UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Charles Silva de Albuquerque

ESTUDO SOBRE O MODELO GEOIDAL BRASILEIRO EM ESTAÇÕES ALTIMÉTRICAS DE PRIMEIRA ORDEM LOCALIZADAS NO LITORAL E AGRESTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO

Trabalho apresentado à Universidade Católica de Pernambuco para a disciplina ENG1910 - Projeto Final de Curso.

Orientador: Prof. Glauber Carvalho Costa

Co-orientador: Prof. Fernando José de Lima Botelho

Recife, 2013

ESTUDO SOBRE O MODELO GEOIDAL BRASILEIRO EM ESTAÇÕES ALTIMÉTRICAS DE PRIMEIRA ORDEM LOCALIZADAS NO LITORAL E AGRESTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO

Charles Silva de Albuquerque

Projeto Final de Curso submetido ao curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenharia Civil.

Aprovado por:

Prof. Glauber Carvalho Costa

Orientador Acadêmico

Prof.

Examinador Científico (Interno)

Prof.

Examinador Científico (Externo)

Resumo

Nos últimos anos, vem ocorrendo um aumento no uso de equipamentos topográficos baseados nas tecnologias de posicionamento por satélites da constelação GNSS (Global Navegation Satelitte System), sobretudo através das técnicas de levantamento via rádio em tempo real, também denominada de método de levantamento RTK (Kinematic Real Time), impulsionado pelo avanço tecnológico e na redução dos custos de aquisição dos equipamentos de levantamento satelital de alta precisão. A tecnologia de posicionamento por satélite apresenta hoje resultados compatíveis aos valores de precisão e acurácia preconizados pelas normas quanto à planimétrica, mas em relação à altimetria, os resultados ainda não são comparados aos alcançados pelos equipamentos da topografia clássica, havendo um erro nos resultados não conforme com a norma para algumas aplicações na engenharia civil. Hoje existe uma necessidade por parte dos usuários desse tipo de tecnologia de estabelecer qual é o grau de precisão e como refinar o modelo geoidal brasileiro do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), usado para converter as alturas elipsoidais em altitudes ortométricas, através da ondulação geoidal como parâmetro de conversão, objetivando viabilizar o seu emprego no apoio a levantamentos altimétricos que utilizam o sistema GNSS. O trabalho desenvolvido estudou a viabilidade e as discrepâncias existentes no modelo geoidal brasileiro do IBGE, com fins de verificar a consistência dos dados gerados pelo modelo geoidal brasileiro na região litorânea e agreste do estado de Pernambuco, para isso foram levantadas as altitudes ortométricas e elipsoidais de três marcos planialtimétricos referenciados a rede altimétrica de 1ª ordem do IBGE, nas regiões do litoral e agreste do estado de Pernambuco, sendo um localizado no marco zero da cidade do Recife/PE (RN-3640F) e os outros dois nas cidades de Gravatá/PE (M2) e Garanhuns/PE (M1). Foram encontrados valores correspondentes as discrepâncias para os marcos RN-3640F e M2 respectivamente de -0,271 m e -0,010 m, ambus compatíveis com as discrepâncias previstas parar o modelo geoidal do IBGE, já para o marco M1 o resíduo encontrado foi de -1,385 m, este último divergente do preconizado pelo IBGE, que prevê um valor variando de +0,80 m a +1,00 m. Também foi realizado um estudo com um perfil longitudinal locado do entorno da Praça Santo Antônio em Garanhuns/PE, sendo verificada a diferença entre as cotas do terreno levantado pelo sistema satelital GNSS (modo Stop and Go) e pela topografia convencional (Nivelamento Trigonométrico), encontrando uma diferença da ordem de 40 cm a 50 cm, denotando uma possível inviabilidade do uso do levantamento GNSS para algumas aplicações na engenharia civil, no modo de levantamento Stop and Go.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 01

1.1 OBJETIVO 02
1.1.1 GERAL 02
1.1.2 ESPECÍFICOS 02

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 03

2.1 GEODÉSIA 03
2.1.1 Forma e dimensões da terra 04
2.1.2 Datum 05
2.1.3 A rede gravimétrica do sistema geodésico brasileiro 05
2.1.4 Gravimetria 07

2.2 LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO CONVENCIONAL 08
2.2.1 Noções de altimetria 08
2.2.2 Nivelamento geométrico 08
2.2.2.1 Nivelamento Geométrico Simples 08
2.2.2.2 Nivelamento Geométrico Composto 09
2.2.3 Nivelamento Trigonométrico 09

2.3 LEVANTAMENTO USANDO O SISTEMA GNSS 09
2.3.1 Métodos de levantamento usando o sistema GNSS 09
2.3.1.1 Posicionamento Relativo 10
2.3.1.2 Posicionamento Relativo Estático 10
2.3.1.3 Posicionamento Relativo Estático Rápido 11
2.3.1.4 Posicionamento Relativo Semicinemático (Stop and Go) 12
2.3.1.5 Posicionamento Relativo Cinemático 12
2.3.2 Altitude geométrica ou elipsoidal 12

2.4 MODELO GEOIDAL BRASILEIRO 13
2.4.1 Evolução do modelo geiodal brasileiro 13
2.4.2 Criação do novo modelo geoidal 2010 14
2.4.3 Avaliação do modelo geoidal 2010 15

3.MATERIAIS E MÉTODOS 16
3.1 ÁREA DE ESTUDO 16
3.2 TRANSPORTE DE ALTITUDE ORTOMÉTRICA 18
3.3 TRANSPORTE. COORDENADAS E DETERMINAÇÃO DA ALTITUDE ELIPSÓIDAL 21
3.4 RASTREIO GNSS 22
3.5 DETERMINAÇÃO DAS ONDULAÇÕES GEOIDAIS 26
3.6 PROCESSAMENTO DOS RASTREIO COM RECPTOR GNSS 27
3.7 PROCESSAMENTO DA ESTAÇÃO TOTAL 27
3.8 PROCESSAMENTO DOS DADOS DO NÍVEL ÓPTICO 28
3.9 LEVANTAMEN. MODO STOP AND GO GNSS E NIVELAMENTO TRIGONOMÉTRIC 29

4.RESULTADOS E DISCURSÕES 31
4.1 LE ALTIMÉTRICO PARA TRANSPORTE DE ALTITUDE ORTOMÉTRICA 31
4.2 RASTREIO GNSS DOS MARCOS 33
4.2.1 Processamento GNSS dos Marcos 33
4.2.2 Coletada dos dados das estações base 39
4.2.3 Diagrama de discrepância MapGeo2010 x GPS/RN do IBGE e os marcos altimétrico

levantando 40
4.2.4 Extração dos valores do modelo geoidal 2010 brasileiro 41
4.2.5 Cálculo das Diferenças de Ondulação Geoidal Medidas em Campo e AS Interpoladas no MapGeo2010 42
4.2.6 Resultados do Levantamento do Eixo 43

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 46

6. RECOMENDAÇÕES 48

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 50

ANEXOS 52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Elementos utilizados por Erastóstenes para o cálculo do raio da terra.....04

Figura 2 – Mapa do modelo brasileiro no Datum sirgas2000..... 06

Figura 3 – Fórmula do pêndulo..... 07

Figura 4 – Posicionamento relativo.....10

Figura 5 – Mapa de discrepâncias entre o modelo de ondulação geoidal MapGeo2010 e os pontos GPS/RN levantados pelo próprio IBGE 15

Figura 6 – Localização dos marcos de Referência de nível do IBGE usados nos levantamentos.....16

Figura 7 – Vista do RN-371Q – Gravatá (a); RN-1814H – Garanhuns (b); RN-3640F – Recife(c).....17

Figura 8 – Localização das Estações pertencentes a RBMC do IBGE usadas nos levantamentos.....17

Figura 9 – Detalhe do marco planialtimétrico implantando M2 implantado em Gravatá/PE..... 19

Figura 10 – Detalhe do Marco planialtimétrico M1 implantando em Garanhuns/PE 19

Figura 11 – Levantamento com nivelamento Geométrico com nível óptico e mira falante para o transporte de cota do RN-1814H em Gravatá/PE para o marco M2.....19

Figura 12 – Detalhe da régua na Mira falante para o transporte de cota do RN-1814H em Gravatá/PE para o marco M2.....19

Figura 13 – Nivelamento Geométrico com o Nível Óptico do RN-1814H em Gravatá/PE, usando Mira Falante para as leituras e transporte da cota no Marco M2. 20

Figura 14 – Nivelamento Geométrico com o Nível Óptico no Marco Planialtimétrico implantado M1 em Garanhuns/PE, usando Mira Falante para as leituras e transporte da cota do RN-371Q. 20

Figura 15 – Nivelamento Trigonométrico com a Estação Total do RN-1814H em Gravatá/PE, usando o Bastão com prisma refletivo para as leituras e transporte da cota para o Marco M2. 20

Figura 16 – Detalhe da Visada de Vante no Marco planialtimétrico implantado M2 durante a operação de Nivelamento Trigonométrico com a Estação Total, sem o uso de prisma.. 20

Figura 17 – Receptor GNSS multifrequência da marca TechGeo, modelo Zênite 2. 21

Figura 18 – Vista da coletora do Receptor GNSS Zênite 2, usado no levantamento para configurar as operações de rastreio. 22

Figura 19–. Detalhe da tela da coletora, mostrando o programa Coleta Fácil, e no canto superior esquerdo o nível de bolha esférico eletrônico usado no nivelamento (calagem) da antena 22

Figura 20 – Leitura da Altura da Antena GNSS Zênite 2 no Marco Planialtimétrico implantado M1 em Garanhuns/PE, usando uma trena de fibra de vidro previamente calibrada (ha_{nt}=1609mm da 1ª Seção e h_{ant}=1539mm da 2ª Seção). 23

Figura 21 – Leitura da Altura da Antena GNSS Zênite 2 no Marco Planialtimétrico implantado M2 em Gravatá/PE, usando uma trena de fibra de vidro previamente calibrada (h_{ant}=1621mm) 23

Figura 22 – Leitura da Altura da Antena GNSS Zênite 2no RN-3640F (Recife/PE), usando uma trena de fibra de vidro previamente calibrada (h_{ant}=1606mm). 23

Figura 23 – Rastreio GNSS com o receptor Zênite 2no Marco Planialtimétrico implantado M1 na cidade de Garanhuns/PE,durante a 2ª Seção (08/09/2013). 24

Figura 24 – Rastreio GNSS com o receptor Zênite 2no Marco Planialtimétrico implantado M2 na cidade de Gravatá/PE (07/09/2013). 25

Figura 25 – Rastreio GNSS com o receptor Zênite 2no RN-3640Fna cidade de Recife/PE,durante Seção única (19/10/2013).....25

Figura 26 – Vista da Janela do Programa de Interpolação da Ondulação Geoidal MapGeo2010. 26

Figura 27 – Vista da Janela do Programa de processamento GNSS GTR Processor.....27

Figura 28 – Vista da Janela do Programa de processamento DL-02, mostrando os pontos correspondentes às estacas do eixo locado e levantado altimetricamente.....27

Figura 29 – Caderneta padrão de campo padrão usada nas anotações do transporte das altitudes ortométricas para os marcos implantados M1 e M2, por nivelamento trigonométrico.....28

Figura 30 – Caderneta padrão de campo padrão usada nas anotações do transporte das altitudes ortométricas para os marcos implantados M1 e M2, por nivelamento geométrico.....28

Figura 31 – Locação das estacas do eixo localizada na extremidade da calçada (sobre o meio fio) do entorno da Praça Santo Antônio em Garanhuns/PE.....29

Figura 32 – Leitura do prisma durante nivelamento trigonométrico nas estacas do eixo locado.....29

Figura 33 – Nivelamento trigonométrico com a estação total do RN-1814H em Garanhuns/PE nas estacas do eixo locado.....29

Figura 34 – Rastreio GNSS no modo Stop and Go com o receptor Zênite 2 nas estacas do eixo locado em campo. 30

Figura 35 – Janela do programa GTR Processor mostrando os sinais dos satélites observados na estação Rover RN3640F (Recife/PE) rastreado dia 19/10/2013. 33

Figura 36 – Janela do programa GTR Processor mostrando os sinais dos satélites observados na estação Rover M2 (Gravatá/PE) rastreado dia 07/09/2013. 34

Figura 37 – Janela do programa GTR Processor mostrando os sinais dos satélites observados na estação Rover M1 (Garanhuns/PE) rastreado dia 07/09/2013. 34

Figura 38 – Janela do programa GTR Processormostrando os sinais dos satélites observados na estação Base SAT- 93110-1999- RECF (Recife/PE) rastreado dia 19/10/2013 35

Figura 39 – Janela do programa GTR Processormostrando os sinais dos satélites observados na estação Base SAT- 93110-1999- RECF (Recife/PE) rastreado dia 07/09/2013 35

Figura 40 – Janela do programa GTR Processormostrando os sinais dos satélites observados na estação Base SAT-93237- (Arapiraca/AL) rastreado dia 08/09/2013. 36

Figura 41 – Janela do programa GTR Processormostrando resultados do pós-processamento das coordenadas do marco M1 (Garanhuns/PE) rastreado dia 08/10/2013. 36

Figura 42 – Janela do programa GTR Processormostrando localização dos marcos usados no processamento (Estação Rover e Base) no dia 19/10/2013.....37

Figura 43 – Janela do programa *GTR Processor*mostrando localização dos marcos usados no processamento (Estação Rover e Base) no dia 07/09/2013 para o Marco M2. 37

Figura 44 – Janela do programa *GTR Processor*mostrando localização dos marcos usados no processamento (Estação Rover e Base) no dia 08/09/2013 para o Marco M1, com as estacações de Campina Grande/PB (PBCG), Arapiraca/AL (SAT 93237- ALAR) e Recife (SAT- 93110-1999- RECF). 38

Figura 45 – Vista da página do portal web do IBGE no instante da seleção dos arquivos para download, dos dados de rastreio das estações da RBMC nos dias 07/09/2013 e 08/09/2013.....39

Figura 46 – Vista da página do portal web do IBGE no instante da seleção dos arquivos para download, dos dados de rastreio das estações da RBMC no dia 19/10/2013.....40

Figura 47 – Análise das discrepâncias da ondulação geoidal (N) no diagrama do IBGE dos marcos coletados em campo (M1, M2 e RN-3640F).....41

Figura 48 – Detalhe da Janela dos MapGEO2010, com os dados das coordenadas geodésicas para obtenção das ondulações geoidais dos marcos M1 (1), M2 (2) e RN-3640F (3). 41

Figura 49 – Vista das superfícies de referência e suas componentes verticais.....42

Figura 50 – Janela do programa GTR processor mostrado o levantamento cinemático e Stop and go realizado no entorno da Praça Santo Antônio em Garanhuns/PE no dia 08/09/2013. 44

Figura 51 – Janela do Programa Microstation PowerCivil SS02 usado no processamento dos dados do levantamento do eixo locado na extemidade da calçada (topo do meio fio) do entorno da Praça Santo Antônio na cidade Garanhuns/PE. 45

Figura 52 – Perfil Longitudinal gerado no Programa Microstation PowerCivil SS02 usando os dados do Nivelamento Geométrico e do Levantamento GNSS do eixo locado na extemidade da calçada (topo do meio fio) do entorno da Praça Santo Antônio na cidade Garanhuns/PE.....45

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Características das sessões de rastreio para posicionamento relativo estático GNSS (INCRA 2013) 10

Tabela 02 – Características das sessões de rastreio para posicionamento relativo estático GNSS (IBGE,2008). 11

Tabela 03 – Localização das Referências de nível do IBGE usadas nos estudos. 18

Tabela 04 – Alturas da antena Zênite 2 no momento dos rastreio dos marcos. 24

Tabela 05 – Transporte de altitude ortométrica do RN-371Q (Garanhuns/PE) para o marco implantado M1 por nivelamento geométrico simples. 31

Tabela 06 – Transporte de altitude ortométrica do RN-1814H (Gravatá/PE) para o marco implantado M2por nivelamento geométrico simples. 32

Tabela 07 – Transporte de altitude ortométrica do RN-371Q (Garanhuns/PE) para o marco implantado M1por nivelamento trigonométrico.....32

Tabela 08 – Transporte de altitude ortométrica do RN-1814H (Gravatá/PE) para o marco implantado M2por nivelamento trigonométrico.....32

Tabela 09 – Resultados das altitudes ortométricas dos marcos M1 e M2.....32

Tabela 10 – Desvios padrão resultantes do processamento dos dados GNSS. 33

Tabela 12 – Resultados das coordenadas UTM e geodésicas sexagesimais nos marcos rastreados. 39

Tabela 13 – Resultados das ondulações geoidais do modelo geopotencial do MapGEO2010 ($N_{interpolador}$) e os medidos em campo ($N_{obs.\ Campo}$) dos marcos M1, M2 e RN-3640F. 42

Tabela 14 – Resultados do levantamento GNSS no eixo experimental. 43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GNSS (Global Navegation Satelitte System).....01
RTK (Kinematic Real Time).....01
MAPGEO (Modelo Geoidal Brasileiro).....01
IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).....01
RN (Referência de Nível).....01
GPS (Globol de Posicionamento por Satélite).....01
SAD69 (South American Datum 1969).....05
WGS84 (World Geodetic System of 1984).....05
SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas).....05
NMM (Nível Médio do Mar).....05
ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).....13
MDT (Modelo Digital de Terreno).....14
SRTM (Shuttle Radar Topography Mission).....14
RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo).....17
NAVSTAR (Navigation Satellite with Time and Ranging).....21
GLONASS (Sistema Orbital Global de Navegação por Satélite).....21
ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).....31
NBR (Norma Brasileira).....31

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Charles Silva de Albuquerque

ESTUDO SOBRE O MODELO GEOIDAL BRASILEIRO EM ESTAÇÕES ALTIMÉTRICAS DE PRIMEIRA ORDEM LOCALIZADAS NO LITORAL E AGRESTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO

Trabalho apresentado à Universidade Católica de Pernambuco para a disciplina ENG1910 - Projeto Final de Curso.

Orientador: Prof. Glauber Carvalho Costa

Co-orientador: Prof. Fernando José de Lima Botelho

Recife, 2013

ESTUDO SOBRE O MODELO GEOIDAL BRASILEIRO EM ESTAÇÕES ALTIMÉTRICAS DE PRIMEIRA ORDEM LOCALIZADAS NO LITORAL E AGRESTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO

Charles Silva de Albuquerque

Projeto Final de Curso submetido ao curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenharia Civil.

Aprovado por:

Prof. Glauber Carvalho Costa

Orientador Acadêmico

Prof.

Examinador Científico (Interno)

Prof.

