determinação se lançou mão de uma equação do primeiro grau, que através do matlab foi determinado os coeficientes desta equação, como mostramos a seguir:

$$N = 8,847544e^{-6}x - 2,788156e^{-7}y - 5,6619758$$

Esta equação é de grande valia para a Engenharia como um geral, principalmente para a civil, nos projetos que envolvem água, estrada, dentre outros.

Os dados que foram obtidos através do levantamento por GPS, tiveram uma aproximação muito boa em relação ao levantamento realizado com gravímetro, da ordem de 0,32 metros em média para os pontos de controle e de 0,419 metros em média para todos os pontos, tendo em vista os tipos de levantamentos realizados nos dois métodos e os equipamentos disponíveis na realidade de nossa região são resultados muito satisfatórios, pois um levantamento realizado com o equipamentos geodésico, nos permite um levantamento mais rápido e menos oneroso no que diz respeito a aquisição do equipamento, e qualificação de mão de obra.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES

Conclui-se desta pesquisa que podemos sim, executar uma metodologia de trabalho para determinação da Ondulação Geoidal utilizando o GPS/NIVELAMENTO, tendo em vista que os resultados obtidos através do geóide GPS apresentaram valores muito próximos daqueles obtidos pelo geóide gravimétrico (Geóide Padrão), na ordem de 0,50 m, o que nos leva a propor a utilização do geóide GPS sem prejuízo para qualidade dos dados. Da decisão da utilização de um ou outro geóide, em áreas providas de dados gravimétricos condiciona a análise de parâmetros operacionais. (custo, agilidade e equipe técnica).

O emprego do método gravimétrico nos trouxe a possibilidade de observar após todo o processo com o método do GPS/NIVELAMENTO, que a diferença variável entre os dois, nos permite uma confiança de poder trabalhar sabendo que estamos muito próximo do ideal.

Após a geração do modelo matemático foi visto que através de interpolação de qualquer ponto na área estudada, pode ser determinado o Geóide com a mesma precisão observada nos pontos de controle (RNs).

Por fim podemos concluir que a pesquisa atingiu seu objetivo principal, determinando um modelo geoidal local para a região estudada, trazendo consigo um questionamento sobre o porquê que tantos trabalhos que dependem de tais informações ainda são realizados sem nenhum critério e se abstendo das mesmas.

6.2 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que para resultados ainda melhores no que diz respeito a ondulação geoidal através do GPS, faz-se necessário uma densificação de pontos na área em estudo, pois quanto maior esta for, melhor será o resultado no cálculo desta ondulação.

Muito embora este geóide tenha tido um resultado, quando comparado com o MAPGEO2004, por exemplo, recomenda-se o cálculo do mesmo empregando-se um numero maior de pontos visando melhorar o seu resultado em áreas aonde não há informações da gravidade.

Com uma maior densificação de pontos na área ou em outra área, existe a possibilidade também da utilização de uma equação não mais quadrática e sim uma biquadrada, trazendo uma melhoria nos resultados.

Uma sobreposição dos mapas gerados a partir do MAPGEO2004, EGM2008 e da gravimetria, realizando assim uma análise também em relação aos mapas gerados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

BLITZKOW, D.; CAMPOS, I. O.; FREITAS, S. R. C. **Altitude: O que interessa e como Equacionar**. Anais do I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação. DECart/UFPE – Recife, 1 a 3 de setembro de 2004.

CERQUEIRA, J. A. C. **Definição De Uma Superfície Geoidal Local Através De Posicionamento por Gps**. Recife, 2006.

FREITAS, S. R. C.; FERREIRA, V. G.; PALMEIRO, A. S.; DALAZOANA, R.; LUZ, R. T.; FAGGION, P. L. **Modelagem do potencial anômalo no Datum Vertical Brasileiro visando sua nova definição**. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba, v. 13, n. 2, p. 395-419, 2007. Também disponível em: <<http://www.ser.ufpr.br/bcg>>.

GALDINO, C. A. P. M. **Determinação de Desníveis por GPS para Aplicações em Engenharia Através da Definição dos Parâmetros de um Geóide Local**. Tese de Dissertação. Recife, 1996.

GEMAEL, C. **Introdução à Geodésia Física**. Curitiba: Editora UFPR, 1999.

IBGE/ EPUSP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. **MAPGEO2004**.

KING, R. W. **Surveying with Global Positioning System – GPS, Bonn, 128 p. 1985**.

MIRONOV, V. S. **Curso de prospección gravimétrica**. Traduzido do russo por GISBERT, M. Barcelona: Editorial Reverte, 1977. 524p.

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

MOTTA, J. A. 1986 – **Reconhecimento geofísico e sedimentológico da região de Cajá – santa Rita (PB)**. Dissertação de Mestrado.

KHAN, M. A. 1980: **Geologia Global**. Madial Paramunjo.

PAVLIS, N. K., S. A. HOLMES, S. C. KENYON, J. K. FACTOR. **An earth gravitational model to degree 2160: EGM2008**. In: 2008 General assembly of the European Geosciences Union, April 13-18, 2008, Viena. Disponível em: <<http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/index.html>>.

SANTOS, A. A. **Geodésia Elementar: Principio de Posicionamento Global (GPS)**. Recife; Editora Universitária. 2001.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy (Foundations, Methods, and Applications)**. Berlin – New York: de Gruyter, 2 ed., 2003.

SIDERIS, M G, SHE, B B (1995), **A new, high-resolution geoid for Canada and part of the U. S. by the 1D-FFT method**. Bull Géod 69: 92-108

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

SILVA, A. J. P. DA.; O uso do GPS nas Medições Geodésicas de Curta Distância, Curitiba, 1990. 108 p. Dissertação de Mestrado. UFPR.

SINGRE. Sistema de Informações para Gestão Territorial da Região Metropolitana do Recife – Projeto. **Levantamento Gravimétrico da Área Sedimentar da Região Metropolitana do Recife**. Roberto Gusmão de Oliveira – Recife: CPRM/FIDEM, 1994. 38p.: il. (Série Cartografia Temática, 2)

TEIXEIRA, N. N. (2001): **Deteção e Análise de Deslocamento Vertical Utilizando o Sistema NAVSTAR-GPS**. Dissertação de Mestrado, curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 112 p.

TORGE, W. **Geodesy**. Berlin – de Gruyter, 3 ed., 2001.

TSUOI, C. **Gravity**. George Allen and Unwin, London 1983

VANICEK, P.; KRAKIWSKY, E. J. **Geodesy: The Concepts**. Amsterdam, New York: North Holland Publishing Company, 1982, 691 p.

Listagem dos sites utilizados:

<http://www.ibge.com.br>.

<http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>.

<http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/ICGEM.html>.

<http://www.sbgf.org.br/geofisica/geofisica.html>

<http://www.cprm.gov.br/geo/pgb/proj/sertania.htm>

<http://www.cprm.gov.br/recife/gravimetrico/apresentacao.pdf>

http://www.cprm.gov.br/recife/gravimetrico/int_dados.pdf

<http://www.cprm.gov.br/recife/gravimetrico/trabexcutados.pdf>

<http://www.scielo.br/scielo>

<http://www.laerciobfonseca.com.br/artigos/carmaplanetario.htm>

ANEXOS

ANEXO 1
– LEVANTAMENTO –
CADERNETAS DE CAMPO

LOCALIDADE: Paudalho

DATA: 21/07/2007

NOME DO OPERADOR: Priscila Antão

IDENTIFICAÇÃO DO PONTO: PDL

ALTURA DA ANTENA- INICIAL: 1492 mm

FINAL: 1492 mm

HORÁRIO DA OBSERVAÇÃO- INÍCIO: 08h30min

FIM: 14h00min

NIVELAMENTO GEOMÉTRICO: LEITURA A RÉ: 1457 mm

LEITURA A VANTE: 1533 mm

DISTÂNCIA: 4880 mm

LOCALIZAÇÃO: Chapa cravada a direita da porta principal da Igreja Matriz.