Examinador Científico (Externo)

Resumo

Nos últimos anos, vem ocorrendo um aumento no uso de equipamentos topográficos baseados nas tecnologias de posicionamento por satélites da constelação GNSS (Global Navegation Satelitte System), sobretudo através das técnicas de levantamento via rádio em tempo real, também denominada de método de levantamento RTK (Kinematic Real Time), impulsionado pelo avanço tecnológico e na redução dos custos de aquisição dos equipamentos de levantamento satelital de alta precisão. A tecnologia de posicionamento por satélite apresenta hoje resultados compatíveis aos valores de precisão e acurácia preconizados pelas normas quanto à planimétrica, mas em relação à altimetria, os resultados ainda não são comparados aos alcançados pelos equipamentos da topografia clássica, havendo um erro nos resultados não conforme com a norma para algumas aplicações na engenharia civil. Hoje existe uma necessidade por parte dos usuários desse tipo de tecnologia de estabelecer qual é o grau de precisão e como refinar o modelo geoidal brasileiro do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), usado para converter as alturas elipsoidais em altitudes ortométricas, através da ondulação geoidal como parâmetro de conversão, objetivando viabilizar o seu emprego no apoio a levantamentos altimétricos que utilizam o sistema GNSS. O trabalho desenvolvido estudou a viabilidade e as discrepâncias existentes no modelo geoidal brasileiro do IBGE, com fins de verificar a consistência dos dados gerados pelo modelo geoidal brasileiro na região litorânea e agreste do estado de Pernambuco, para isso foram levantadas as altitudes ortométricas e elipsoidais de três marcos planialtimétricos referenciados a rede altimétrica de 1ª ordem do IBGE, nas regiões do litoral e agreste do estado de Pernambuco, sendo um localizado no marco zero da cidade do Recife/PE (RN-3640F) e os outros dois nas cidades de Gravatá/PE (M2) e Garanhuns/PE (M1). Foram encontrados valores correspondentes as discrepâncias para os marcos RN-3640F e M2 respectivamente de -0,271 m e -0,010 m, ambus compatíveis com as discrepâncias previstas parar o modelo geoidal do IBGE, já para o marco M1 o resíduo encontrado foi de -1,385 m, este último divergente do preconizado pelo IBGE, que prevê um valor variando de +0,80 m a +1,00 m. Também foi realizado um estudo com um perfil longitudinal locado do entorno da Praça Santo Antônio em Garanhuns/PE, sendo verificada a diferença entre as cotas do terreno levantado pelo sistema satelital GNSS (modo Stop and Go) e pela topografia convencional (Nivelamento Trigonométrico), encontrando uma diferença da ordem de 40 cm a 50 cm, denotando uma possível inviabilidade do uso do levantamento GNSS para algumas aplicações na engenharia civil, no modo de levantamento Stop and Go.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 01

1.1 OBJETIVO 02
1.1.1 GERAL 02
1.1.2 ESPECÍFICOS 02

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 03

2.1 GEODÉSIA 03
2.1.1 Forma e dimensões da terra 04
2.1.2 Datum 05
2.1.3 A rede gravimétrica do sistema geodésico brasileiro 05
2.1.4 Gravimetria 07

2.2 LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO CONVENCIONAL 08
2.2.1 Noções de altimetria 08
2.2.2 Nivelamento geométrico 08
2.2.2.1 Nivelamento Geométrico Simples 08
2.2.2.2 Nivelamento Geométrico Composto 09
2.2.3 Nivelamento Trigonométrico 09

2.3 LEVANTAMENTO USANDO O SISTEMA GNSS 09
2.3.1 Métodos de levantamento usando o sistema GNSS 09
2.3.1.1 Posicionamento Relativo 10
2.3.1.2 Posicionamento Relativo Estático 10
2.3.1.3 Posicionamento Relativo Estático Rápido 11
2.3.1.4 Posicionamento Relativo Semicinemático (Stop and Go) 12
2.3.1.5 Posicionamento Relativo Cinemático 12
2.3.2 Altitude geométrica ou elipsoidal 12

2.4 MODELO GEOIDAL BRASILEIRO 13
2.4.1 Evolução do modelo geiodal brasileiro 13
2.4.2 Criação do novo modelo geoidal 2010 14
2.4.3 Avaliação do modelo geoidal 2010 15

3.MATERIAIS E MÉTODOS 16
3.1 ÁREA DE ESTUDO 16
3.2 TRANSPORTE DE ALTITUDE ORTOMÉTRICA 18
3.3 TRANSPORTE. COORDENADAS E DETERMINAÇÃO DA ALTITUDE ELIPSÓIDAL 21
3.4 RASTREIO GNSS 22
3.5 DETERMINAÇÃO DAS ONDULAÇÕES GEOIDAIS 26
3.6 PROCESSAMENTO DOS RASTREIO COM RECPTOR GNSS 27
3.7 PROCESSAMENTO DA ESTAÇÃO TOTAL 27
3.8 PROCESSAMENTO DOS DADOS DO NÍVEL ÓPTICO 28
3.9 LEVANTAMEN. MODO STOP AND GO GNSS E NIVELAMENTO TRIGONOMÉTRIC 29

4.RESULTADOS E DISCURSÕES 31
4.1 LE ALTIMÉTRICO PARA TRANSPORTE DE ALTITUDE ORTOMÉTRICA 31
4.2 RASTREIO GNSS DOS MARCOS 33
4.2.1 Processamento GNSS dos Marcos 33
4.2.2 Coletada dos dados das estações base 39
4.2.3 Diagrama de discrepância MapGeo2010 x GPS/RN do IBGE e os marcos altimétrico

levantando 40
4.2.4 Extração dos valores do modelo geoidal 2010 brasileiro 41
4.2.5 Cálculo das Diferenças de Ondulação Geoidal Medidas em Campo e AS Interpoladas no MapGeo2010 42
4.2.6 Resultados do Levantamento do Eixo 43

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 46

6. RECOMENDAÇÕES 48

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 50

ANEXOS 52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Elementos utilizados por Erastóstenes para o cálculo do raio da terra.....04

Figura 2 – Mapa do modelo brasileiro no Datum sirgas2000..... 06

Figura 3 – Fórmula do pêndulo..... 07

Figura 4 – Posicionamento relativo.....10

Figura 5 – Mapa de discrepâncias entre o modelo de ondulação geoidal MapGeo2010 e os pontos GPS/RN levantados pelo próprio IBGE 15

Figura 6 – Localização dos marcos de Referência de nível do IBGE usados nos levantamentos.....16

Figura 7 – Vista do RN-371Q – Gravatá (a); RN-1814H – Garanhuns (b); RN-3640F – Recife(c).....17

Figura 8 – Localização das Estações pertencentes a RBMC do IBGE usadas nos levantamentos.....17

Figura 9 – Detalhe do marco planialtimétrico implantando M2 implantado em Gravatá/PE..... 19

Figura 10 – Detalhe do Marco planialtimétrico M1 implantando em Garanhuns/PE 19

Figura 11 – Levantamento com nivelamento Geométrico com nível óptico e mira falante para o transporte de cota do RN-1814H em Gravatá/PE para o marco M2.....19

Figura 12 – Detalhe da régua na Mira falante para o transporte de cota do RN-1814H em Gravatá/PE para o marco M2.....19

Figura 13 – Nivelamento Geométrico com o Nível Óptico do RN-1814H em Gravatá/PE, usando Mira Falante para as leituras e transporte da cota no Marco M2. 20

Figura 14 – Nivelamento Geométrico com o Nível Óptico no Marco Planialtimétrico implantado M1 em Garanhuns/PE, usando Mira Falante para as leituras e transporte da cota do RN-371Q. 20

Figura 15 – Nivelamento Trigonométrico com a Estação Total do RN-1814H em Gravatá/PE, usando o Bastão com prisma refletivo para as leituras e transporte da cota para o Marco M2. 20

Figura 16 – Detalhe da Visada de Vante no Marco planialtimétrico implantado M2 durante a operação de Nivelamento Trigonométrico com a Estação Total, sem o uso de prisma.. 20

Figura 17 – Receptor GNSS multifrequência da marca TechGeo, modelo Zênite 2. 21

Figura 18 – Vista da coletora do Receptor GNSS Zênite 2, usado no levantamento para configurar as operações de rastreio. 22

Figura 19–. Detalhe da tela da coletora, mostrando o programa Coleta Fácil, e no canto superior esquerdo o nível de bolha esférico eletrônico usado no nivelamento (calagem) da antena 22

Figura 20 – Leitura da Altura da Antena GNSS Zênite 2 no Marco Planialtimétrico implantado M1 em Garanhuns/PE, usando uma trena de fibra de vidro previamente calibrada (ha_{nt}=1609mm da 1ª Seção e h_{ant}=1539mm da 2ª Seção). 23

Figura 21 – Leitura da Altura da Antena GNSS Zênite 2 no Marco Planialtimétrico implantado M2 em Gravatá/PE, usando uma trena de fibra de vidro previamente calibrada (h_{ant}=1621mm) 23

Figura 22 – Leitura da Altura da Antena GNSS Zênite 2no RN-3640F (Recife/PE), usando uma trena de fibra de vidro previamente calibrada (h_{ant}=1606mm). 23

Figura 23 – Rastreio GNSS com o receptor Zênite 2no Marco Planialtimétrico implantado M1 na cidade de Garanhuns/PE,durante a 2ª Seção (08/09/2013). 24

Figura 24 – Rastreio GNSS com o receptor Zênite 2no Marco Planialtimétrico implantado M2 na cidade de Gravatá/PE (07/09/2013). 25

Figura 25 – Rastreio GNSS com o receptor Zênite 2no RN-3640Fna cidade de Recife/PE,durante Seção única (19/10/2013).....25

Figura 26 – Vista da Janela do Programa de Interpolação da Ondulação Geoidal MapGeo2010. 26

Figura 27 – Vista da Janela do Programa de processamento GNSS GTR Processor.....27

Figura 28 – Vista da Janela do Programa de processamento DL-02, mostrando os pontos correspondentes às estacas do eixo locado e levantado altimetricamente.....27

Figura 29 – Caderneta padrão de campo padrão usada nas anotações do transporte das altitudes ortométricas para os marcos implantados M1 e M2, por nivelamento trigonométrico.....28

Figura 30 – Caderneta padrão de campo padrão usada nas anotações do transporte das altitudes ortométricas para os marcos implantados M1 e M2, por nivelamento geométrico.....28

Figura 31 – Locação das estacas do eixo localizada na extremidade da calçada (sobre o meio fio) do entorno da Praça Santo Antônio em Garanhuns/PE.....29

Figura 32 – Leitura do prisma durante nivelamento trigonométrico nas estacas do eixo locado.....29

Figura 33 – Nivelamento trigonométrico com a estação total do RN-1814H em Garanhuns/PE nas estacas do eixo locado.....29

Figura 34 – Rastreio GNSS no modo Stop and Go com o receptor Zênite 2 nas estacas do eixo locado em campo. 30

Figura 35 – Janela do programa GTR Processor mostrando os sinais dos satélites observados na estação Rover RN3640F (Recife/PE) rastreado dia 19/10/2013. 33

Figura 36 – Janela do programa GTR Processor mostrando os sinais dos satélites observados na estação Rover M2 (Gravatá/PE) rastreado dia 07/09/2013. 34

Figura 37 – Janela do programa GTR Processor mostrando os sinais dos satélites observados na estação Rover M1 (Garanhuns/PE) rastreado dia 07/09/2013. 34

Figura 38 – Janela do programa GTR Processormostrando os sinais dos satélites observados na estação Base SAT- 93110-1999- RECF (Recife/PE) rastreado dia 19/10/2013 35

Figura 39 – Janela do programa GTR Processormostrando os sinais dos satélites observados na estação Base SAT- 93110-1999- RECF (Recife/PE) rastreado dia 07/09/2013 35

Figura 40 – Janela do programa GTR Processormostrando os sinais dos satélites observados na estação Base SAT-93237- (Arapiraca/AL) rastreado dia 08/09/2013. 36

Figura 41 – Janela do programa GTR Processormostrando resultados do pós-processamento das coordenadas do marco M1 (Garanhuns/PE) rastreado dia 08/10/2013. 36

Figura 42 – Janela do programa GTR Processormostrando localização dos marcos usados no processamento (Estação Rover e Base) no dia 19/10/2013.....37

Figura 43 – Janela do programa *GTR Processor*mostrando localização dos marcos usados no processamento (Estação Rover e Base) no dia 07/09/2013 para o Marco M2. 37

Figura 44 – Janela do programa *GTR Processor*mostrando localização dos marcos usados no processamento (Estação Rover e Base) no dia 08/09/2013 para o Marco M1, com as estacações de Campina Grande/PB (PBCG), Arapiraca/AL (SAT 93237- ALAR) e Recife (SAT- 93110-1999- RECF). 38

Figura 45 – Vista da página do portal web do IBGE no instante da seleção dos arquivos para download, dos dados de rastreio das estações da RBMC nos dias 07/09/2013 e 08/09/2013.....39

Figura 46 – Vista da página do portal web do IBGE no instante da seleção dos arquivos para download, dos dados de rastreio das estações da RBMC no dia 19/10/2013.....40

Figura 47 – Análise das discrepâncias da ondulação geoidal (N) no diagrama do IBGE dos marcos coletados em campo (M1, M2 e RN-3640F).....41

Figura 48 – Detalhe da Janela dos MapGEO2010, com os dados das coordenadas geodésicas para obtenção das ondulações geoidais dos marcos M1 (1), M2 (2) e RN-3640F (3). 41

Figura 49 – Vista das superfícies de referência e suas componentes verticais.....42

Figura 50 – Janela do programa GTR processor mostrado o levantamento cinemático e Stop and go realizado no entorno da Praça Santo Antônio em Garanhuns/PE no dia 08/09/2013. 44

Figura 51 – Janela do Programa Microstation PowerCivil SS02 usado no processamento dos dados do levantamento do eixo locado na extemidade da calçada (topo do meio fio) do entorno da Praça Santo Antônio na cidade Garanhuns/PE. 45

Figura 52 – Perfil Longitudinal gerado no Programa Microstation PowerCivil SS02 usando os dados do Nivelamento Geométrico e do Levantamento GNSS do eixo locado na extemidade da calçada (topo do meio fio) do entorno da Praça Santo Antônio na cidade Garanhuns/PE.....45

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Características das sessões de rastreio para posicionamento relativo estático GNSS (INCRA 2013) 10

Tabela 02 – Características das sessões de rastreio para posicionamento relativo estático GNSS (IBGE,2008). 11

Tabela 03 – Localização das Referências de nível do IBGE usadas nos estudos. 18

Tabela 04 – Alturas da antena Zênite 2 no momento dos rastreio dos marcos. 24

Tabela 05 – Transporte de altitude ortométrica do RN-371Q (Garanhuns/PE) para o marco implantado M1 por nivelamento geométrico simples. 31

Tabela 06 – Transporte de altitude ortométrica do RN-1814H (Gravatá/PE) para o marco implantado M2por nivelamento geométrico simples. 32

Tabela 07 – Transporte de altitude ortométrica do RN-371Q (Garanhuns/PE) para o marco implantado M1por nivelamento trigonométrico.....32

Tabela 08 – Transporte de altitude ortométrica do RN-1814H (Gravatá/PE) para o marco implantado M2por nivelamento trigonométrico.....32

Tabela 09 – Resultados das altitudes ortométricas dos marcos M1 e M2.....32

Tabela 10 – Desvios padrão resultantes do processamento dos dados GNSS. 33

Tabela 12 – Resultados das coordenadas UTM e geodésicas sexagesimais nos marcos rastreados. 39

Tabela 13 – Resultados das ondulações geoidais do modelo geopotencial do MapGEO2010 ($N_{interpolador}$) e os medidos em campo ($N_{obs.\ Campo}$) dos marcos M1, M2 e RN-3640F. 42

Tabela 14 – Resultados do levantamento GNSS no eixo experimental. 43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GNSS (Global Navegation Satelitte System).....01
RTK (Kinematic Real Time).....01
MAPGEO (Modelo Geoidal Brasileiro).....01
IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).....01
RN (Referência de Nível).....01
GPS (Globol de Posicionamento por Satélite).....01
SAD69 (South American Datum 1969).....05
WGS84 (World Geodetic System of 1984).....05
SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas).....05
NMM (Nível Médio do Mar).....05
ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).....13
MDT (Modelo Digital de Terreno).....14
SRTM (Shuttle Radar Topography Mission).....14
RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo).....17
NAVSTAR (Navigation Satellite with Time and Ranging).....21
GLONASS (Sistema Orbital Global de Navegação por Satélite).....21
ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).....31
NBR (Norma Brasileira).....31

1. INTRODUÇÃO

Ouso crescente das tecnologias de posicionamento baseado em satélites para levantamentos topográficos, impulsionado pelos novos métodos de cálculos da onda da portadora por interferometria, como também pela técnica de levantamento via rádio usando a constelação GNSS (Global Navegation Satelitte System) também denominado método de levantamento RTK (Kinematic Real Time), gerou um avanço qualitativo e produtivo nos projeto e construção das obras de engenharia e mapeamento, quando comparado a algumas técnicas consagradas.

A tecnologia de posicionamento por satélite apresenta resultados quanto à precisão e acurácia planimétricas compatíveis e em alguns casos até superiores, a algumas técnicas clássicas, mas em relação à altimetria, as alturas coletadas e calculadas através dessa técnica, são referenciadas a superfície do elipsóide, sendo a altura elipsoidal obtida divergente da altitude ortométrica adotada nas aplicações em engenharia civil, onde a última está referenciada a superfície do geóide, e forma com a mesma um perpendicular, também denominada de vertical.

Através de modelos geoidais de origem gravimétrica, é possível converter as alturas elipsoidais em altitudes ortométricas, usando a ondulação geoidal como parâmetro de conversão, sendo esse parâmetro obtido a partir das medições da variação da aceleração de gravidade de forma absoluta e relativa em toda na superfície física da terra.

Portanto, ao se executar levantamentos topográficos utilizando a rede satelital, existe na prática a necessidade de realizar por meio de um nivelamento geométrico ou trigonométrico o transporte das altitudes ortométricas, partindo-se de uma rede altimétrica oficial de 1º Ordem, objetivando determinar o valor da ondulação geoidal, para só assim converter as alturas elipsoidais coletadas em altitudes ortométricas dos pontos de interesse do projeto ou obra.

Outra forma de converter as alturas elipsoidais medidas pelo sistema GNSS, em altitudes ortométricas seria através do emprego do programa MapGeo2010 desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), concebido a partir das alturas geoidais de 804 referências de nível (RN) que tiveram suas coordenadas geodésicas determinadas através de observações no sistema Global de Posicionamento por Satélite (GPS), sendo as alturas geoidais das mesmas obtidas por meio da associação das altitudes geodésica e ortométrica. O uso do Mapgeo2010 apesar de ser um método bastante difundido no âmbito da engenharia civil, mas segundo o próprio IBGE, o erro médio padrão poderá ser de +/- 0,32m nas áreas metropolitanas do Sul e Sudeste do país, e que em outras regiões esse erro pode ser

ainda maior, como por exemplo, na região amazônica onde há uma carência de informações do nivelamento geométrico, onde essa ordem de grandeza de erro pode inviabilizar algumas aplicações desse método na engenharia.

O refinamento do modelo geoidal brasileiro tem um caráter estratégico para o desenvolvimento do Brasil, pois as grandes obras de infraestrutura tão necessárias partem de projetos geridos com base em informações oriundas de diversificadas geotecnologias, inclusive a técnica GNSS, portanto, conhecer a variação da precisão do modelo geoidal brasileiro é essencial para ampliar cada vez mais o uso do levantamento topográfico planialtimétrico usando o sistema GNSS, e é com esse intuito que o presente trabalho busca contribuir na formação de um banco de dados, por meio de ensaios geodésicos de campo realizados na rede de Referência de Nível de 1ª Ordem do IBGE na região do litoral (nível médio do mar) e Agreste (a 85km e 228km) do Estado de Pernambuco.

1.1 Objetivo

1.1.1 Geral

Contribuir na formação de um banco de dados com resultados das ondulações geoidais realizadas em três marcos de altimétricos de referência de nível de 1ª ordem, com fins de verificar a consistência dos dados gerados pelo modelo geoidal brasileiro na região litorânea e agreste do estado de Pernambuco.

1.1.2Específicos

- Calcular as discrepâncias das ondulações calculadas com os dados gerados pela interpolação do programa Mapgeo2010 e os dados medidos em campo.
- Análise comparativa dos resultados planimétricos e da altura elipsoidal dos rastreios GNSS, variando os tempos de rastreio e as estações base.
- Analisar as discrepâncias da altimetria obtidas pelo nivelamento clássico realizado com nível e estação total, nivelamento geométrico e trigonométrico respectivamente, e o levantamento GNSS (Stop and Go e Kinematic), na análise de perfil longitudinal de um eixo teste implantado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GEODÉSIA

Para Casaca, Matos e Baio (2000), a geodésia (do grego γη + δαισια =Terra+repartição) é uma disciplina do ramo da geofísica que nasceu da necessidade de integrar os modelos físicos da Terra à geometria convencional.

A geodésia tem por objetivo o estudo da forma e dimensões da Terra e a implantação de vértices geodésicos para apoio aos levantamentos topográficos (Silveira, 1999). Ainda, segundo Silveira (1999), a geodésia pode ser dividida em geodésia acadêmica ou superior e geodésia aplicada ou elementar.

Segundo a definição clássica de Friedrich Robert Helmert (1880 apud TORGE, 2001), a geodésia é a ciência da medida e mapeamento da superfície terrestre. Esta definição inclui também a determinação do campo gravitacional externo do planeta.

A definição clássica teve nova ampliação quando se incluiu a variação temporal da superfície e o campo gravitacional terrestre. Com isso, pela nova definição, a geodésia passou a fazer parte das geociências e das ciências da engenharia.

Ainda, segundo Torge (2001), a geodésia é dividida em geodésia global (global geodesy), geodésia de levantamentos (geodetic surveys), nacional e internacional e levantamento de plano (plane surveying).

A *global* ocupa-se da determinação da forma e dimensões da Terra, sua orientação no espaço e o campo gravitacional externo.

O sistema de levantamentos é responsável pela da determinação da superfície terrestre e do campo gravitacional em âmbito regional. Na geodésia de levantamentos devem ser considerados a curvatura e os efeitos do campo gravitacional terrestre.

O levantamento de plano ocupa-se dos levantamentos em âmbito local (levantamentos topográficos, cadastrais e obras de engenharia) onde os efeitos da curvatura e do campo gravitacional terrestre são, geralmente, ignorados.

Os métodos de trilateração espacial (geodésia por satélite) estão inseridos na geodésia global que equivale, na classificação de Silveira (1999), à geodésia acadêmica ou geodésia superior.

2.1.1 Forma e dimensões da Terra

Há tempos o homem tenta descrever a forma e mensurar as dimensões da Terra. Encontram-se na história várias referências sobre este fato nas quais, os mais relevantes, são a de Homero que, em um de seus poemas, descreve a Terra como sendo um grande disco que flutuava sobre o oceano e o Sol como o coche em que os deuses efetuavam o seu passeio. (SILVEIRA, 2010)

Anaxágoras de Clazômenes (500-428 A.c) foi condenado à prisão por afirmar que o Sol era uma pedra incandescente maior que o Peloponeso e que a lua é feita de terra e não tem luz própria. Aristarco de Samos, astrônomo e matemático grego, foi acusado de molestar os deuses por sua afirmação da existência dos movimentos de rotação e translação da Terra.

Pitágoras de Samos (580 a 500 A.c) e Tales de Mileto defendiam a esfericidade da Terra e que ela girava em torno do Sol.

Aristóteles (382 a 222 A.c), filósofo e matemático grego, admitia a esfericidade da Terra, considerando-a imóvel.

Arquimedes de Ciracusa, maior matemático da antiguidade, concebia o universo na forma de uma enorme esfera com o centro na Terra (imóvel) e raio igual à distância da Terra ao Sol.

Erastóstenes (276 a 175 A.c), matemático, astrônomo e geógrafo grego, diretor da biblioteca de Alexandria, determinou a inclinação da eclítica, investigou as medidas da Terra e calculou o meridiano terrestre.

Erastóstenes observou que em Syene, no solstício de verão, o Sol cruzava o meridiano no zênite, concluindo a sua localização no trópico de câncer, ilustrado na figura 1.

Em Alexandria, encontrou ainda no solstício de verão, que a distância zenital do sol quando cruzava o meridiano era de 1/50 da circunferência. Admitiu que os dois locais estivessem no mesmo meridiano e separados por uma distância de 5.000 estádias. Com isto calculou o raio da Terra.

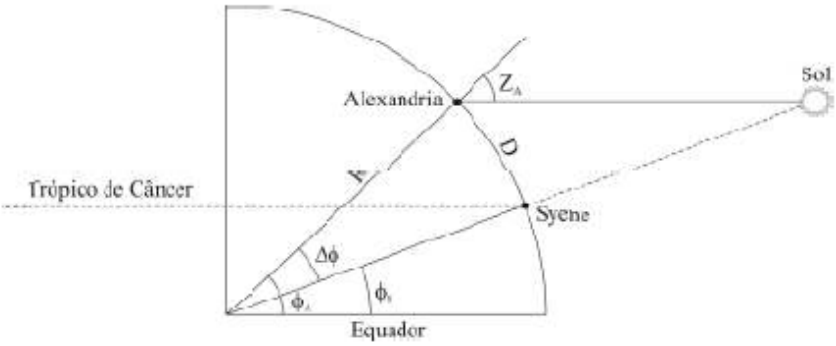


Figura 1 – Elementos utilizados por Erastóstenes para o cálculo do raio da Terra. (adaptada de, Silveira, 1999)

2.1.2 Datum

Segundo Beraldo e Soares (2000), datum é um sistema de coordenadas terrestres,referenciadas a um determinado elipsóide (datum horizontal) ou referenciado a um ponto de origem altimétrica (datum vertical), geralmente a um ponto com valores médios do nível domar determinados por marégrafos.Os datuns horizontais podem ainda ser classificados como datuns geocêntricos e datuns topocêntricos.

O datum horizontal topocêntrico tem origem em um ponto materializado na superfície da Terra e é a origem de um sistema geodésico implantado por meio de métodos clássicos de levantamento como a triangulação e a trilateração terrestre. Um exemplo de datum horizontal topocêntrico é o SAD69, cuja origem está no vértice da rede geodésica clássica implantada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) denominado Chuá, no Estado de Minas Gerais.

O datum horizontal geocêntrico tem origem no centro de massa da Terra. Um exemplo de datum horizontal geocêntrico é o WGS84 (World Geodetic System of 1984) e oSIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas).

O datum vertical é estabelecido com base nas observações do nível médio dos mares (NMM) e serve de referencial altimétrico para um sistema geodésico local. A origem altimétrica do sistema geodésico brasileiro é o nível médio do mar no marégrafo do porto de Imbituba – SC.

2.1.3 A Rede Gravimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro

A informação gravimétrica reveste-se de primordial importância em diversas áreas das ciências da Terra, como por exemplo, na Geodésia (estudo da forma -geóide- e dimensões da Terra), na geologia (investigação de estruturas geológicas) e na geofísica (prospecção mineral).

Em 1956, o IBGE iniciou um programa visando o estabelecimento do datum (sistema geodésico de referência) horizontal para o Brasil. Durante o projeto, foram determinadas mais de 2.000 estações gravimétricas em torno do Vertical Chuá, ponto origem, situado em Minas Gerais. Com o término dos trabalhos, o IBGE executou diversos outros levantamentos gravimétricos em conjunto com universidades e institutos de pesquisa.

Contudo, a gravimetria somente adquiriu um caráter sistemático a partir de 1990,quando o IBGE estabeleceu estações gravimétricas visando recobrir os grandes vazios de informação de aceleração da gravidade que existem, especialmente nas regiões norte, centro-oeste e nordeste do Brasil. Desde então, mais de 26.000 estações foram estabelecidas

nestas regiões, sendo mostrado na Figura 4 o mapa geodésico brasileiro adotado atualmente, datado de 2010, no Datum Sirgas2000 oficial do Brasil, processado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

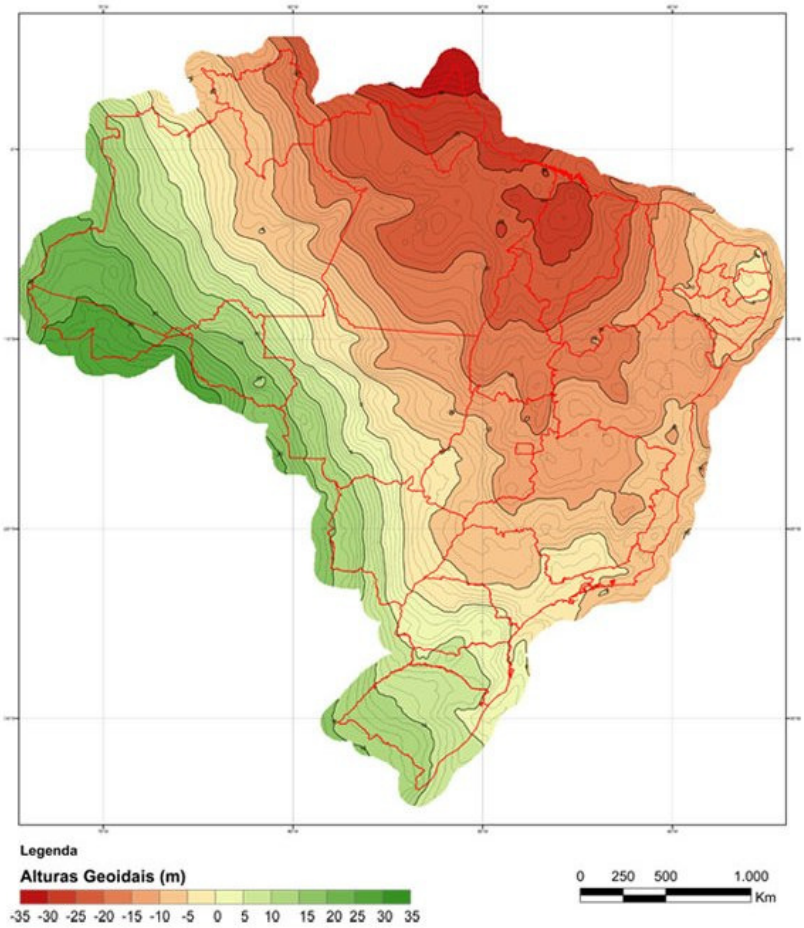


Figura 2 – Mapa do Modelo Geoidal Brasileiro no Datum Sirgas2000 (IBGE,2013)

Com a tecnologia GPS, a determinação do geóide reveste-se de grande importância no posicionamento vertical. Apesar do GPS ser um sistema tri-dimensional, as altitudes fornecidas por eles estão em um sistema altimétrico diferente daquele em que estão as obtidas pelos métodos clássicos de nivelamento (geométrico, trigonométrico e barométrico). Isso faz com que as altitudes GPS não possam ser diretamente comparadas com as altitudes e mapas fornecidos pelo IBGE e outros institutos brasileiros. O mapa geoidal representa a conversões entre os dois sistemas de altitude. Para que essa tecnologia GPS seja plenamente aproveitada, proporcionando economia de tempo e recursos, necessita-se de um mapa geoidal cada vez mais precisos, já que a precisão da transformação é função da precisão na determinação do geóide.

O IBGE, em convênio de cooperação científica com a Escola Politécnica da USP, mantém um projeto cujo objetivo é a determinação e constante refinamento do mapa de ondulações geoidais brasileiro. Neste sentido, tem disponibilizado versões cada vez mais precisas e atualizadas do mapa geoidal, sendo a última versão o MAPGEO2004.

A determinação de altitudes científicas (ortométricas, normais, etc), requer de informação gravimétrica para sua determinação. Assim sendo, desde 2006 campanhas de levantamentos gravimétricos vem sendo executadas sobre as linhas principais de nivelamento, com a finalidade de auxiliar no cálculo destas altitudes e facilitar a conexão da Rede Altimétrica Brasileira com as Redes dos países vizinhos.

2.1.4 Gravimetria

A forma usada para obter as variações da aceleração de gravidade de forma absoluta e relativa em toda camada terrestre é chamada de gravimetria. O valor de *g* determinado *absoluta* é retirado de uma estação, já a *relativa*, é a diferença de *g* entre as duas estações.

Galilei[12]introduziu dois métodos de medidas absolutas: pendular e "queda-livre" (free-fall). O primeiro foi utilizado para realizar a primeira medição da aceleração de gravidade no observatório de Potsdam, Alemanha, em 1906. A fórmula do pêndulo é a:

$$T= 2\pi \sqrt{\frac{1}{g}}$$

Figura 3 – fórmula do pêndulo

Onde T é o período, 1 o comprimento e g a aceleração de gravidade. A partir do comprimento e de uma série de observações do período do movimento durante um certo tempo, obtém-se o valor por meio de um método de ajustamento de observações (e. g, TORGE, 2001; GEMAEL, 1999).

O avanço tecnológico permitiu o desenvolvimento de aparelhos altamente sensíveis, entretanto, não se conseguiu aliar uma grande estabilidade. Com o decorrer do tempo os gravímetros sofrem variações em suas condições elásticas, o que se chama deriva e que necessita ser corrigida. Além disso, outros fatores devem ser examinados com certa frequência: sensibilidade, calagem dos níveis e calibração (e.g, GEMAEL, 1999; BLITZKOW, 2003; CASTRO JUNIOR, 2005).

A gravimetria no Brasil iniciou-se por volta de 1967, com determinação pendulares na Paraíba (GEMAEL, 1999). Desde então, alguns órgãos contribuíram e contribuem na organização, planejamento, execução e controle dos levantamentos gravimétricos.

Nos trabalhos gravimétricos atuais, a utilização do GNSS é essencial, permitindo obter as coordenadas geodésicas (φ, λ, *h)* com precisão centimétrica. Nesse caso, a aplicação do PVCG fixo é possível, uma vez que é conhecido o valor de *g* proveniente das medidas gravimétricas com sua posição no espaço.

2.2 LEVAMANTAMENTO ALTIMÉTRICO CONVENCIONAL

2.2.1 Noções de Altimetria

Altimetria é a parte da Topografia que trata dos métodos e instrumentos empregados no estudo e na representação do relevo do solo. Sabe-se não ser apenas a projeção horizontal de um terreno e o conhecimento de sua área obtida, por levantamento planimétrico, que têm interesse prático, mas também o estudo e a representação de seu relevo, procurando complementar os dados da planimetria como outros tantos que mostrem e identifiquem as formas e os acidentes do terreno. (COMASTRI et al, 1998)

O estudo do relevo de um terreno, planimetricamente conhecido, consiste na determinação das alturas de seus pontos superfície de nível que se toma como elemento de comparação, denominada equipotencial. (COMASTRI et al, 1998)

2.2.2 Nivelamento Geométrico

No nivelamento geométrico, também denominado direto, as diferenças de nível são determinadas com emprego de instrumentos que fornecem retas do plano horizontal. A interseção deste plano com a mira, colocada sucessivamente nos pontos topográficos em estudo, permite determinar as alturas de leituras nos respectivos pontos. Pela diferença entre os valores encontrados, chega-se às diferenças de níveis procuradas. (COMASTRI et al, 1998)

2.2.2.1 Nivelamento Geométrico Simples

É aquele que , com uma única posição do aparelho, no terreno, consegue determinar as diferenças de nível entre todos os pontos topográficos em estudo.

Assim, desejando-se determinar a diferença de nível entre os pontos A e,instala-se o aparelho, devidamente nivelado com auxílio dos parafusos calantes, em uma posição qualquer do terreno.

Em seguida, focalizam-se bem os fios do retículo e visa-se a mira falante, colocada verticalmente no ponto topográfico A. Atuando agora no parafuso de enfoque da objetiva, procurando obter uma imagem o mais nítida possível da mira, procede-se à leitura, tendo sempre como referência o fio médio do retículo, cujo dado obtido é devidamente anotado. Determinada a leitura da mira em A, gira-se a luneta, focaliza-se a mira colocada agora no ponto B e, atendida as recomendações anteriores, procede-se à leitura correspondente. A

diferença de nível entre A e B será determinada pela diferença entre as leituras processadas no ponto A = 2,45 m e em B = 0,65 m, ou seja dn (AB) = 1,80 m. (COMASTRI et al, 1998)

2.2.2.2 Nivelamento Geométrico Composto

Entende-se por nivelamento geométrico composto uma sucessão de nivelamentos geométricos simples, devidamente amarrados uns aos outros pelas chamadas estacas de mudanças. Este processo é empregado quando se trata de nivelamento em terreno de desnível acentuado, em que a determinação da diferença de nível total exige mais de uma estação do aparelho. (COMASTRI et al, 1998)

Desejando determinar a diferença de nível de A para B, e tratando-se de terreno acidentado, por melhor que seja posicionado o aparelho no terreno, não se consegue visar, simultaneamente, os pontos considerados, pois o plano de visada intercepta o terreno abaixo do ponto B.

2.2.3 Nivelamento Trigonométrico

É aquele em que a diferença de nível entre dois ou mais pontos topográficos é determinada por meio de resoluções de triângulos situadas em plano verticais, que passam pelos pontos cuja diferença de nível se deseja. (COMASTRI et al, 1998)

O nivelamento trigonométrico baseia-se, portanto, no valor da tangente do ângulo de inclinação do terreno, pois o valor dessa função trigonométrico representa sempre a diferença de nível por metro de distância horizontal medida no terreno, entre os pontos considerados. Assim, determinada a distância horizontal medida no terreno entre eles, a diferença de nível é calculada aplicando-se a seguinte fórmula: $dn = dhtg\ \alpha$.

2.3 LEVANTAMENTO USANDO O SISTEMA GNSS

2.3.1 Métodos de levantamento usando o sistema GNSS

O Global Navigation Satellite System - GNSS engloba o Sistema de Posicionamento Global - GPS e os demais sistemas do mesmo gênero. O posicionamento por GNSS permite a determinação de coordenadas a partir de vértices do Sistema Geodésico Brasileiro ao vértice de referência do georreferenciamento (C1), determinação de coordenadas dos vértices de poligonais de apoio (C2) e a determinação de coordenadas dos vértices que

definem o perímetro do imóvel rural (C4, C5 e C7). (INCRA, 2013)

2.3.1.1Posicionamento Relativo

No posicionamento relativo, as coordenadas do vértice de interesse são determinadas a partir de um ou mais vértices de coordenadas conhecidas. Neste caso é necessário que dois ou mais receptores GNSS coletem dados simultaneamente, onde ao menos um dos receptores ocupe um vértice de referência (Figura 5). (INCRA, 2013)

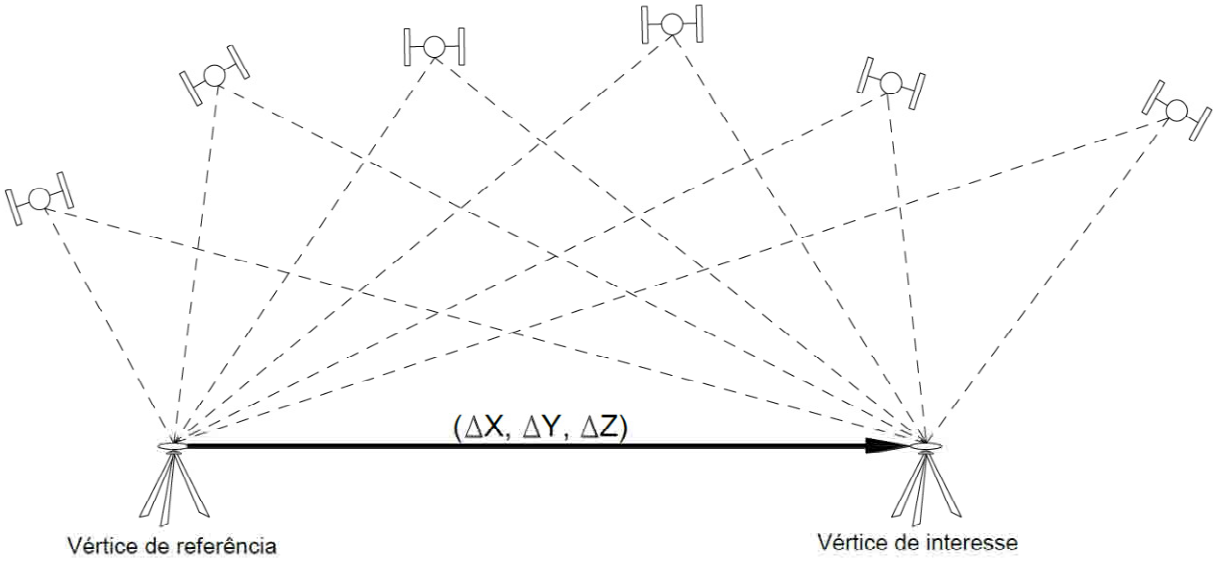


Figura 4 – Posicionamento Relativo (IBGE,2013)

2.3.1.2Posicionamento Relativo Estático

No método de posicionamento relativo estático, dois ou mais receptor rastreiam simultaneamente os satélites visíveis, por um período de tempo que varia de acordo com o comprimento da linha de base e a precisão requerida, conforme segue na Tabela 1. Este método pode ser adotado para definir vértices das classes (INCRA, 2013).

Linha de Base (km)	Tempo Mínimo (minutos)	Observáveis	Solução da Ambiguidade	Efemérides
0 - 10	20	L1 ou L1/L2	Fixa	Transmitidas ou Precisas
10 - 20	30	L1/L2	Fixa	Transmitidas ou Precisas
10 - 20	60	L1	Fixa	Transmitidas ou Precisas
20-100	120	L1/L2	Fixa ou Flutuante	Transmitidas ou Precisas
100 - 500	240	L1/L2	Fixa ou Flutuante	Precisas
500 - 1000	480	L1/L2	Fixa ou Flutuante	Precisas

Tabela 1- Características das sessões de rastreio para posicionamento relativo estático GNSS (INCRA,2013)

Para levantamento no módulo estático o IBGE preconiza especificações de rastreio conforme a Tabela 2,que divergem em relação ao tempo versos extensão da linha base.

Linha de Base	Tempo Mínimo de Observação	Observáveis	Precisão
00 – 05 Km	05 – 10 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
05 – 10 Km	10 – 15 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
10 – 20 Km	10 – 30 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
20 – 50 Km	02 – 03 hr	L1/L2	5mm + 1 ppm
50 – 100 Km	mínimo. 03hr	L1/L2	5mm + 1 ppm
>100 Km	mínimo. 04 hr	L1/L2	5mm + 1 ppm

Tabela 2- Características das sessões de rastreio para posicionamento relativo estático GNSS (IBGE,2008)

Levantamentos realizados em linhas de base com comprimento inferior a 10 km, cujos receptores estejam estacionados em locais onde não haja ocorrência de obstrução e sob condições ionosféricas favoráveis, 20 minutos são suficientes para se conseguir solução das ambiguidades com receptores de simples frequência. Esta situação se modifica conforme as condições de localização das estações e com o aumento do comprimento da linha de base. No caso de linhas de base maiores que 10 km recomenda-se a utilização de receptores de dupla frequência, bem como a utilização de efemérides e do erro do relógio do IGS. A precisão conseguida com esta técnica de posicionamento varia de 0,1 a 1 ppm (MONICO, 2000).

2.3.1.3 Posicionamento Relativo Estático Rápido

O posicionamento relativo estático rápido segue as características do posicionamento relativo estático diferenciando somente no tempo de ocupação, que para efeitos desta Norma, varia de 5 a 30 minutos. Neste método mantém-se um ou mais receptor(es) coletando dados na estação de referência enquanto o(s) outro(s) receptor(es) percorre(m) as estações de interesse. Não há necessidade de continuidade de rastreio durante o deslocamento entre uma estação e outra. Para que os resultados apresentem razoável nível de precisão, o vetor das ambiguidades envolvido em cada linha de base deve ser solucionado, ou seja, fixado como inteiro. O comprimento de linha de base para este tipo de posicionamento deve ser de no máximo 20 km. (INCRA, 2013).

Este método pode ser adotado para definir vértices das classes C2, C4, C5 e C7. No caso de determinação de vértices classe C2, deve-se obrigatoriamente validar a solução com ajustamento em rede. (INCRA, 2013).