CROQUI:



LOCALIDADE: Limoeiro – 1 dia

DATA: 27/07/2007

NOME DO OPERADOR: Michael Antão

IDENTIFICAÇÃO DO PONTO: LMR

ALTURA DA ANTENA- INICIAL: 1756 mm

FINAL: 1756 mm

HORÁRIO DA OBSERVAÇÃO- INÍCIO: 14h30min

FIM: 15h30min

NIVELAMENTO GEOMÉTRICO: LEITURA A RÉ: 1498 mm

LEITURA A VANTE: 1945 mm

DISTÂNCIA: 8360 mm

LOCALIZAÇÃO: Chapa cravada no lado direito da porta principal da Igreja Matriz.

CROQUI



LOCALIDADE: Moreno

DATA: 28/07/2007

NOME DO OPERADOR: Priscila Antão

IDENTIFICAÇÃO DO PONTO: MRN

ALTURA DA ANTENA- INICIAL: 1641 mm

FINAL: 1641 mm

HORÁRIO DA OBSERVAÇÃO- INÍCIO: 15h43min

FIM: 16h31min

NIVELAMENTO GEOMÉTRICO: LEITURA A RÉ: 1307 mm

LEITURA A VANTE: 1381 mm

DISTÂNCIA: 13730 mm

LOCALIZAÇÃO: Chapa cravada na base do mastro da bandeira do posto da policia Rodoviária Federal;
200m aquém do entroncamento para Moreno.

CROQUI



LOCALIDADE: São Lourenço

DATA: 28/07/2007

NOME DO OPERADOR: Janaina Barkokebas Alves

IDENTIFICAÇÃO DO PONTO: SLM

ALTURA DA ANTENA- INICIAL: 1410; 1418; 1412 – Média: 1413

FINAL: 1410; 1418; 1412 – Média: 1413

HORÁRIO DA OBSERVAÇÃO- INÍCIO: 08h50min

FIM: 17h25min

LOCALIZAÇÃO: Chapa cravada ao lado direito da porta principal da Igreja Matriz.
CROQUI



ANEXO II
– LEVANTAMENTOS GRAVIMÉTRICOS –
CADERNETAS DE CAMPO

FLS 01 DE 05

81

FLS 02 DE 05

[illegible]

FLS 03 DE 05

[illegible]

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

LABORATORIO DE GEOFISICA APLICADA - LGA

GRAVIEMTRIA - CADERNETA DE OBSERVAÇÕES

FLS 04 DE 05

DENOMINAÇÃO DA LINHA

NOME

J

A

B

O

A

T

A

O

E

R

O

P

O

R

T

O

DENOMINAÇÕES DA ESTAÇÃO

NOME

J

A

B

O

A

T

A

O

GRAVIM

No.

G

9

9

4

-

4

7

GRAVIDADE

INICIAL

FINAL

LEITURAS

1

2

3

1

8

0

2

4

0

0

1

8

0

2

4

0

2

1

8

0

2

4

0

2

DATA E HORA

ANO

M

D

H

M

2

0

0

8

0

5

0

9

1

2

4

3

USO DO TRIPE

SIM

NAO

X

GRAVIMETRIC

TEMP TRAVA

57.5

SIM

PROJETO

OBSERVADOR

DADOS COMPLEMENTARES

DISSERTAÇÃO DE MICHAEL

PROF. JOAQUIM

DESCRIÇÃO

Bateria - 12,7 V

Hora da segunda Leitura - 12h 44 min 10 seg

Hora da terceira Leitura - 12h 45 min 05 seg

Média das Leituras - 1802401

[illegible]

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
LABORATÓRIO DE GEOFÍSICA APLICADA - LGA
GRAVIMETRIA - CADERNETA DE OBSERVAÇÕES

FLS 01 DE 07

DENOMINAÇÃO DA LINHA										GRAVIM		GRAVIDADE			
NOME										No.		INICIAL			
B A S E - J A B O A T A O										G 9 9 4 - 4 7		F I N A L			
DENOMINAÇÕES DA ESTAÇÃO										No.					
NOME															
J A B O A T A O										1		2			
										1 8 0 2 5 2 2 1 8 0 2 5 2 4 1 8 0 2 5 2 3		3			
TIPO GPS										SISTEMA		ARQUIVO		PONTO	
GRAVIMETRO										TEMP		TRAÇA			
										57.4					
USO DO TRIPE										SIM		NAO			
												X			
PROJETO										OBSERVADOR		DADOS COMPLEMENTARES			
										MICHAEL		DISSERTAÇÃO DE MICHAEL			
CROQUI												DESCRIÇÃO			
												MEDIA - 1802523			
												SENSIBILIDADE A ESQUERDA - 1.7			
												LIMITE A DIREITA - 2.5			
												SENSIBILIDADE DE 8 OU SEJA BAIXA.			