2.3.1.4 Posicionamento Relativo Semicinemático (Stop and Go)

O posicionamento relativo semicinemático baseia-se em determinar rapidamente o vetor das ambiguidades e mantê-las durante o levantamento das estações de interesse. A utilização do método é condicionada à solução fixa do vetor das ambiguidades e manutenção da integridade da observação da fase da portadora, sendo que no caso de perda de ciclos o receptor deverá ser reiniciado.

Este método requer que cinco ou mais satélites em comum sejam rastreados simultaneamente na estação base e demais estações. O comprimento de linha de base para este tipo de posicionamento deve ser de no máximo 20 km. Este método pode ser adotado para definir somente vértices das classes C4, desde que garantido a geração correta dos arquivos em formato Rinex (INCRA, 2013).

2.3.1.5 Posicionamento Relativo Cinemático

No posicionamento relativo cinemático tem-se como observação básica a fase da onda portadora. Este método consiste em determinar um conjunto de coordenadas para cada época de observação, onde um receptor ocupa a estação de referência enquanto o outro se desloca sobre as feições de interesse.

A utilização deste método é condicionada a integridade da observação da fase da onda portadora, sendo que no caso de perda de ciclos o receptor deverá ser reiniciado. O comprimento da linha de base, aconselhável, para este tipo de posicionamento deve ser de no máximo 20 km. Este método pode ser adotado para definir somente vértices da classe C5. (INCRA, 2013).

2.3.2 Altitude geométrica ou elipsoidal

Na definição de Beraldo e Soares (2000), a altitude geométrica ou altitude elipsoidal é a altitude referenciada ao elipsóide do datum horizontal escolhido e é diferente para cada um(datum local).

De uma maneira geral, pode-se também definir a altitude geométrica ou altura elipsoidal como alinha que liga um ponto qualquer na superfície terrestre à superfície do elipsóide de referência, orientada à normal deste elipsóide e identificada por h (Silveira,1999).

2.4 MODELOS GEOIDAL BRASILEIRO

2.4.1 Evolução do Modelo Geoidal Brasileiro

O primeiro modelo geoidal brasileiro MAPGEO 96 (denominado de V.2.0) foi desenvolvido pelo IBGE em parceria com a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP.

Foram utilizadas as interpolações das ondulações geoidais do mapa geoidal, versão 1992, obtidos a partir das alturas geoidais determinadas por satélite e do modelo geopotencial GEMT2. O programa foi desenvolvido no DOS e permitia a entrada de dados pelo teclado ou em forma de arquivo.

O erro absoluto, para o Datum SAD69 era de 3 metros e o relativo de 1cm/km. Com este modelo geoidal não havia precisão suficiente para efetuar o transporte de altitude ortométrica no módulo absoluto ou mesmo no modo relativo.

Com a ocupação de alguns RN's e introdução de estações gravimétricas no modelo o IBGE lançou, no segundo semestre de 2004, o MAPGEO 2004 com precisão relativa de 1 metro.

O modelo geoidal passou a atender de forma satisfatória, o transporte de altitude ortométrica utilizando as diferenças de ondulação geoidais. No modelo absoluto o erro cometido, mesmo melhor que um metro, inviabilizava o uso em projetos de engenharia, principalmente em projetos de estradas.

Em uma campanha de implantação de estações gravimétricas e ocupações de RN's, transformando-os em vértices SAT's (coordenadas planas precisas e componentes verticais) incorporando-os as redes estaduais, houve um aprimoramento do modelo geoidal.

Com estas melhorias, o modelo geoidal brasileiro passou a ter precisão melhor que 50 cm no modo absoluto e em algumas regiões, próximas dos RN's ocupados (pontos de injunções) o modelo apresenta precisão melhor que 30 cm (modo absoluto).

A partir do MAPGEO a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, em sua norma, para implantação de marcos geodésicos em UHEs e PCHs, recomendou a utilização da técnica GNSS com a devida correção da ondulação geoidal denominada pela ANEEL de compensação geoidal.

2.4.2 Criação do Novo Modelo Geoidal 2010

O novo modelo geoidal (quase-geoidal) para o Brasil denominado MapGeo2010, com resolução de 5', foi calculado utilizando mais de 928.000 pontos de gravimetria terrestre para a América do Sul. Para o Brasil, 13.057 novos pontos gravimétricos foram introduzidos todos devidamente validados em relação ao modelo geoidal anterior. O Modelo Digital de Terreno (MDT) escolhido foi o SAM3s_v2, o qual baseia-se no SRTM - Shuttle Radar Topography Mission.

O esquema para a determinação do geóide pode ser resumido em 5 etapas:

1- Cálculo das anomalias ar livre pontuais através de dados gravimétricos terrestres (coordenadas, altitude ortométrica e aceleração de gravidade);
2- Cálculo das anomalias de Bouguer completa, para posterior obtenção das anomalias ar livre médias em quadrículas de 5'. Para esses cálculos são necessárias as anomalias ar livre pontuais e o modelo digital de terreno;
3- Cálculo das anomalias de gravidade de Helmert na superfície da Terra (Figura 5), obtidas adicionando à anomalia ar livre média, o efeito topográfico direto, o efeito atmosférico direto e efeito topográfico indireto secundário. Os efeitos topográficos e atmosférico são obtidos utilizando o MDT
4- Integração de Stokes a qual utilizou-se a técnica da transformada rápida de Fourier (FFT). O modelo geopotencial EGM2008, até o grau e ordem 150, foi usado como referência para remover a componente de longo comprimento de onda da anomalia média de Helmert e para repor no final a mesma componente na altura geoidal, no que é denominado de técnica "remover-calcular-repor".
5- Adição do efeito indireto topográfico primário nas alturas geoidais referidas a um "geoide fictício" denominado co-geoide, para obtenção da alturas geoidais do MAPGEO2010.

2.4.3 Avaliação do Modelo Geoidal 2010

Para avaliação do modelo MAPGEO2010 foram utilizadas 804 referências de nível (RRNN) que tiveram suas coordenadas geodésicas determinadas através de observações GPS, agora denominadas GPS/RN. Assim, em uma primeira aproximação, consistência entre o modelo geoidal MAPGEO2010 e o sistema altimétrico brasileiro derivado do nivelamento geométrico foi obtida pela diferença entre estas duas informações, resultando num erro médio padrão de +/- 0,32 m para as áreas mais desenvolvidas do país. Isso significa que no Brasil, poderão ocorrer erros maiores que 0,32 m, em regiões onde existe carência de informações para subsidiar a elaboração do modelo, como por exemplo, na região amazônica onde há uma carência de informações do nivelamento geométrico que subsidiem a avaliação do modelo. Apresenta estas diferenças em forma de isolinhas as quais foram obtidas através de uma grade com resolução de 5', abaixo na Figura 6 segue o diagrama de discrepâncias.

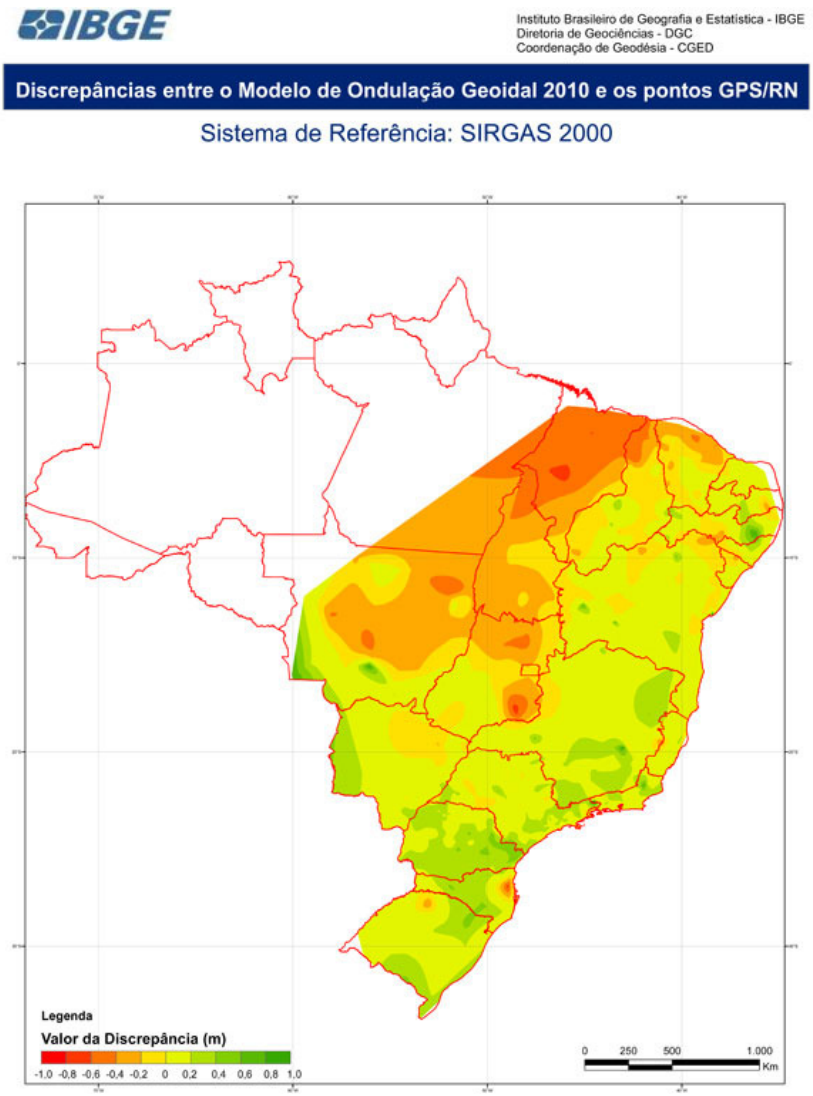


Figura 5–Mapa de discrepânciasentre o modelo de ondulação geoidal MapGEO2010 e os pontos GPS/RN levantados pelo próprio IBGE. (Fonte: IBGE, 2013).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

À área teste foi a região do litoral e o agreste do estado de Pernambuco, sendo selecionadas no banco de dados geodésico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Três Referências de Nível pertencentes a rede de 1ª Ordem, localizadas na cidade de Garanhuns/PE (RN-371Q), Gravatá/PE (RN-1814H) e na cidade do Recife/PE (RN-3640F) conforme mostrado na Figura 7.

Os marcos altimétricos usados como referência para realizar o transporte de altitudes ortométricas e processamento de rastreio GNSS do presente trabalho são pertencentes a rede geodésica altimétrica de 1ª Ordem brasileira, implantada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística na década 50, sofrendo posteriormente uma reconstituição a partir da década de 80, como também um ajustamento altimétrico simultâneo desde no ano de 2011 (15/06/2011).

Figura 6 – Localização dos marcos de Referência de Nível do IBGE usados nos levantados.

Os marcos altimétricos de primeira ordem do IBGE, 371Q(Garanhuns/PE) e 1814H (Gravatá/PE), estão numa localização que inviabilizava o rastreio GNSS, e tiveram suas altitudes ortométricas transportadas para pontos materializados em locais livres de obstáculos e com boas condições de rastreabilidade, sendo implantados os marcos M1 (Garanhuns/PE)e M2 (Gravatá/PE), já para o RN-3640F (Recife/PE) não houve necessidade de realizar o transporte, pois o mesmo encontra-se localizado em um ponto com boas condições de rastreabilidade e livre de obstáculos que viessem a impedir as leituras dos sinais dos satélites da constelação GNSS ou gerar multicaminhamento nos sinais.

Foi realizado o transporte de altitude ortométrica para o RN-371Q (Garanhuns/PE) e RN-1814H (Gravatá/PE) por meio de nivelamento geométrico simples e nivelamento trigonométrico, para realizar uma comparação entre os resultados alcançados pelos dois métodos de nivelamento, já no RN-3640F (Recife/PE) não foi necessário realizar transporte de altitude ortométrica, pois o levantamento GNSS foi realizado centrado no próprio marco de RN, a Figura 8 mostra a descrição das chapas de identificação dos marcos de Referência de Nível.

(a) (b) (c)

Figura 7- Vista do RN-371Q – Gravatá (a); RN-1814H – Garanhuns (b); RN-3640F - Recife (c)

Para o transporte de Coordenadas planimétricas e na determinação das alturas elipsoidais dos marcos implantados e rastreados (RN-371Q e RN-1814H) e apenas rastreado (RN-3640F), foram usados os vértices da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) localizados nas cidades de Campina Grande/PB (PBCG), Arapiraca/AL (SAT 93237- ALAR) e Recife (SAT- 93110-1999- RECF), conforme mostrado na Figura 9.

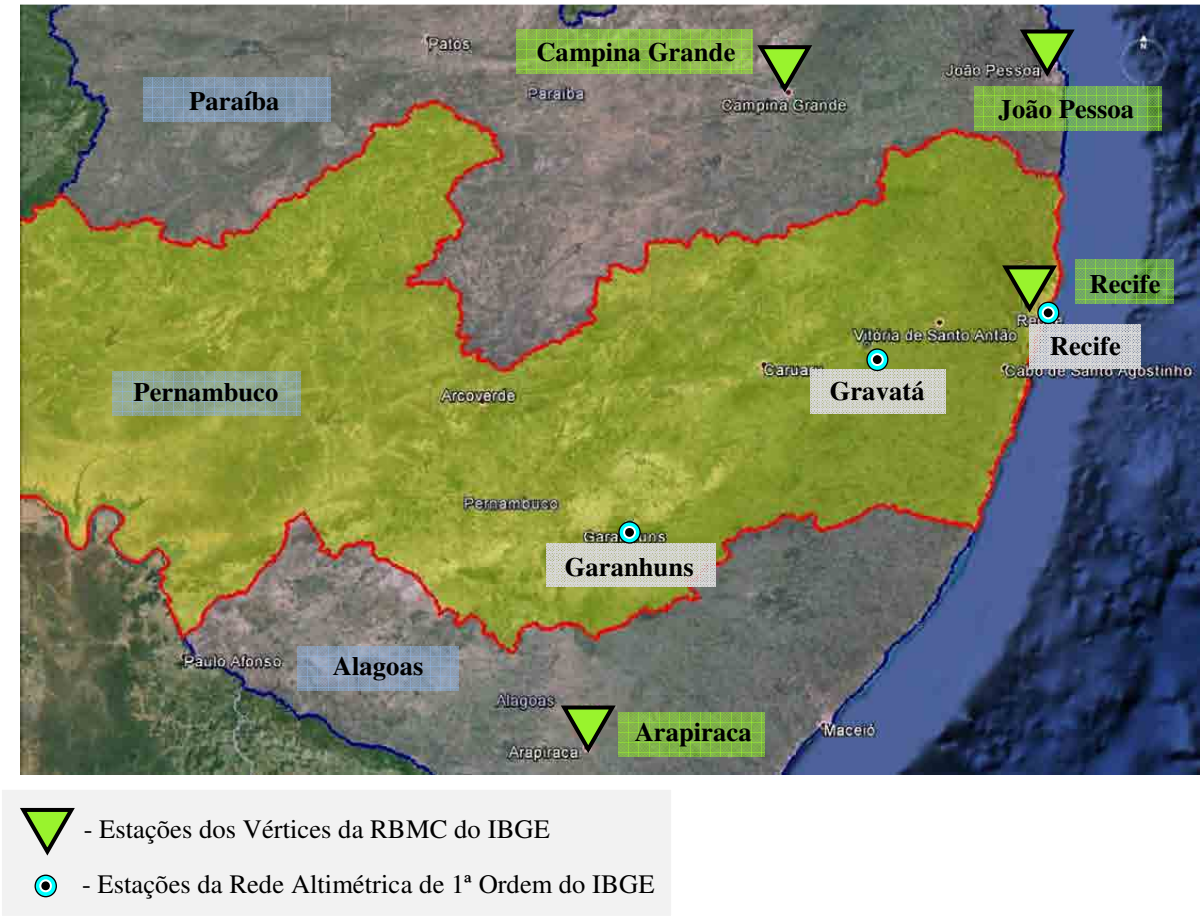


Figura 8 – Localização das Estações pertencentes a RBMC do IBGE usadas nos levantados

A escolha dos vértices para o transporte da altitude elipsoidal baseou-se na variação da altitude da região, sua posição geográfica em relação a forma do Mapa Estadual e proximidade com as estações da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) usadas como estações base no pós-processamento, sendo estabelecido o rastreio e monumentação dos marcos iniciaria ao nível médio do mar (região litorânea) e a partir desse ponto os próximos pontos a serem levantados deveriam se posicionar longitudinalmente no Estado de Pernambuco, com uma cadência de altitude variando aproximadamente 400m (região do agreste), esse critério permitiu avaliar o comportamento das forças gravitacionais que interferem na superfície geoidal e consequentemente nas alturas ortométricas, abaixo segue a Tabela 3 onde é mostrada a localização das Referências de nível do IBGE usadas nos estudos.

Tabela 3 - Localização das Referências de nível do IBGE usadas nos estudos.

Número do RN	Localização	Distância em relação ao Litoral do Estado(km)	Altitude Ortométrica (m)
3640F	Recife/PE	0,00	3,245
1814H	Gravatá/PE	80,00	460,653
371Q	Garanhuns/PE	200,00	868,648

Para localizar as Referências de Nível, além das descrições de roteiro e fotografias contidas nos relatórios das estações geodésicas, utilizou-se um receptor de navegação da marca Garmin, modelo Nüvi3460, alimentado com as coordenadas aproximadas extraídas da carta do mapeamento topográfico sistemático na escala 1:50.000, contidas nos relatórios do IBGE, que ajudaram na identificação da região de localização dos marcos.

3.2 TRANSPORTE DE ALTITUDE ORTOMÉTRICA

As Referências de Nível 371Q (Garanhuns/PE) e 1814H (Gravatá/PE) foram transportadas para os marcos M1 implantado com chapa metálica fixada numa base de concreto na praça Santo Antônio em frente a Igreja de Santo Antônio, matriz da cidade de Garanhuns/PE e o marco M2 implantado com chapa metálica fixada no piso da praça em frente a igreja de Santa Luzia, na Rua do Norte, bairro Norte na cidade de Gravatá/PE (Figuras 10 e 11), pois suas localizações inviabilizavam o rastreio GNSS e tiveram suas altitudes transportadas utilizando nível óptico (leitura visual da mira falante) da marca Leica (Figuras 12, 13, 14 e 15), modelo NA700, como também foi realizado um transporte com

estação total(nivelamento trigonométrico) da marca Pentax, modelo de estação total R-425N (Figuras 16 e 17).

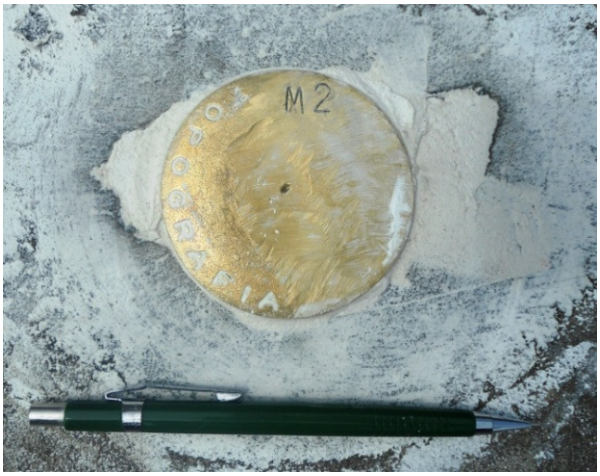


Figura 9 - Detalhe do Marco planialtimétrico implantado M2 implantado em Gravatá/PE.

Figura 10 - Detalhe do Marco planialtimétrico M1 implantado em Garanhuns/PE.x'

Figura 11 - Levantamento com Nivelamento Geométrico com o Nível Óptico e Mira Falante para o transporte de cota do RN-1814H em Gravatá/PE para o Marco **M2**.

Figura 12 - Detalhe da régua na Mira Falante para o transporte de cota do RN-1814H em Gravatá/PE para o Marco **M2**.

Figura 13 - Nivelamento Geométrico com o Nível Óptico do RN-1814H em Gravatá/PE, usando Mira Falante para as leituras e transporte da cota no Marco **M2**.

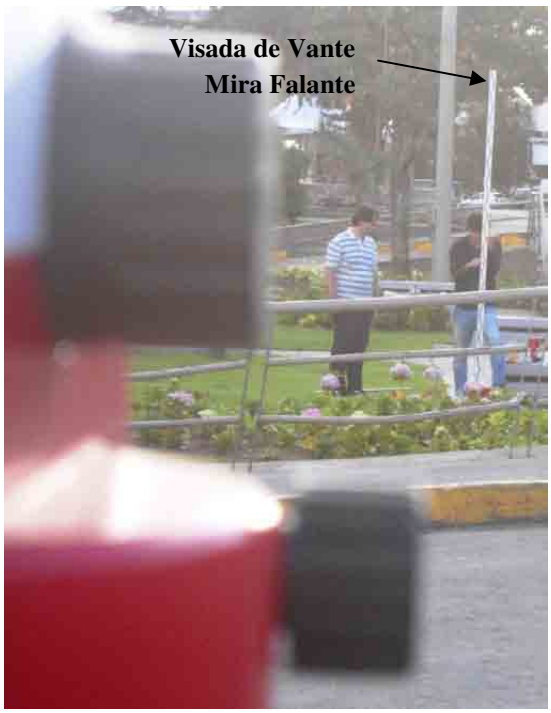


Fig. 14 - Nivelamento Geométrico com o Nível Óptico no Marco Planialtimétrico implantado **M1**em Garanhuns/PE, usando Mira Falante para as leituras e transporte da cota do RN-371Q.