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

LABORATORIO DE GEOFISICA APLICADA - LGA

GRAVIEMTRIA - CADERNETA DE OBSERVAÇÕES

FLS 02 DE 07

DENOMINAÇÃO DA LINHA

NOME

J A B O A T A O - P O I N T E Z I N H A

P O I N T E N Z I N H A

DENOMINAÇÕES DA ESTAÇÃO

NOME

P O I N T E N Z I N H A

SISTEMA

ARQUIVO

PONTO

TIPO GPS

GRAVIMETRIC

TEMP TRAVA

57.5

SIM

USO DO TRIPE

SIM

NAO

X

DADOS COMPLEMENTARES

PROJETO

DISSERTAÇÃO DE MICHAEL

OBSERVADOR

MICHAEL

LEITURAS

1

2

3

1 7 9 4 7 3 1 1 7 9 4 7 3 0 1 7 9 4 7 2 9

DATA E HORA

ANO

M

D

H

M

2 0 0 8 0 6 1 7 1 0 2 4

GRAVIDADE

INICIAL

FINAL

GRAVIM

No.

G 9 9 4 - 4 7

1

4 7

DESCRİÇÃO

MEDIA - 1794730

BATERIA - 12.8

CROQUI

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
LABORATÓRIO DE GEOFÍSICA APLICADA - LGA
GRAVIMETRIA - CADERNETA DE OBSERVAÇÕES

FLS 03 DE 07

DENOMINAÇÃO DA LINHA										GRAVIM		GRAVIDADE			
NOME										No.		INICIAL			
P O N T E I Z I N H I A F J A B I O A T I A O										G 9 9 4 - 4 7		F I N A L			
DENOMINAÇÕES DA ESTAÇÃO										LEITURAS		DATA E HORA			
NOME										No.		ANO			
J A B I O A T I A O										1 8 0 2 5 2 5 1 8 0 2 5 2 4 1 8 0 2 5 2 3		M D H M			
TIPO GPS										SISTEMA		ARQUIVO		PONTO	
GRAVIMETRIA										TEMPO		57.5		SIM	
USO DO TRIPE										SIM		NAO		X	
PROJEITO										OBSERVADOR		DADOS COMPLEMENTARES		DISSERTAÇÃO DE MICHAEL	
MICHAEL															
CROQUI										DESCRIÇÃO					
MEDIA - 1802524															
DRIFT - 0.001 PARA INTERVALO DE A H E 30 MINUTOS															

[illegible]

[illegible]

[illegible]

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIENCIAS

LABORATORIO DE GEOFISICA APLICADA - LGA

GRAVIMETRIA - CADERNETA DE OBSERVAÇÕES

FLS 01 DE 08

DENOMINAÇÃO DA LINHA

B

A

S

E

-

J

A

B

O

A

I

A

T

O

GRAVIM

Nº.

G

9

9

4

-

4

7

GRAVIDADE

INICIAL

FINAL

DENOMINAÇÕES DA ESTAÇÃO

J

A

B

O

A

I

A

T

O

LEITURAS

1

2

3

1

1

8

0

1

2

5

8

7

1

1

8

0

1

2

5

8

4

DATA E HORA

ANO

M

D

H

M

2

0

0

8

0

6

1

8

0

8

0

3

GRAVIMETRIA

TEMP

TRAVA

57.5

SIM

USO DO TRIPE

SIM

NAO

X

DADOS COMPLEMENTARES

PROJETO

OBSERVADOR

DISSERTACAO DE MICHAEL

MICHAEL

CROQUI

BATERIA - 12.9

TESTE DE SENSIBILIDADE -

LEITURA A ESQUERDA - 1.8

LEITURA A DIREITA - 2.9

SENSIBILIDADE - 11

MEDIA - 1802586

[illegible]

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
LABORATÓRIO DE GEOFÍSICA APLICADA - LGA
GRAVIMETRIA - CADERNETA DE OBSERVAÇÕES

FLS 03 DE 08

DENOMINAÇÃO DA LINHA										GRAVIM		GRAVIDADE	
NOME										No		INICIAL	
P I A U D A L H O - S T A O L O U R E N Ç O										G 9 9 4 - 4 7			
DENOMINAÇÕES DA ESTAÇÃO										LEITURAS		DATA E HORA	
NOME										1		ANO	
S T A O L O U R E N Ç O										1 7 8 6 0 7 2 1 7 8 6 0 7 1 1 7 8 6 0 7 0		2 0 0 8 0 6 1 8 0 9 4 9	
TIPO GPS		SISTEMA		ARQUIVO		PONTO		USO DO TRIPE		PROJETO		DISSERTAÇÃO DE MICHAEL	
								SIM		NAO		MICHAEL	
								X		OBSERVADOR			
CROQUI										DESCRIÇÃO			
										BATERIA - 12.8			
										MEDIA - 1786071			

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIENCIAS
LABORATORIO DE GEOFISICA APLICADA - LGA
GRAVIMETRIA - CADERNETA DE OBSERVAÇÕES

DATA

LOCAL

INICIO

J

A

B

O

A

T

A

O

GRAVIM

No.

G

9

9

4

-

4

7

GRAVIDADE

INICIAL

FINAL

DENOMINAÇÃO DA LINHA

NOME

S

A

T

O

L

O

U

R

E

N

C

I

O

-

J

A

B

O

A

T

A

O

DENOMINAÇÕES DA ESTAÇÃO

NOME

B

A

T

S

E

J

A

B

O

A

T

A

O

LEITURAS

1

1

8

0

2

4

9

7

1

8

0

2

4

9

6

1

8

0

2

5

1

5

2

3

DATA E HORA

ANO

M

D

H

M

2

0

0

8

0

6

1

8

1

1

4

4

USO DO TRIPE

SIM

NAO

X

GRAVIMETRIA

TEMP. TRAVA

57.5

SIM

TIPO GPS

SISTEMA

ARQUIVO

PONTO

PROJEITO

OBSERVADOR

DADOS COMPLEMENTARES

DISSERTAÇÃO DE MICHAEL

MICHAEL

DESCRIÇÃO

BATERIA - 12.8

MEDIA - 1802503

CROQUI

FLS 04 DE 08

[illegible]

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
LABORATORIO DE GEOFISICA APLICADA - LGA
GRAVIMETRIA - CADERNETA DE OBSERVAÇÕES

FLS 06 DE 08

DENOMINAÇÃO DA LINHA										GRAVIM		GRAVIDADE	
NOME										No.		INICIAL	
I G A T R A I S U I - P I A U L I S T I A										G 1 9 1 4 - 4 7		F I N A L	
DENOMINAÇÕES DA ESTAÇÃO										LEITURAS		DATA E HORA	
NOME										No.		ANO	
P I A U L I S T I A										1 1 8 0 5 1 6 3 1 1 8 0 5 1 6 5 3		2 0 0 8 0 6 1 8 1 4 2 3	
TIPO GPS		SISTEMA		ARQUIVO		PONTO		USO DO TRIPE		PROJETO		DADOS COMPLEMENTARES	
								SIM		NAO		DISSERTAÇÃO DE MICHAEL	
								X		OBSERVADOR		MICHAEL	
								GRAVIMETRO					
								TEMP TRAVA					
								57.5		SIM			
CROQUI										DESCRIÇÃO			
										BATERIA - 12.6			
										MEDIA 1805164			

[illegible]

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIENCIAS
LABORATORIO DE GEOFISICA APLICADA - LGA
GRAVIEMETRIA - CADERNETA DE OBSERVAÇÕES