Figura 15 - Nivelamento Trigonométrico com a Estação Total do RN-1814H em Gravatá/PE, usando o Bastão com prisma refletivo para as leituras e transporte da cota para o Marco **M2**.

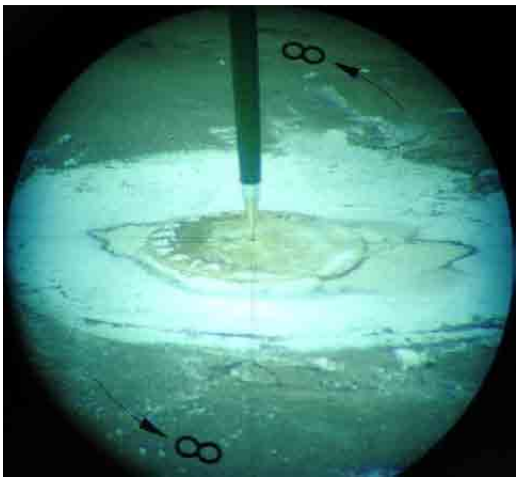


Figura 16 - Detalhe da Visada de Vante no Marco planialtimétrico implantado **M2** durante a operação de Nivelamento Trigonométrico com a Estação Total, sem o uso de prisma.

3.3 TRANSPORTE DE COORDENADAS E DETERMINAÇÃO DA ALTURA ELIPSÓIDAL

Para o transporte das coordenadas e determinação da altura Elipsoidal para os marcos M1 (Garanhuns/PE) e M2 (Gravatá/PE) implantados e para o marco RN-3640F apenas rastreado, utilizou-se um receptor GNSS multifrequência da marca Tech Geo, modelo Zênite 2, o receptor usado têm precisão nominal de 2,5mm ± 0,5ppm (modo estático) x comprimento da linha de base e é capaz de receber sinais das constelações NAVSTAR/GPS e GLONASS por meio das frequências L1 e L2.

O receptor GNSS multifrequência da marca Tech Geo apresenta um sistema de nivelamento eletrônico capaz de indicar através de um nível de Bolha eletrônico esférico, qual a situação do nivelamento da antena. Isso é possível devido a um sensor interno que mede a inclinação e os movimentos do aparelho, permitindo assim uma melhor qualidade e precisão na coleta dos dados (Figura 18).

Figura 17 – Receptor GNSS multifrequência da marca TechGeo, modelo Zênite 2. (Fonte: http://site.techgeo.com.br/produtos/zenite2/, acesso: 16/07/2013).

Nas Figuras 19 e 20 são observadas as configurações do tempo de duração do rastreio (10800 segundos), a altura da antena medida com trena (1643 mm), a descrição do ponto (M1_GAR), marcos rastreado em Garanhuns/PE no dia 07/08/2013, como também o cronômetro regressivo com a contagem do tempo de rastreia pré-configurado e no canto superior esquerdo o nível de bolha esférico eletrônico usado no nivelamento (calagem) da antena.

Figura 18 - Vista da coletora do Receptor GNSS Zênite 2, usado no levantamento para configurar as operações de rastreio.

Figura 19 - Detalhe da tela da coletora, mostrando o programa Coleta Fácil, e no canto superior esquerdo o nível de bolha esférico eletrônico usado no nivelamento (calagem) da antena.

3.4 RASTREIO GNSS

Para o rastreio GNSS foi feito no RN-3640F (Recife/PE) uma única seção de 1 hora de duração no dia 19/10/2013, tempo este estabelecido devido a proximidade com a estação base (SAT-93110-1999- Recife/PE) que é de aproximadamente 9,0 km (linha de base), para o marco M2 (Gravatá/PE) implantado, foi feita uma única seção de 2 horas de duração no dia 07/09/2013, devido a proximidade com a estação base (SAT- 93110-1999- Recife/PE)que é de aproximadamente 80,0 km (linha de base), já para o Marco M1 (Garanhuns/PE) implantado, foram feitas duas seções de 3 horas de duração em dois dias distintos (07/09/2013 e 08/09/2013), para possibilitar o processamento com no mínimo duas estações base a (SAT-93110-1999- Recife/PE)que tem distância aproximada de 193,0 km (linha de base) para o marco M1 e a estação base (SAT-93237- Arapiraca/AL)que tem distância aproximada de 96,0 km (linha de base) para o marco M1 e para o marco de Campina Grande/PB (PBCG).

Nas operações de rastreio, foram realizadas as medições das alturas das antenas em relação aos marcos rastreados, sendo essas medições realizadas utilizando uma trena de fibra de vidro previamente calibrada e disposta verticalmente em relação ao plano de referência horizontal gerado a partir do topo do marco rastreado (Figuras 21, 22 e 23), tendo como resultados, as alturas verticais da face inferior da antena ao topo dos marcos rastreados indicadas na Tabela 4.

Figura 20– Leitura da Altura da Antena GNSS Zênite 2no Marco Planialtimétrico implantado **M1**em Garanhuns/PE, usando uma trena de fibra de vidro previamente calibrada (h_{ant}=1609 mm da 1ª Seção e h_{ant}=1539mm da 2ª Seção).

Figura 21– Leitura da Altura da Antena GNSS Zênite 2no Marco Planialtimétrico implantado **M2**em Gravatá/PE, usando uma trena de fibra de vidro previamente calibrada (h_{ant}=1621 mm).

Figura 22– Leitura da Altura da Antena GNSS Zênite 2no RN-3640F (Recife/PE), usando uma trena de fibra de vidro previamente calibrada (h_{ant}=1606 mm).

Tabela 4–Alturas da antena Zênite 2 no momento dos rastreio dos marcos.

Local	Data	Altura da Antena (linha laranja no eixo horizontal) (mm)	Altura da Antena Corrigida (face inferior da antena) (mm)
Garanhuns/PE	7/set/13	1643	1609
	8/set/13	1573	1539
Gravata/PE	7/set/13	1655	1621
Recife/PE	19/out/13	1640	1606

O transporte das altitudes elipsoidais para os marcos implantados M1 e M2 e para o RN-3640F, foi realizado atravésdo rastreio dos sinais emitidos pelos satélites dos sistemas de posicionamento baseados emsatélites artificiais integrantes do GNSS, por meio de trilateração espacial utilizando-se ométodo interferométrico com o receptor configurado no modo estático (Figuras 24, 25 e 26).

O receptor foi configurado com taxa de gravação (intervalo de coleta deépocas) de 15 segundos, coincidente com a taxa de gravação das estações da RBMC, no intuito de se otimizar a coleta de dados.

Figura 23 – Rastreio GNSS com o receptor Zênite 2no Marco Planialtimétrico implantado **M1**na cidade de Garanhuns/PE, durante a 2ª Seção (08/09/2013).

Figura 24–Rastreio GNSS com o receptor Zênite 2no Marco Planialtimétrico implantado **M2**na cidade de Gravatá/PE (07/09/2013).

Figura 25–Rastreio GNSS com o receptor Zênite 2no RN-3640Fna cidade de Recife/PE,durante Seção única (19/10/2013).

3.5 DETERMINAÇÃO DAS ONDULAÇÕES GEOIDAIS

Para a determinação das ondulações geoidais nos três marcos levantados, foi usado o mapa geoidal brasileiro através do software interpolador MapGeo2010 versão 1.0, desenvolvido e distribuído pelo IBGE/EPUSP (Figura 27), como também para fins de comparação e avaliação da consistência do modelo geoidal interpolador MapGeo2010, foi calculada as ondulações geoidais levantadas em campo, através da diferença entre a altitude elipsoidal transportada dos RN's do IBGE e as alturas elipsoidais medidas pelo rastreio GNSS.

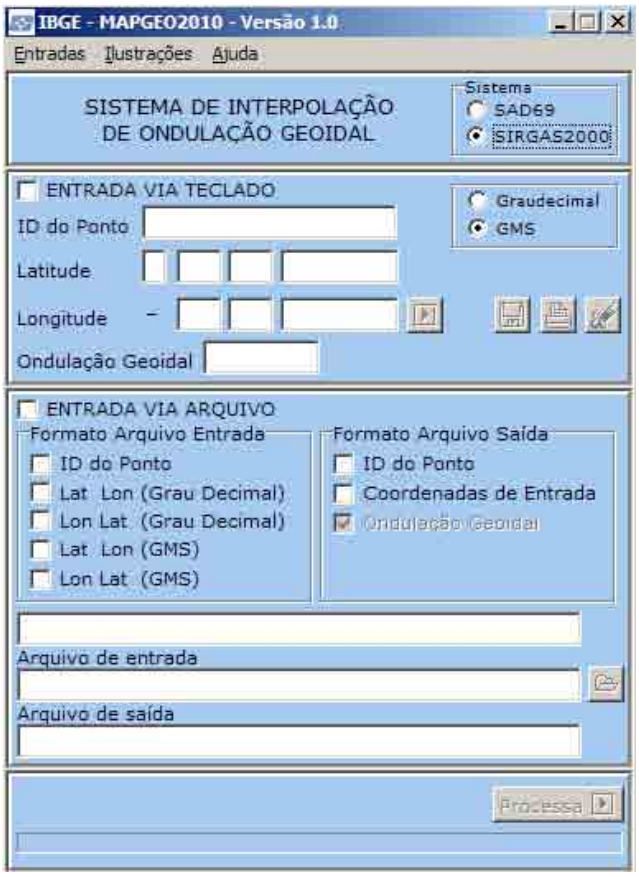


Figura 26 – Vista da Janela do Programa de Interpolação da Ondulação GeoidalMapGeo2010

Após o processamento e o ajustamento dos dados GNSS, gerou-se um tabela contendo as coordenadas geodésicas (latitude e longitude) no formato de entrada aceito pelo software interpolador do mapa geoidal brasileiro MapGeo2010. Este formato consistiu em linhas contendo a identificação do ponto (nome), a latitude e a longitude em grau decimal. Alimentou-se o MapGeo2010 com esta tabela, configurou-se o software para o datum SIRGAS2000 e gerou-se uma nova tabela contendo, além das informações do formato de entrada, as alturas geoidais para cada referência de nível.

3.6 PROCESSAMENTO DO RASTREIO COM RECEPTOR GNSS

Para o processamento dos dados coletados pelo receptor GNSS foi usado o Software *GTR* Processor a partir dos dados descarregados do receptor GNSS utilizado nos rastreios. Não foi necessária a conversão dos arquivos para o formato de intercâmbio RINEX (Receiver Independent Exchange Format) pelo fato dos formatos nativo do receptor usado ser compatível com Software GTR Processor(Figura 28).

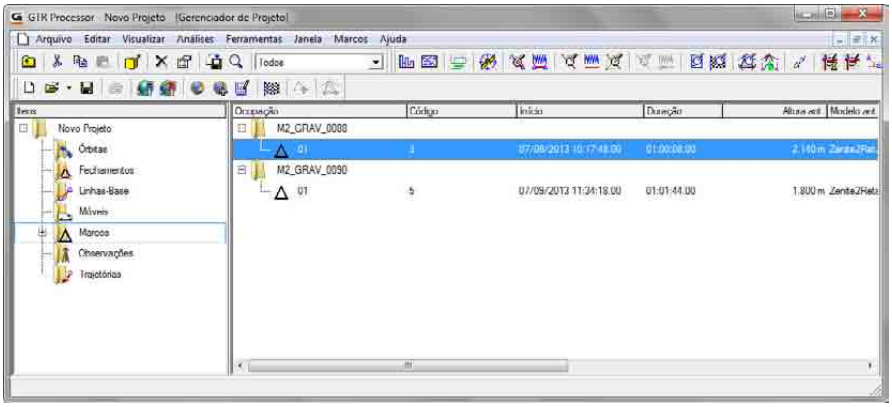


Figura 27 – Vista da Janela do Programa de processamento GNSS GTR Processor.

3.7 PROCESSAMENTO DOS DADOS DA ESTAÇÃO TOTAL

O nivelamento trigonométrico foi realizado com a Estação Total Pentax e processado nos programas DL-02 e PowerCivil for Brazil SS2, sendo o último usado no processamento do perfil longitudinal experimental, locado e nivelado trigonometricamente em campo um eixo de estaqueamento a cada 5m, localizado na extremidade da calçada (sobre o meio fio) do entorno da Praça Santo Antônio na cidade de Garanhuns/PE (Figura 29).

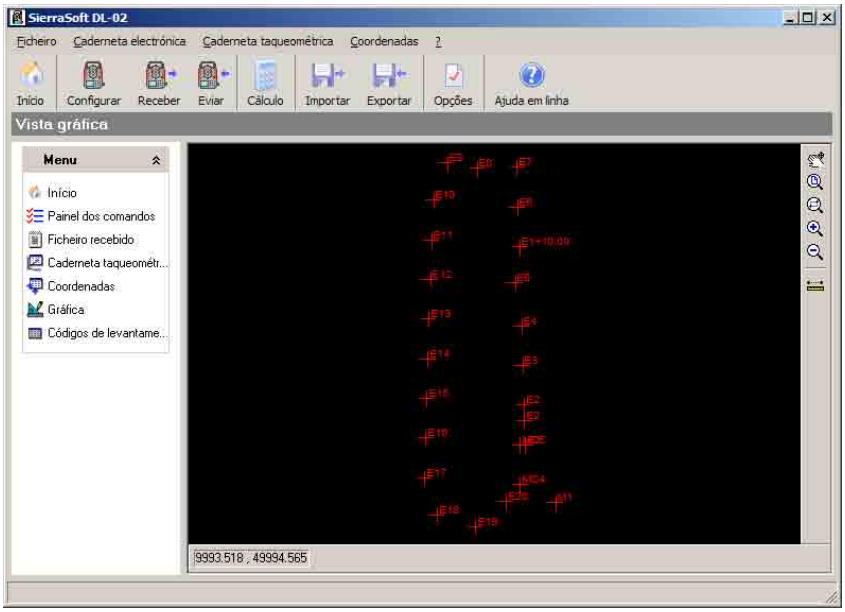


Figura 28 – Vista da Janela do Programa de processamento DL-02, mostrando os pontos correspondentes às estacas do eixo locado e levantado altimetricamente.

Para o transporte das altitudes ortométricas para os marcos implantados M1 e M2, foi usada uma caderneta tipo de anotações de campo para nivelamento trigonométrico conforme mostrada abaixo (Figura 30).

Local: Data:

Estação	Ponto Visado	Ai (m)	Ângulo Vertical	Distância Horizontal (m)	Distância Inclinada (m)	Altura do Prisma (m)	ΔH (m)	Cota (m)

Figura 29 – Caderneta padrão de campo usada nas anotações do transporte das altitudes ortométricas para os marcos implantados M1 e M2, por nivelamento trigonométrico.

3.8 PROCESSAMENTO DOS DADOS DO NÍVEL ÓPTICO

O nivelamento geométrico foi realizado com o Nível óptico Leica e os dados levantados em campo foram processados no programa de Planilha eletrônica, o Microsoft Excel, sendo todas as anotações das leituras da mira falante realizadas nos transportes das altitudes ortométricas dos marcos M1 (Garanhuns/PE)e M2 (Gravatá/PE) implantados , feitos numa caderneta padrão de campo de nivelamento geométrico (Figura 31), já que o equipamento usado no nivelamento geométrico, foi o óptico mecânico, portanto não possuía um processador de memória para armazenamento dos dados coletados em campo.

Local: Data:

Estação	Ponto Visado	Leitura da Mira (mm)				PR (m)	Altitude Ortométrica (m)
		Ré		Vante			
		Fio Superior		Fio Superior			
		Fio médio		Fio médio			
		Fio inferior		Fio inferior			
		Fio Superior		Fio Superior			
		Fio médio		Fio médio			
		Fio inferior		Fio inferior			

Figura 31 – Caderneta padrão de campo padrão usada nas anotações do transporte das altitudes ortométricas para os marcos implantados M1 e M2, por nivelamento geométrico.

3.9 LEVANTAMENTO MODO STOP AND GO GNSS E NIVELAMENTO TRIGONOMÉTRICO

No entorno da Praça Santo Antônio na cidade de Garanhuns/PE, foi realizada a locação de um eixo na extremidade da calçada (sobre o meio fio) do entorno da Praça Santo Antônio (Figura 32), e a determinação das altitudes ortométricas das estacas desse eixo locado em campo, por meio da técnica de nivelamento trigonométrico, com transporte de altitude ortométrica do RN-371Q (Figuras 33 e 34).

Figura 31 – Locação das estacas do eixo localizada na extremidade da calçada (sobre o meio fio) do entorno da Praça Santo Antônio em Garanhuns/PE.

Figura 32 – Leitura do prisma durante nivelamento trigonométrico nas estacas do eixo locado.

Figura 33 – Nivelamento trigonométrico com a estação total do RN-1814H em Garanhuns/PE nas estacas do eixo locado.

Com o objetivo de comparar as altitudes ortométricas levantadas diretamente com a topografia convencional, e as calculadas pela conversão de alturas elipsoidais obtidas por rastreio GNSS, utilizando a ondulação geoidal calculada do marco implantado M1. Para obter as alturas elipsoidais, foram feitos os rastreios no modo *Stop and Go*, com tempo mínimo de 60 segundos em cada estaca do eixo locado, no entorno da Praça Santo Antônio (Figura 35).

Figura 34– Rastreio GNSS no modo *Stop and Go* com o receptor Zênite 2 nas estacas do eixo locado em campo.

4. RESULTADOS E DISCURSÕES

4.1 LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO PARA TRANSPORTE DE ALTITUDE ORTOMÉTRICA

Os levantamentos altimétricos realizados nos transportes de altitude ortométrica do RN-371Q (Garanhuns/PE) para o marco implantado M1 e do RN-1814H (Gravatá/PE) para o marco implantado M2, foram realizados por dois métodos de nivelamento, o geométrico considerado o de maior precisão e o preconizado nas normas do IBGE (RESOLUÇÃO - PR nº 22, de 21-07-83) e da ABNT para nivelamento Classe IN (NBR-13133/94, pag. 17) para transportes de nível de referência de 1ª Ordem no Brasil, onde os seus resultados encontram-se demonstrados nas Tabelas 5 e 6.

Caderneta de Nivelamento Geométrico Simples RN-371Q no município de Garanhuns/PE							
Estação	Ponto Visado	Leitura da Mira (mm)				PR (m)	Altitude Ortométrica (m)
		Ré		Vante			
MC2	RN_371Q	Fio superior	641	Fio superior	-	842,913	842,431
		Fio médio	482	Fio médio	-		
		Fio inferior	324	Fio inferior	-		
	M1	Fio superior	-	Fio superior	2111		840,927
		Fio médio	-	Fio médio	1986		
		Fio inferior	-	Fio inferior	1860		
						DN_{RN_M1}	**-1,504m**

Tabela 5 - Transporte de altitude ortométrica do RN-371Q (Garanhuns/PE) para o marco implantado M1 por nivelamento geométrico simples.

Caderneta de Nivelamento Geométrico Simples RN-1814H no município de Gravatá/PE							
Estação	Ponto Visado	Leitura da Mira (mm)				PR (m)	Altitude Ortométrica (m)
		Ré		Vante			
MC1	RN_1814H	Fio superior	1231	Fio superior	-	461,816	460,653
		Fio médio	1163	Fio médio	-		
		Fio inferior	1095	Fio inferior	-		
	M2	Fio superior	-	Fio superior	1734		460,109
		Fio médio	-	Fio médio	1707		
		Fio inferior	-	Fio inferior	1681		
						DN_{RN_M2}	**-0,544m**

Tabela 6 - Transporte de altitude ortométrica do RN-1814H (Gravatá/PE) para o marco implantado M2por nivelamento geométrico simples.

Para realizar uma checagem dos resultados alcançados no transporte das alturas ortométricas pelo nivelamento geométrico simples, foi realizado um nivelamento trigonométrico nos transportes do RN-371Q (Garanhuns/PE) para o marco implantado M1 e do RN-1814H (Gravatá/PE) para o marco implantado M2, onde os seus resultados encontram-se demonstrados nas Tabelas7 e 8.

Caderneta de Nivelamento Trigonométrico RN-371Q no município de Garanhuns/PE							
Estação	Ponto Visado	Ai (m)	Ângulo Vertical	Distância Inclinada (m)	Altura do Prisma (m)	ΔH (m)	Cota (m)
MC3	RN_371Q	1,600	90º 43' 30"	25,391	1,600	-0,321	99,679
	M1	1,600	87º 51' 2"	31,705	1,600	1,189	101,189
						DN_{RN_M1}	**-1,510m**

Tabela 7 - Transporte de altitude ortométrica do RN-371Q (Garanhuns/PE) para o marco implantado M1por nivelamento trigonométrico.

Caderneta de Nivelamento Trigonométrico RN-1814H no município de Gravatá/PE							
Estação	Ponto Visado	Ai (m)	Ângulo Vertical	Distância Inclinada (m)	Altura do Prisma (m)	ΔH (m)	Cota (m)
MC1	RN_1814H	1,540	88º 37' 19"	13,783	1,622	0,249	100,249
	M2	1,540	108º 13' 32"	5,850	0,000	-0,290	99,710
						DN_{RN_M2}	**-0,539m**

Tabela 8 - Transporte de altitude ortométrica do RN-1814H (Gravatá/PE) para o marco implantado M2por nivelamento trigonométrico.

Objetivando comparar as altitudes ortométricas levantadas diretamente com a topografia convencional (nivelamento geométrico e trigonométrico) e as calculadas pela conversão das alturas elipsoidais, obtidas por rastreio GNSS nos marcos implantados M1 e M2, através da ondulação geoidal do MapGeo2010. Os valores resultantes calculados das altitudes ortométricas foram obtidos com a média dos desníveis (DN_{RN_M2} e DN_{RN_M1}) entre os dois métodos de nivelamento realizados em campo (Tabela 9).

Marco	Nivelamento Geométrico Simples Desnível (DN) (m)	Nivelamento Trigonométrico Desnível (DN) (m)	Média do Desnível (m)	Altitude Ortométrica (m)
M1 (Garanhuns/PE)	1,504	1,510	1,507	840,924
M2 (Gravatá/PE)	0,544	0,539	0,542	460,112

Tabela 9 – Resultados das altitudes ortométricas dos marcos M1 e M2.

4.2 RASTREIO GNSS DOS MARCOS

4.2.1-PROCESSAMENTO GNSS DOS MARCOS

No software *GTR Processor* usado no pós-processamento do rastreio GNSS, foi configurado para oprocessamento dos dados oriundos dos dois sistemas satelitais operacionais pertencentes ao sistema GNSS, o NAVSTAR/GPS e oGLONASS. Para o ajustamento foi utilizado o critério de rejeiçãopor controle de qualidade, a um nível de confiança para o processo de ajustamento de 95%, ouseja, os pontos e vetores que não alcançassem o nível de precisão exigido, de 5 cm para ascomponentes horizontal e vertical (más observações), eram automaticamente rejeitados.

A Tabela 10 abaixo, mostra os marcos topográficos rastreados, e os desvios padrão calculados para cada eixo (X, Y, Z) resultantes do processamento dos dados GNSS.

Marco	Local	Tempo Rastreio (minutos)	Data	σ_X (m)	σ_Y (m)	σ_Z (m)
M1	Garanhuns	180	07/09/13	0,010	0,034	0,026
M1	Garanhuns	180	08/09/13	0,010	0,031	0,020
M2	Gravatá	120	07/09/13	0,026	0,030	0,050
RN3640F	Recife	60	19/10/13	0,002	0,002	0,004

Tabela 10 – Desvios padrão resultantes do processamento dos dados GNSS.

Abaixo segue as telas do programa *GTR Processor* mostrando os resultados do processamento e janelas usadas nas análises das informações de rastreio, como situação de degradação dos sinais dos satélites observados na estação Rover (Figuras36, 37 e 38) e das estações base usadas no processamento (Figuras39, 40 e 41), como também os resultados do pós-processamento das coordenadas dos marcos (Figura 42) e por fim a tela de uma planta de localização dos marcos (Figuras43, 44 e 45).

Figura 35 – Janela do programa *GTR Processor*mostrando os sinais dos satélites observados na estação Rover RN3640F (Recife/PE) rastreado dia 19/10/2013.

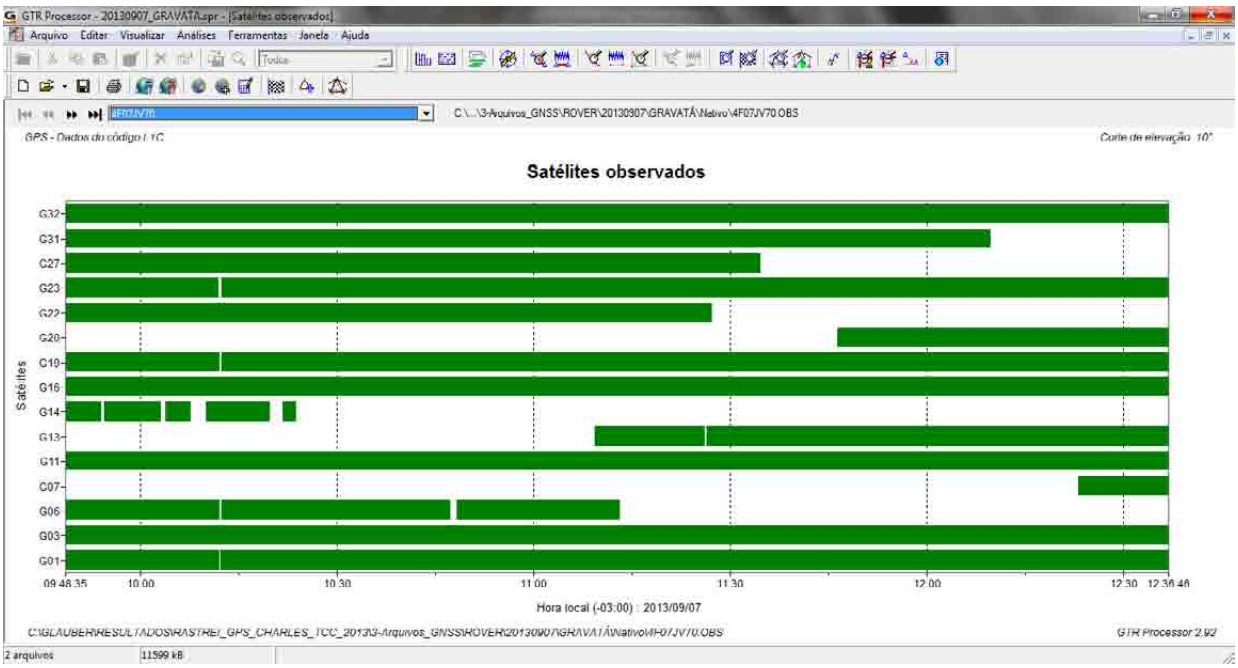


Figura 36 – Janela do programa *GTR Processor*mostrando os sinais dos satélites observados na estação Rover M2 (Gravatá/PE) rastreado dia 07/09/2013.

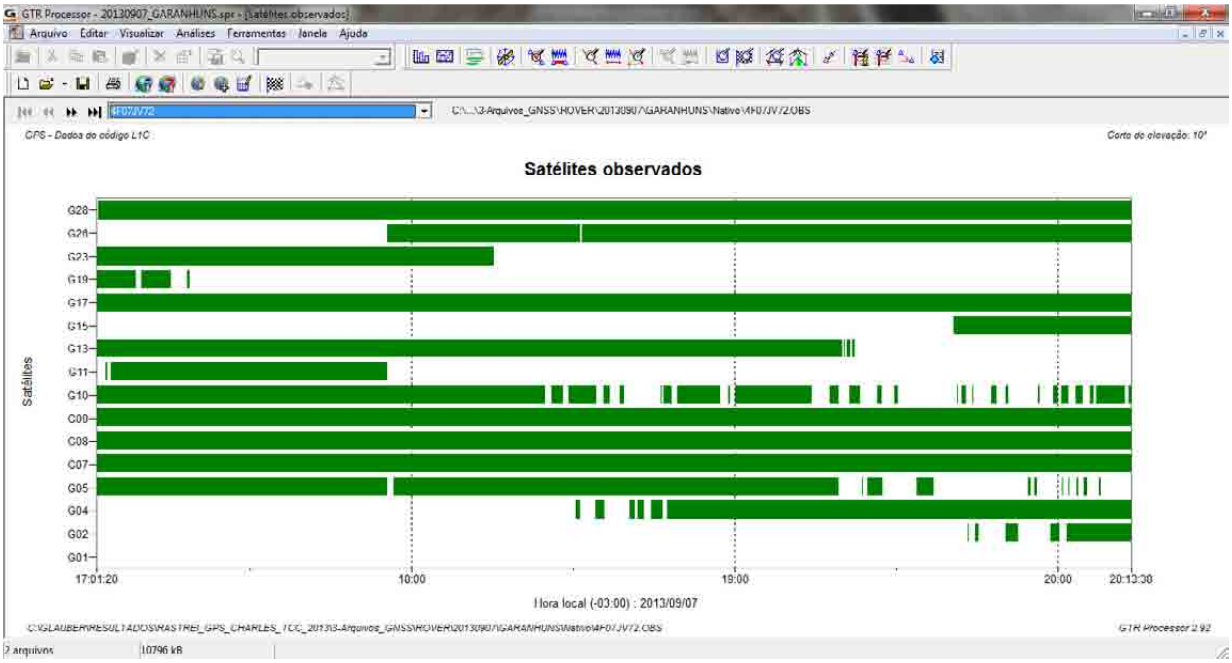


Figura 37 – Janela do programa *GTR Processor*mostrando os sinais dos satélites observados na estação Rover M1 (Garanhuns/PE) rastreado dia 07/09/2013.

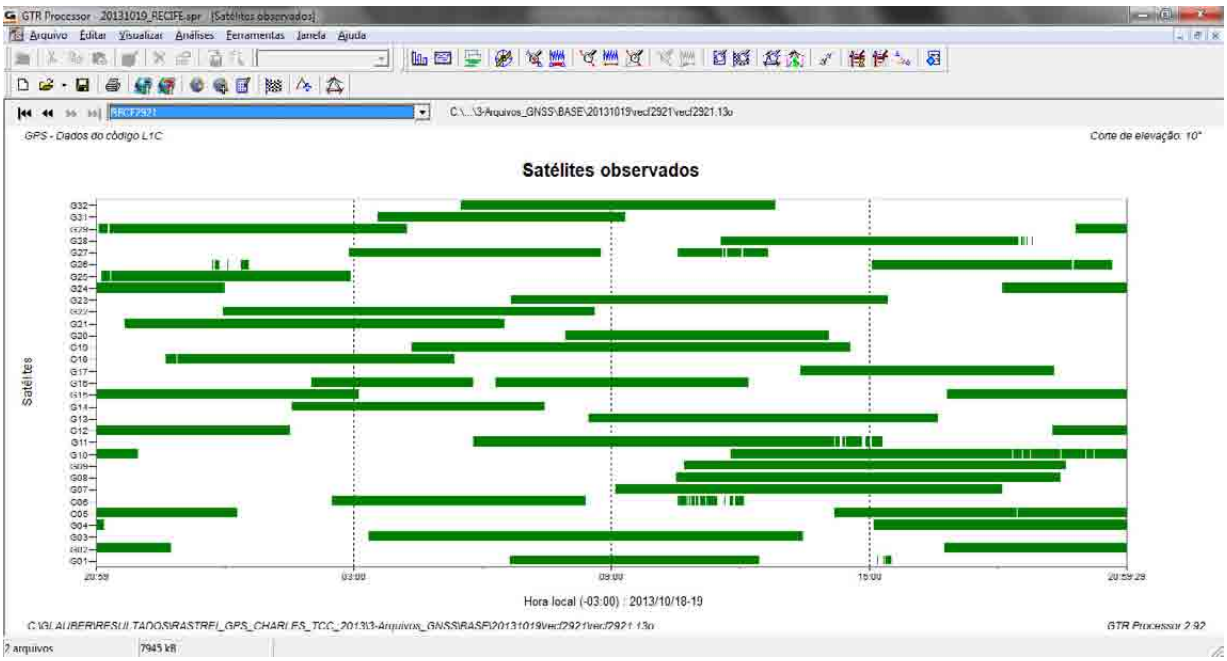


Figura 38 – Janela do programa *GTR Processor*mostrando os sinais dos satélites observados na estação BaseSAT- 93110-1999- RECF (Recife/PE) rastreado dia 19/10/2013.

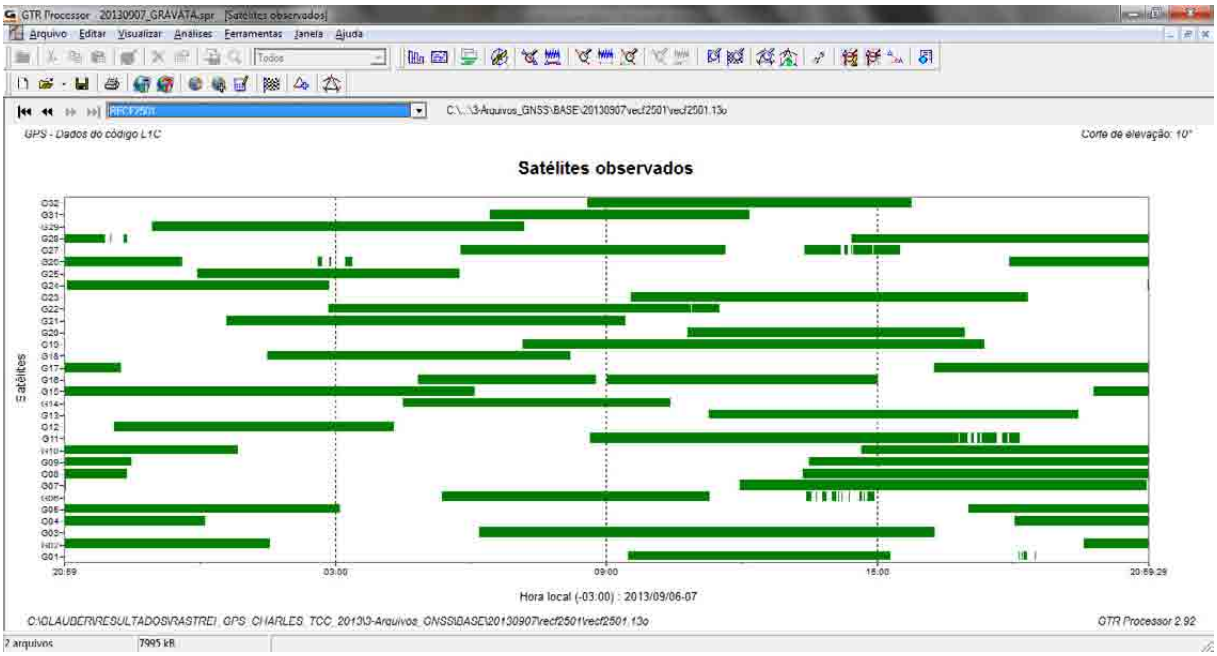


Figura 39 – Janela do programa *GTR Processor*mostrando os sinais dos satélites observados na estação Base SAT- 93110-1999- RECF (Recife/PE) rastreado dia 07/09/2013.

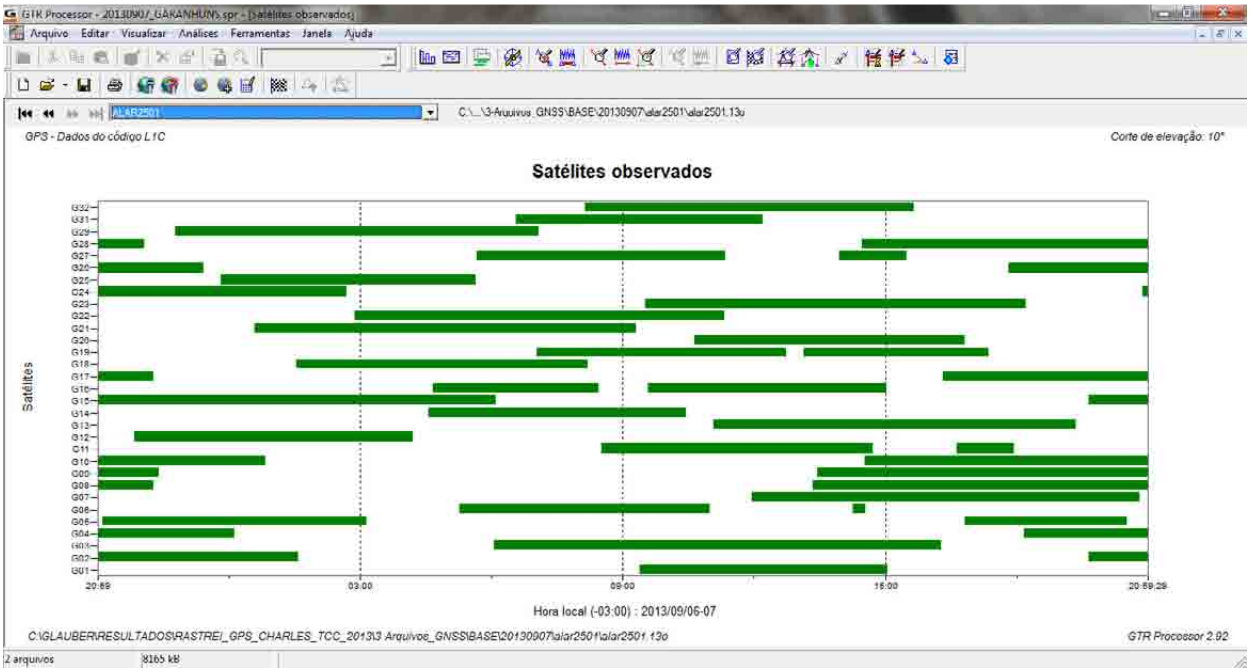


Figura 40 – Janela do programa *GTR Processor*mostrando os sinais dos satélites observados na estação Base SAT-93237- (Arapiraca/AL)rastreado dia 08/09/2013.

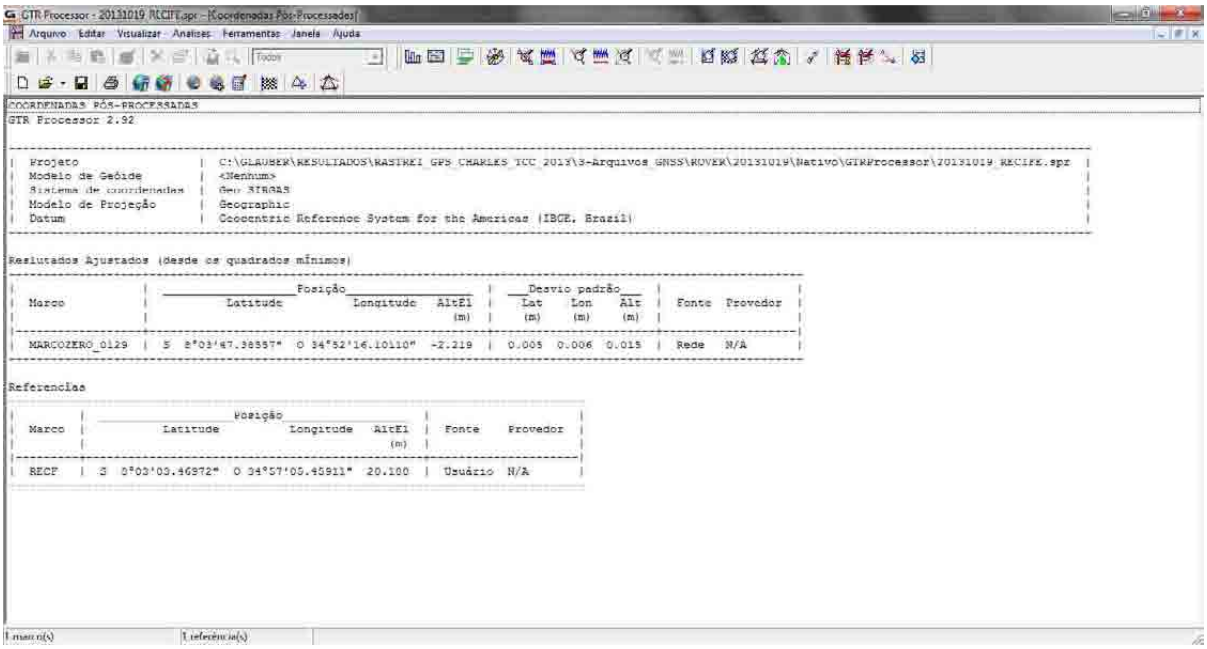


Figura 41– Janela do programa *GTR Processor*mostrando resultados do pós-processamento das coordenadas do marco M1 (Garanhuns/PE) rastreado dia 08/10/2013.