FLS 08 DE 08

DENOMINAÇÃO DA LINHA										GRAVIM		GRAVIDADE	
NOME										No.		INICIAL	
M A R C I O Z E R I O J A B O A T A O										G 9 9 4 1			
DENOMINAÇÕES DA ESTAÇÃO										LEITURAS		DATA E HORA	
NOME										No.		ANO	
B T A S I E J A B O A T A O										1 8 0 2 6 6 5 1 8 0 2 6 6 4 1 8 0 2 6 6 8		2 0 0 8 0 6 1 8 1 6 2 5	
TIPO GPS		SISTEMA		ARQUIVO		PONTO		USO DO TRIPE		PROJETO		DADOS COMPLEMENTARES	
								SIM NAO X		OBSERVADOR		MICHAEL	
CROQUI										DESCRIÇÃO			
										BATERIA - 12,5 MEDIA - 1802666 TESTE DE SENSIBILIDADE: LIMITE A ESQUERDA - 1,8 LIMITE A DIREITA - 2,6 SENSIBILIDADE: 8			

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS LABORATORIO DE GEOFISICA APLICADA - LGA GRAVIEMTRIA - CADERNETA DE OBSERVAÇÕES																									FLS 01 DE 08																				
DENOMINAÇÃO DA LINHA																				GRAVIM					GRAVIDADE																				
NOME																				No.					INICIAL					FINAL															
B	A	S	E	-	J	A	B	O	A	T	A	O									G	9	9	4	-	4	7																		
DENOMINAÇÕES DA ESTAÇÃO																				No.					LEITURAS					DATA E HORA															
NOME																									1					ANO															
J	A	B	O	A	T	A	O													1	8	0	2	9	6	7	1	8	0	2	9	7	0	2	0	0	8	0	8	2	5	0	8	2	0
TIPO GPS																				SISTEMA					ARQUIVO					PONTO					PROJETO					DISSERTAÇÃO DE MICHAEL					
																																			OBSERVADOR					MICHAEL					

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
LABORATORIO DE GEOFISICA APLICADA - LGA
GRAVIMETRIA - CADERNETA DE OBSERVAÇÕES

FLS 03 DE 08

DENOMINAÇÃO DA LINHA										GRAVIM		GRAVIDADE			
NOME										No.		INICIAL		FINAL	
GRAVATA - VITÓRIA										GT 9 9 4 - 4 7					
DENOMINAÇÕES DA ESTAÇÃO										LEITURAS		DATA E HORA			
NOME										No.		ANO		M D H M	
VITÓRIA										1 7 4 6 4 0 9 1 7 4 6 4 1 1 1 7 4 6 4 1 2		2 0 0 8 0 8 2 5 1 0 4 5			
TIPO GPS		SISTEMA		ARQUIVO		PONTO		USO DO TRIPE		PROJETO		DADOS COMPLEMENTARES			
								SIM NAO X		OBSERVADOR		DISSERTAÇÃO DE MICHAEL			
										MICHAEL					
CROQUI										GRAVIMETRO		DESCRİÇÃO			
										TEMH TRAVA		BATERIA - 12.8			
										57.5 SIM		MÉDIA - 1746411			

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
LABORATORIO DE GEOFISICA APLICADA - LGA
GRAVIEMETRIA - CADERNETA DE OBSERVAÇÕES

FLS 04 DE 08

DENOMINAÇÃO DA LINHA										GRAVIM		GRAVIDADE	
NOME										No.		INICIAL	
VILTOIRUA - MIOREINJO										G19941-417		FINAL	
DENOMINAÇÕES DA ESTAÇÃO										LEITURAS		DATA E HORA	
NOME										1		ANO	
MIOREINJO										11768995		20080825	
No.										2		M	
014										11768993		D	
TIPO GPS										USO DO TRIPE		H	
SISTEMA										SIM		M	
ARQUIVO										NAO			
PONTO										X			
GRAVIMETRO										DADOS COMPLEMENTARES			
TEMP TRAVA										PROJETO		DISSERTAÇÃO DE MICHAEL	
57.5										OBSERVADOR		MICHAEL	
SIM													
CROQUI										DESCRIÇÃO			
										BATERIA - 12.7			
										MEDIA - 1768995			

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIENCIAS
LABORATORIO DE GEOFISICA APLICADA - LGA
GRAVIMETRIA - CADERNETA DE OBSERVAÇÕES