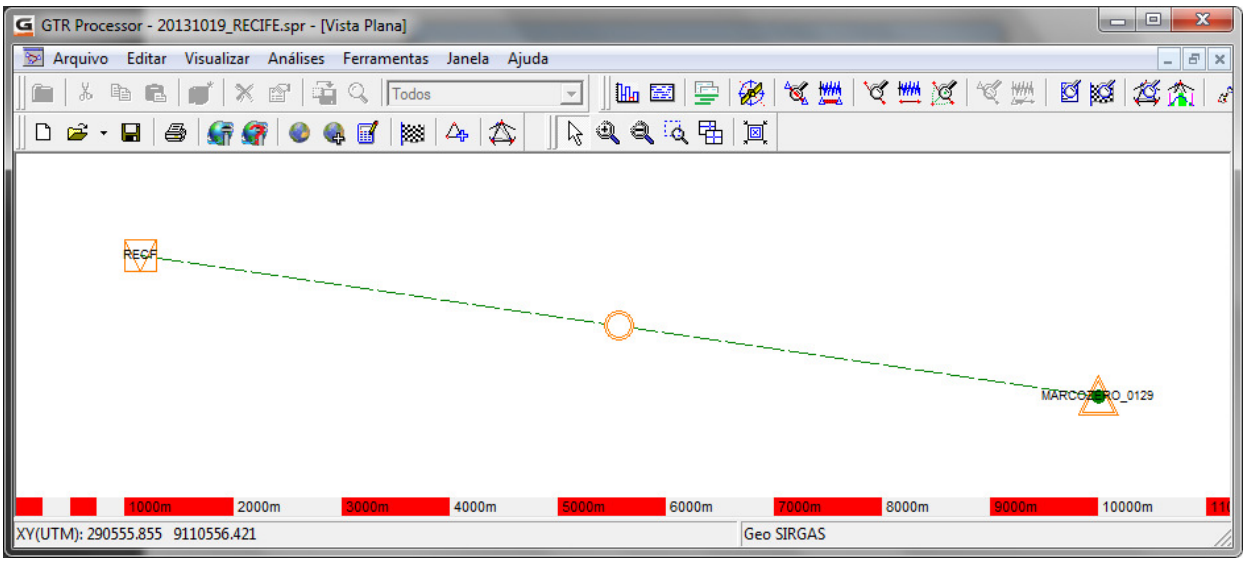


Figura 42–Janela do programa *GTR Processor*mostrando localização dos marcos usados no processamento (Estação Rover e Base) no dia 19/10/2013.

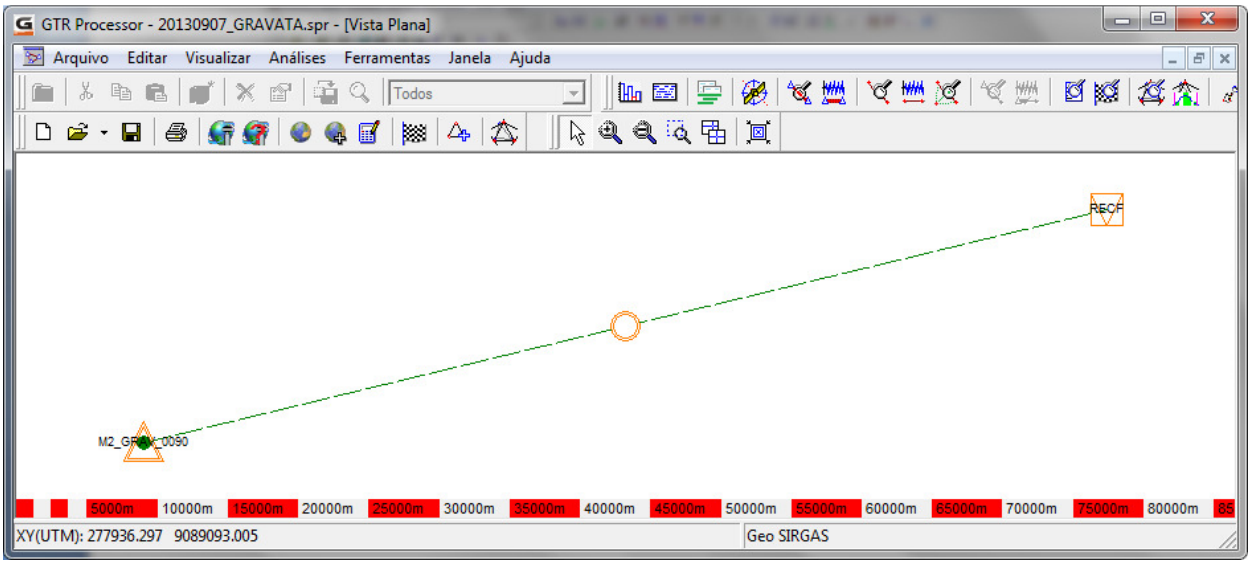


Figura 43–Janela do programa *GTR Processor*mostrando localização dos marcos usados no processamento (Estação Rover e Base) no dia 07/09/2013 para o Marco M2.

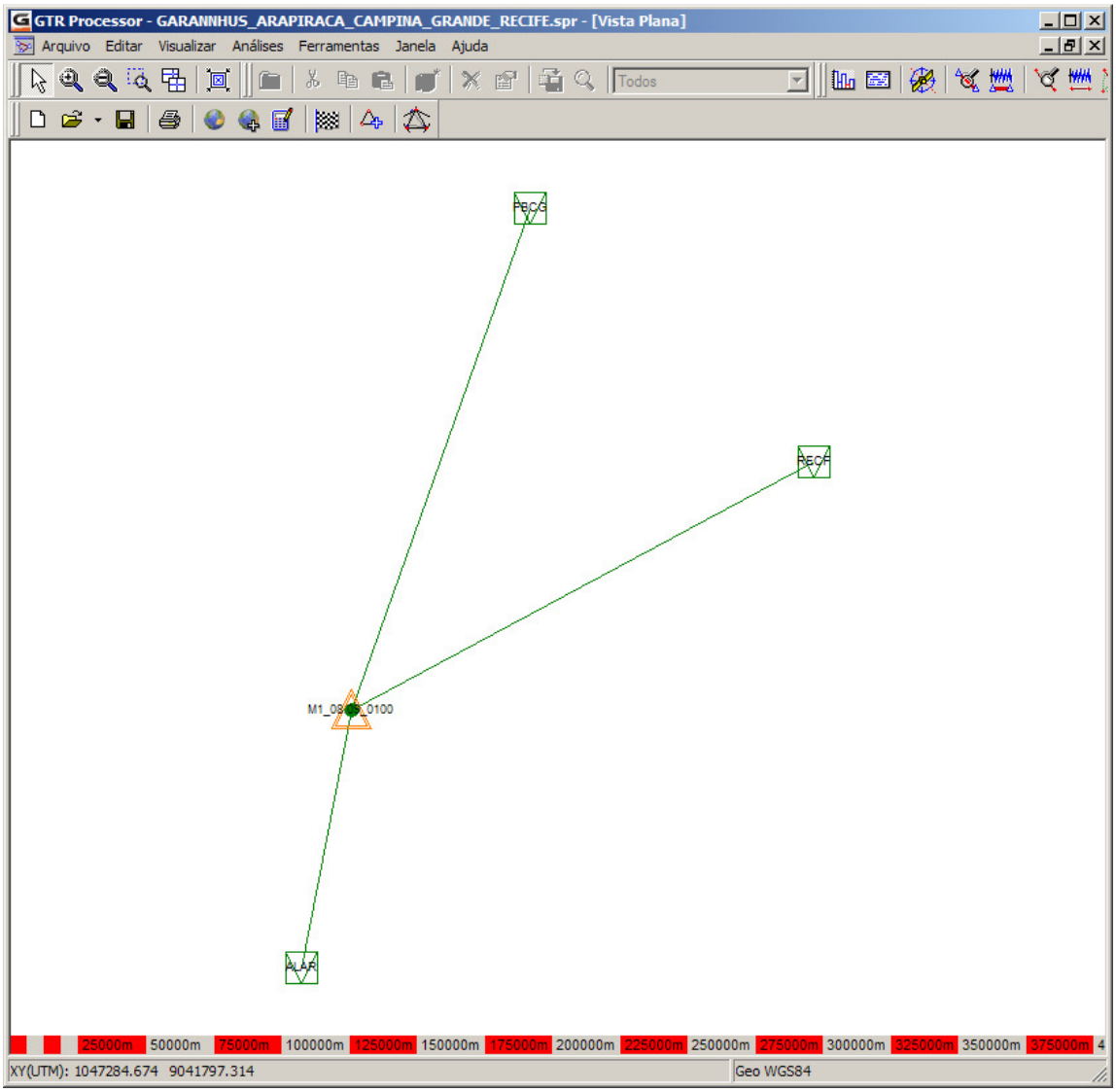


Figura 44–Janela do programa *GTR Processor*mostrando localização dos marcos usados no processamento (Estação Rover e Base) no dia 08/09/2013para o Marco M1, com as estacações de Campina Grande/PB (PBCG), Arapiraca/AL (SAT 93237- ALAR) e Recife (SAT- 93110-1999- RECF).

No processamento dos dados GNSS, aceitou-se as soluções fixas e livres dos efeitos da refração ionosférica (Iono Free). Para as soluções flutuantes (Iono Free Float), condicionou-se a aceitabilidade da solução à análise do desvio padrão e erros de fechamentodas poligonais, determinando-se aceitáveis os desvios padrão e erros de fechamento iguais ou melhores que 5 cm na componente vertical. Os processamentos de dados GNSS foram realizados em coordenadas cartesianas geocêntricas no datum SIRGAS2000 que é compatível com o datum WGS84, no formato de coordenadas geodésicas sexagesimais, com o segundo expresso em 5 casas decimais.

A Tabela 13 abaixo, mostra os marcos topográficos rastreados, e as coordenadas UTM e geodésicas sexagesimais resultantes do processamento dos dados GNSS.

Marco	Local	Data	Fuso	Latitude DATUM SIRGAS200	Longitude DATUM SIRGAS200	Este DATUM SIRGAS200 (m)	Norte DATUM SIRGAS200 (m)
M1	Garanhuns	07/09/13	24L	8°53'26,48000"	36°29'32,58249"	775.788,7280	9.016.299,7480
M1	Garanhuns	08/09/13	24L	8°53'26,47975"	36°29'32,58477"	775.788,6370	9.016.299,7560
M2	Gravatá	07/09/13	25L	8°11'51,31303"	35°34'22,06535"	216.526,1440	9.092.950,5420
RN3640F	Recife	19/10/13	25L	8°03'47,38557"	34°52'16,10110"	293.798,3920	9.108.247,0080

Tabela 12 – Resultados das coordenadas UTM e geodésicas sexagesimais nos marcos rastreados.

4.2.2 COLETADA DOS DADOS DAS ESTAÇÕES BASE

Antes de iniciar o processamento dos dados coletados pelo rastreio GNSS nos marcos implantados M1 e M2, como também no RN-3640F, foi realizado o Download dos arquivos dos dados de rastreio nas estações da RBMC, a partir do portal do IBGE (Figuras46 e 47), nas estacaçõs de Recife/PE (SAT-93110-1999), Arapiraca/AL (SAT-93237), Campina Grande/PB (PBCG) e João Pessoa (SAT-96557), sendo usados os dados dessas estações de rastreio GNSS como estações base nos cálculos das coordenadas geodésicas e alturas elipsoidais dos marcos levantados.

Figura 45–Vista da página do portal web do IBGE no instante da seleção dos arquivos para download, dos dados de rastreio das estações da RBMC nos dias 07/09/2013 e 08/09/2013.

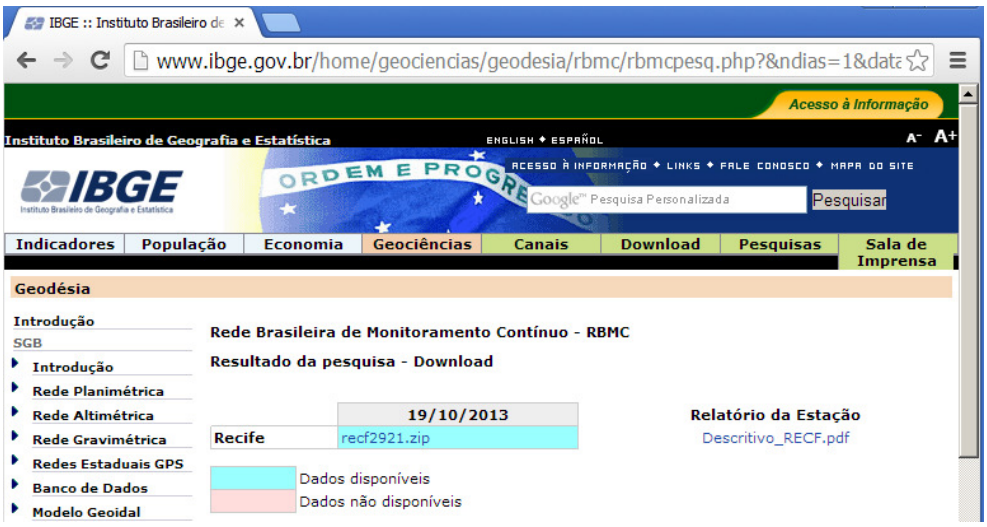


Figura 46–Vista da página do portal web do IBGE no instante da seleção dos arquivos para download, dos dados de rastreio das estações da RBMC no dia 19/10/2013.

4.2.3 DIAGRAMA DE DISCREPÂNCIAS MAPGEO2010 x GPS/RN DO IBGE E OS MARCOS ALTIMÉTRICOS LEVANTADOS

Os marcos altimétricos levantados em campo (M1, M2 e RN-3640F) foram inseridos no diagrama de discrepâncias grerado pelo IBGE, entre os dados resultantes da interpolação do modelo de ondulação geoidal MapGEO2010 e os pontos GPS/RN levantados pelo próprio IBGE, o presente diagrama foi criado para aferir o grau de discrepâncias entre os dados processados do MapGEO2010.

Conforme mostrado na Figura 2 indicada abaixo, o marco altimétrico RN-3640F (Recife/PE) a encontra-se na região do litoral do estado de Pernambuco e segundo as discrepânciasdo modelo de ondulação geoidal de 2010 do IBGE o mesmo encotra-se na região com discrepância da ondulação geoidal (N) variando de 0 a -0,20 (Região de amarela tendendo para amarela escura conforme legenda), já o marco levantado M2 (Gravatá/PE) encontra-se numa região onde a ondulação geoidal (N) apresenta discrepância nula (Região amarela conforme legenda), e por fim o marco levantado M1 (Garanhuns/PE) encontra-se numa região onde a ondulação geoidal (N) apresenta variação de +0,80 a +1,00 (Região verde escura tendendo para verde clara conforme legenda).

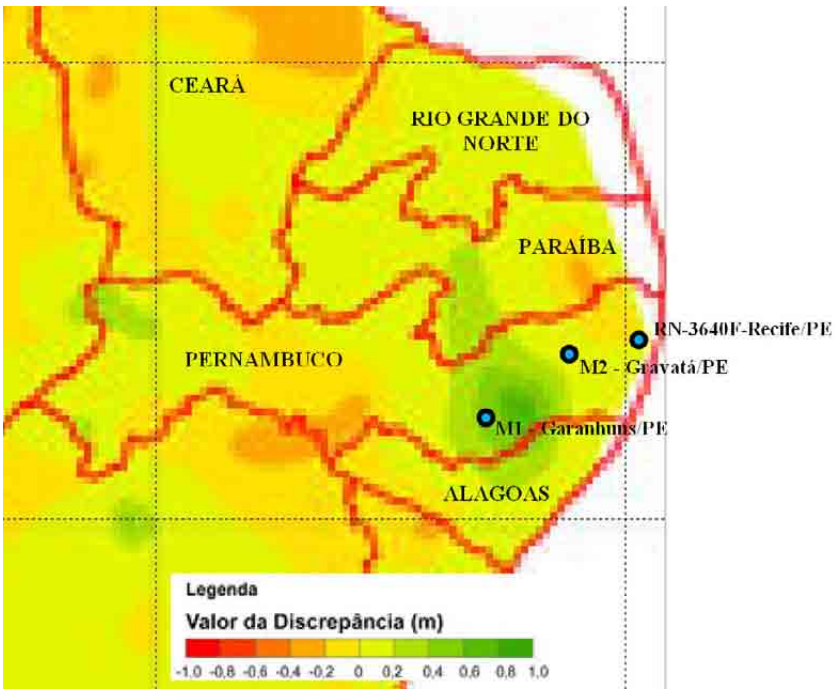
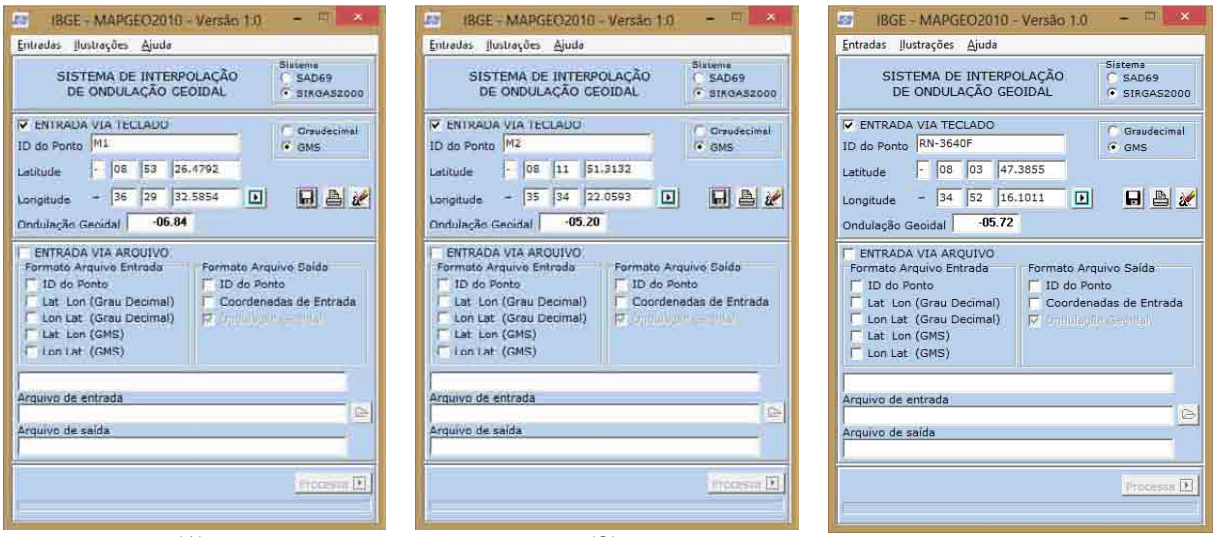


Figura 47–Análise das discrepâncias da ondulação geoidal (N) no diagrama do IBGE dos marcos coletados em campo (M1, M2 e RN-3640F).

4.2.4 EXTRAÇÃO DOS VALORES DO MODELO GEOIDAL 2010 BRASILEIRO

Após o processamento e o ajustamento dos dados GNSS, devido a quantidade de pontos coletados (três marcos) não gerou-se um tabela contendo as coordenadas geodésicas (latitude e longitude) no formato de entrada aceito pelo software interpolador do mapa geoidal brasileiro MapGeo2010, os dados foram então inseridos através da opção "Entrada Via Teclado" e portanto inserido um a um. Alimentou-se o MapGeo2010 com os dados das coodenadas geodésicas (Figura 49), para o datum SIRGAS2000 e após a execução do comando de processamento, foram calculadas as alturas geoidais para os marcos M1, M2 e RN-3640F.



(1) (2) (3)

Figura 48 – Detalhe da Janela dos MapGEO2010, com os dados das coordenadas geodésicas para obtenção das ondulações geoidais dos marcos M1 (1), M2 (2) e RN-3640F (3).

4.2.5 CÁLCULO DAS DIFERENÇAS DE ONDULAÇÃO GEOIDAL MEDIDAS EM CAMPO E AS INTERPOLADAS NO MAPGEO2010

De posse de todos os valores das altitudes ortométricas, alturas elipsoidais e da ondulação geoidal extraídodo MapGEO2010, calculou-se a ondulação geoidal geométrica para cada marco levantado. Emseguida, foi determinada a diferença entre os valores do modelo geopotencial do MapGEO2010 ($N_{interpolador}$) e o determinado através das medições diretas de campo por meio de rastreio GNSS e nivelamento geométrico e trigonométrico ($N_{obs.\ Campo}$) através da Tabela 13, confome demonstrado na Figura50.

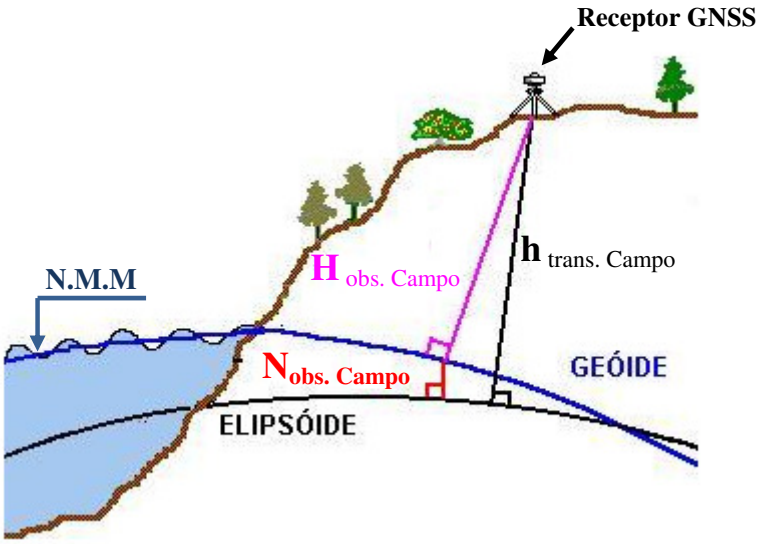


Figura 49–Vista das superfícies de referência e suas componentes verticais

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

Sendo,

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

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

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

Marco	Local	Data	h Elipsoidal obs. campo (m)	H Ortométrica trans. campo (m)	N obs. campo (m)	N interpolador (m)	Resíduo$_i$ ($N_{obs.\ Campo}$ - $N_{interpolador}$) (m)	Módulo do Residuo$_i$ ($N_{obs.\ Campo}$ - $N_{interpolador}$) (m)
M1	Garanhuns	07/09/13	835,469	840,924	-5,455	-6,840	-1,385	1,385
M1	Garanhuns	08/09/13	835,459	840,924	-5,465	-6,840	-1,375	1,375
M2	Gravatá	07/09/13	454,922	460,112	-5,190	-5,200	-0,010	0,010
RN3640F	Recife	19/10/13	-2,204	3,245	-5,449	-5,720	-0,271	0,271
							Média$_{resíduos}$(m)	0,55
							Desvio Padrão$_{resíduos}$ (m)	0,72

Tabela 13 – Resultados das ondulações geoidais do modelo geopotencial do MapGEO2010 ($N_{interpolador}$) e os medidos em campo ($N_{obs.\ Campo}$) dos marcos M1, M2 e RN-3640F.