FLS 05 DE 08

DENOMINAÇÃO DA LINHA										GRAVIM		GRAVIDADE	
NOME										No.		INICIAL	
M T O R I E N O - J A B O A T A O										G 1 9 9 4 - 4 7			
DENOMINAÇÕES DA ESTAÇÃO										LEITURAS		DATA E HORA	
NOME										1 2 3		ANO M D H M	
B A S I E J A B O A T A O										1 1 8 0 3 1 1 4 9 1 1 8 0 3 1 1 5 0		2 0 0 8 0 8 2 5 1 2 0 5	
TIPO GPS		SISTEMA		ARQUIVO		PONTO		USO DO TRIPE		DADOS COMPLEMENTARES		DISSERTAÇÃO DE MICHAEL	
								X		OBSERVADOR		MICHAEL	
CROQUI										GRAVIMETRIA			
										TEMP TRAVA			
										57.5			
										BATERIA - 12.6			
										MEDIA - 1803150			

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIENCIAS LABORATORIO DE GEOFISICA APLICADA - LGA GRAVIEMTRIA - CADERNETA DE OBSERVAÇÕES																									FLS 06 DE 08																																																	
DENOMINAÇÃO DA LINHA NOME																				GRAVIM No.					GRAVIDADE INICIAL					FINAL																																												
J	A	B	O	A	T	A	O	-	L	I	M	O	E	I	R	O					G	9	9	4	-	4	7																																															
DENOMINAÇÕES DA ESTAÇÃO NOME																				No.					LEITURAS 1					2					3																																							
L	I	M	O	E	I	R	O													1	7	3	7	6	3	1	1	7	3	7	6	3	4	1	7	3	7	6	3	2																																		
TIPO GPS																				SISTEMA					ARQUIVO					PONTO					GRÁVIMETRO TEMP TRAVA					57.5					SIM																													
PROJETO																				DADOS COMPLEMENTARES					DISSERTACÃO DE MICHAEL					MICHAEL					DATA E HORA ANO					M					D					H					M																			
OBSERVADOR																				2					0					8					0					8					2					5					1					3					5					1				
CROQUI																																																																										
BATERIA - 12.6																																																																										
MEDIA - 1737632																																																																										

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIENCIAS LABORATORIO DE GEOFISICA APLICADA - LGA GRAVIMETRIA - CADERNETA DE OBSERVAÇÕES																									FLS 07 DE 08									
DENOMINAÇÃO DA LINHA 																				GRAVIM No.					GRAVIDADE INICIAL FINAL 									
L	I	M	O	E	R	D	O	G	L	O	R	I	T	A	P	T	A	P	T	A	P	T	A	P	T	A	P	T	A					
DENOMINAÇÕES DA ESTAÇÃO 																				NOME 					No. 									
G	L	O	R	I	T	A	P	T	A	P	T	A	P	T	A	P	T	A	P	T	A	P	T	A	P	T	A	P	T	A				
TIPO GPS SISTEMA ARQUIVO PONTO																				GRAVIMETRICO TEMPERATURA 57/5 SIM					USO DO TRIPE SIM NÃO X					DADOS COMPLEMENTARES PROJETO DISSERTAÇÃO DE MICHAEL OBSERVADOR MICHAEL				
CROQUI																				DESCRIÇÃO BATERIA - 12.6 MEDIA - 1.750348														

FLS 08 DE 08

[illegible]

ANEXO III
– PROGRAMA MATLAB PARA AJUSTAMENTO DAS OBSERVAÇÕES

```
function Principal(A,L)
```

```
%%% A matriz A é formada da seguinte maneira:
```

```
%%% A(i,1) = (N - NM)
```

```
%%% A(i,2) = (E - EM)
```

```
%%% A(i,3) = (1)
```

```
%%% L(i,4) = N OBSERVADO
```

```
[m,n] = size(B); % dimensão da Matriz B
```

```
AT = A.'; % matriz A transposta
```

```
N = AT*A; % produto AtA
```

```
U = AT*L; % produto AtL
```

```
Dx = inv(N)*U; % x = inv(N)*U
```