4.2.6 RESULTADOS DO LEVANTAMENTO DO EIXO EXPERIMENTAL

Os dados do levantamento realizados através de nivelamento trigonometrico e rastreio GNSS no modo Stop and Go no eixo locado na extemidade da calçada (topo do meio fio) do entorno da Praça Santo Antônio na cidade Garanhuns/PE encotram-se explicitados conforme Tabela 14, como também a planta gerada através do pós-processamento GNSS no programa GTR processor (Figura 51), a planta com a localização do eixo e estacas levantados em campo (Figura 52), e por fim o perfil longitudinal mostrado a compatibilidade entre as altitudes ortométricas das estacas levantadas em campo pelo método clássico (nivelamento trigonométrico) (Figura 53) e pela técnica GNSS de rastreio das estacas no modo Stop and Go com a altura elipsoidal transformadas para Altitude Ortométrica diretamente pela subtração da ondulação geoidal determinada em campo ($N_{obs.\ campo}$= -5,455m) conforme exposto na tabela do item anterior 4.2.5 para o marco levantado M1.

Ponto	Tempo de Rastreio	σ_X (m)	σ_Y (m)	σ_Z (m)	Fuso	Este DATUM SIRGAS200 (m)	Norte DATUM SIRGAS200 (m)	h Elipsoidal obs. campo (m)	H Ortométrica calculada (m)
1	00:01:04	0,023	0,025	0,101	24L	775760,3330	9016299,8090	836,910	842,365
2	00:01:05	0,026	0,030	0,133	24L	775765,2650	9016300,7560	836,953	842,408
3	00:01:03	0,027	0,031	0,137	24L	775770,1850	9016301,6750	836,950	842,405
4	00:01:04	0,029	0,031	0,139	24L	775775,1080	9016302,5770	836,944	842,399
5	00:01:02	0,028	0,028	0,128	24L	775780,0490	9016303,4870	836,915	842,370
6	00:01:02	0,030	0,027	0,126	24L	775784,9760	9016304,4130	836,905	842,360
7	00:01:03	0,031	0,029	0,132	24L	775789,9050	9016305,3010	836,932	842,387
8	00:01:02	0,029	0,027	0,120	24L	775794,8260	9016306,0980	836,913	842,368
9	00:01:02	0,029	0,027	0,113	24L	775799,7620	9016307,1190	836,823	842,278
10	00:01:03	0,031	0,027	0,121	24L	775800,6550	9016302,1900	836,308	841,763
11	00:01:02	0,031	0,028	0,119	24L	775801,5900	9016297,3160	835,908	841,363
12	00:01:03	0,029	0,024	0,102	24L	775797,2140	9016294,9330	835,842	841,297
13	00:01:03	0,028	0,023	0,092	24L	775792,2720	9016294,0470	835,777	841,232
14	00:01:04	0,029	0,022	0,094	24L	775787,3290	9016293,2390	835,687	841,142
15	00:01:04	0,028	0,021	0,085	24L	775782,4020	9016292,4540	835,633	841,088
16	00:01:03	0,026	0,019	0,076	24L	775777,4760	9016291,6900	835,537	840,992
17	00:01:02	0,028	0,021	0,078	24L	775772,5090	9016290,8860	835,525	840,980
18	00:01:02	0,027	0,020	0,073	24L	775767,5910	9016290,1190	835,451	840,906
19	00:01:03	0,027	0,018	0,071	24L	775762,6460	9016289,3180	835,443	840,898
20	00:01:05	0,025	0,021	0,063	24L	775757,7330	9016290,3090	835,599	841,054
21	00:01:03	0,023	0,026	0,055	24L	775755,7670	9016294,8850	836,225	841,680
22	00:01:04	0,024	0,027	0,056	24L	775758,3180	9016299,2200	836,818	842,273
M1	00:01:03	0,033	0,019	0,046	24L	775788,6070	9016299,9510	835,956	841,411

Tabela 14 – Resultados do levantamento GNSS no eixo experimental.

Para os cálculos da Altitude ortométrica($H_{calculada}$) do levantamento GNSS conforme equação 2 abaixo, correspondente a última coluna da Tabela anterior, foi adotado o valor para a ondulação geoidal de$N_{obs.\ campo}$= -5,455m (marco M1) valor este correspondente ao calculado em campo (ver item 4.2.5), em que foi adotado o mesmo valor para a conversão da referência altimétrica local (Cota abitrária) usada no levatamento altimértrico com Nivelamento trigonométrico para a Altitude ortométrica.

$$\mathbf{H}_{calculada} = \mathbf{h}_{obs.\ campo} - \mathbf{N}_{ob.\ Campo_M1} \quad (2)$$

Sendo,

$H_{calculada}$ = Altitudes Ortométricas calcula

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

$N_{ob.\ campo_M1}$ = Ondulações Geoidais das observações GNSS realizadas campo no Marco M1

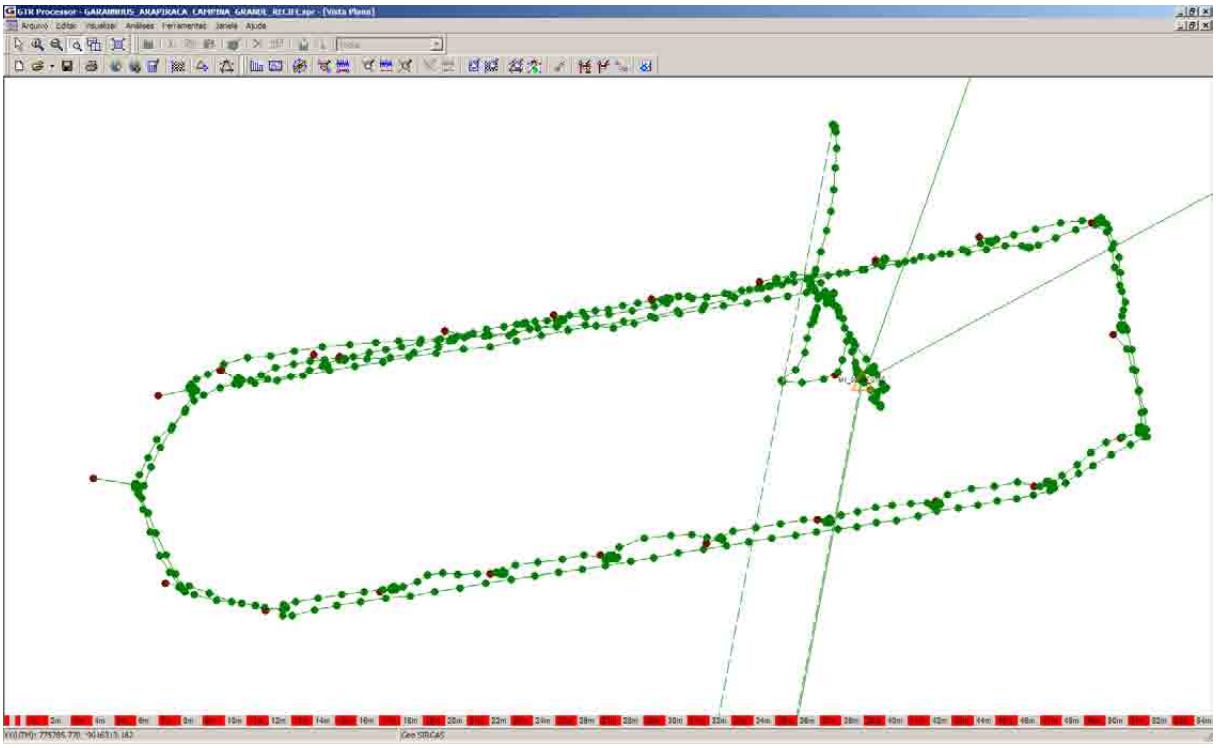


Figura 50–Janela do programa GTR processor mostrado o levantamento cinemático e Stop and go realizado no entorno da Praça Santo Antônio em Garanhuns/PE no dia 08/09/2013.

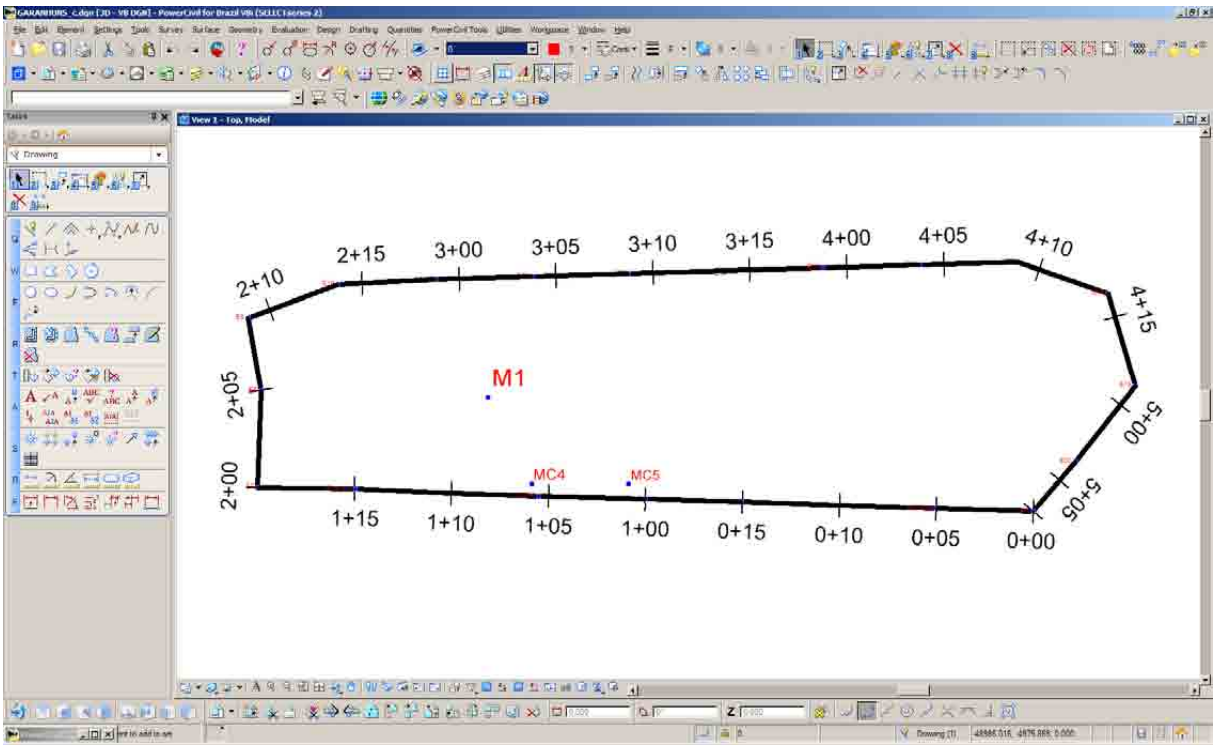


Figura 51–Janela do Programa Microstation PowerCivil SS02 usado no processamento dos dados do levantamento do eixo locado na extemidade da calçada (topo do meio fio) do entorno da Praça Santo Antônio na cidade Garanhuns/PE.

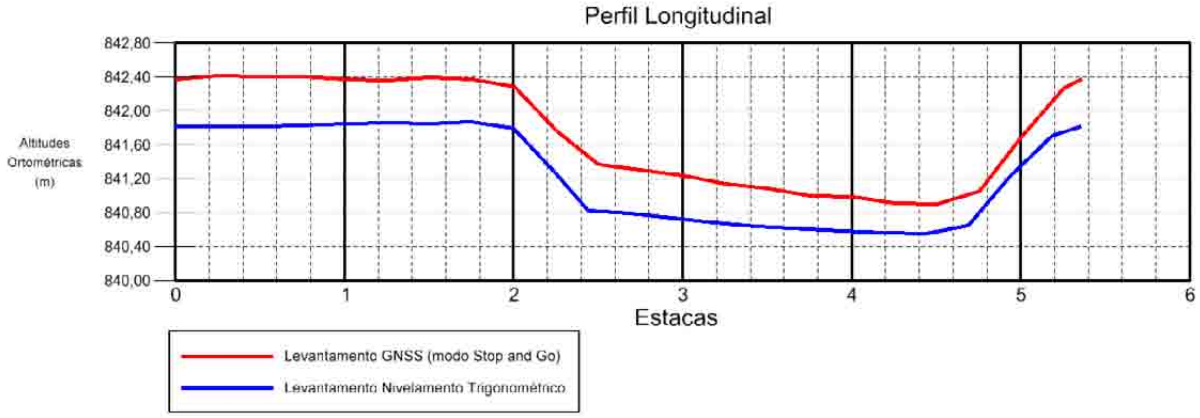


Figura 52–Perfil Longitudinal gerado no Programa Microstation PowerCivil SS02 usando os dados do Nivelamento Geométrico e do Levantamento GNSS do eixo locado na extemidade da calçada (topo do meio fio) do entorno da Praça Santo Antônio na cidade Garanhuns/PE.

Como pode ser observado no perfil longitudinal acima, a diferença entre as cotas do terreno levantado pelo sistema satelital GNSS (modo Stop and Go) e a topografia convencional (Nivelamento Trigonométrico) tiveram uma diferença da ordem de 40cm a 50cm, inviabilizando algumas aplicações na engenharia.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os valores das ondulações geoidais calculadas nos marcos planialtimétricos implatado M2 (Gravatá/PE) e rastreado RN-3640F (Recife/PE), apresentam valores correspondentes as discrepâncias previstas pelo IBGE para a região a 80km do litoral (zona da mata) e na faixa litorânea do estado de Pernambuco, sendo os valores para os resíduos encotradosno marco M2 de $Resídou_{M2}$= -0,010m e para o marco RN-3640F de $Resídou_{RN\text{-}3640F}$ = -0,271m, compatíveis com as discrepâncias previtas pelo IBGE, que é de tedendo a zero para omarco M2 e de 0m a -0,20m para o marcoRN-3640F, já para o marco implantado M1 (Garanhuns/PE) o resíduo encontrado foi de $Resídou_{M1}$= -1,385m, este último bem divergente ao previsto pelo mapa de discrepâncias preconizado pelo IBGE, que prevê um valor variando entre +0,80m a +1,00m,em região a 200km do litoral (Região do Agreste) do estado de Pernambuco, conforme apresentado na figura do item 4.2.3.

A média dos resíduos das ondulações geoidais para os três marcos levantados foi de 0,55m e o desvio padrão de +/- 0,72m, onde esses resíduos dos marcos M1, M2 e RN-3640F,corresponderam a diferença entre as ondulações geoidais determinadas pelos dados coletados em campo e as ondulações geoidais calculadas no programa interpolador MapGEO2010 do IBGE. O resultado encontrado para avaliar a consistência do modelo geoidal não é conclusivo, devido ao universo amostral, entretanto indicam que o uso do programa interpolador MapGEO2010 para obtenção das ondulações geoidais, com fins de determinar as altitudes ortométricas dos levantamentos GNSS, apresentam discrepâncias que podem ser significativas dependendo da sua aplicação na engenharia civil e área afins.

O resultado absoluto das diferenças das ondulações geoidais ($N_{obs.\ campo}$ - $N_{ointerpolador}$) para os marcos levantados M2 e RN-3640F, denotam que o uso da ondulação geoidal calculada no MapGEO2010 e consequentemente altitude ortométrica (H), podem satisfazer a elaboração de cartas gerais, como mapeamentos locais ou mapeamento sistemático regional para escalas de medias a grandes, bem como pequenos separar palavras como também apoio de obras de engenharia para estudo e execução em fase preliminar.

Para o ponto M1, o resíduo encontrado denota uma diferença entre a ondulação geoidal calculada no MapGEO2010 e a medida em campo (diferença absoluta entre as ondulações geoidais medidas e interpoladas =$Resídou_{M1}$= -1,385m), já que foi coletado apenas um valor amostral, logo não é possível chegar a uma constatação da consistência ou inconsistência do modelo interpolador do programa MapGEO2010 na região de abrangência do marco M1 (200km do litoral do estado de Pernambuco no sentido e direção oeste).

As discrepâncias dos resultados das ondulações geoidais calculadas no programa interpolador MapGEO2010, variam em função do local e dependendo da região do pais, esse valor segundo o IBGE poderá variar de +/- 0,32m, logo uma densificação de pontos GNSS/RN otimizará os resultados encontrados no presente estudo, tornando-os mais confiáveis, podendo elevar a precisão e qualidade dos levantamentos topográficos altimétricos com uso do sistema de posicionamento global (GNSS), principalmente para a região do estado de Pernambuco, viabilizando seu emprego em algumas aplicações no âmbito da engenharia civil e em outras áreas de aplicação, como a ambiental e agricultura de precisão.

Para a elaboração de um modelo mais consistente, seriam necessárias mais amostras de leituras GNSS/RN,porém no Brasil há uma escassez de referências de nível de primeira ordem do IBGE operacionais e passíveis de estudo, causados sobretudo por atos de vandalismo (destruição e abalo) e abandono por parte das autoridades competentes. A descontinuidade dos trabalhos periódicos de manutenção e ampliação da rede altimétrica brasileira de primeira ordem, desde que foi estabelecida é uma realidade, e também contribuíram e contribuirão para o desaparecimento de muitas referências de nível, como constatado no presente estudo, onde em diversos relatórios de estação geodésica do IBGE consultados na fase de planejamento e seleção dos marcos a serem usados, constatou-se no relatório o seguinte dado de situação do RN: *Situação Marco Principal: Destruído*.

6. RECOMENDAÇÕES

Como recomendações para a complementação da pesquisa, pode-se indicar:

- Aumentar o número de pontos levantados para permitir a elaboração de um modelo a partir dos resultados de ondulação observada, através de um interpolador de Krigagem.

- Realizar levantamento nas referências de Nível de primeira ordem do IBGE RN- 2477R (São João/PE), RN- 2477T (localidade de Tiririca) e RN-2477U (Garanhuns/PE) para confirmar a diferença de ondulação geoidal encontra no marco M1 (Garanhuns/PE), quando comparado ao diagrama de discrepância do IBGE.

- Aumentar o número de amostras de ondulações geoidais no estado de Pernambuco, incorporando pontos que venha a abranger as regiões do Agreste, Sertão e São Francisco do estado, para possibilitar uma verificação da consistência do modelo geoidal brasileiro no estado de Pernambuco.

Figura 54–Regiões do estado de Pernambuco

- Transformar todos os arquivos contendo os dados de rastreio no formato RINEX (Receiver Independent Exchange Format) e processá-los em outros programas de processamento GNSS existentes no mercado.

Hipóteses para a diferença entre o valor de discrepância divulgado pelo IBGE na região que abrange o marco implantado M1(Garanhuns/PE) e o encontrado no presente estudo:

1. A coleta dos dados no Rastreio para os dois (07/09/2013 e 08/09/2013) não foi bem sucedida, com multicaminhamento presente ou possíveis falhas de recepção do sinal por parte do equipamento (Antena GNSS do Zênit 2);

2. Inconsistência no valor da altitude ortométrica da Referência de Nível do IBGE usada no transporte de altitude para o marco M1;

3. Erro grosseiro no transporte de altitude para os dois métodos de levantamento (Nivelamento geométrico e Trigonométrico);

4. Erros na configuração e processamento dos dados de rastreio GNSS no programa GTR Processor;

5. Inconsistência no mapa de discrepâncias do modelo geoidal brasileiro na região do Agreste do estado de Pernambuco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERALDO, Primo; SOARES, Sérgio Monteiro. **GPS – Introdução e aplicações práticas.** Segunda edição. Criciúma: Ed. Luana, 2000.

BORGES, Alberto C. **Topografia Aplicada à Engenharia Civil**. 2ª Ed. Vol1. São Paulo: Editora Edgard Blucher. 191p. 1977.

BORGES, Alberto C. **Topografia Aplicada à Engenharia Civil**. 1ª Ed. Vol2. São Paulo: Editora Edgard Blucher. 232p. 1992.

CASACA, João; MATOS, João; BAIO Miguel. **Topografia geral**. 2. edição. Lisboa: Ed. Lidel, 2000.

COMASTRI, José A.; TULER, José C.. **Topografia – Altimetria**. Universidade Federal de Viçosa. Imprensa Universitária. 2ª Edição. Viçosa/MG, 1998

ESPARTEL, Lélis; LUDERITZ, João; SERRAZIN; OBERBECK HÖFER. **Manual de Topografia e Caderneta de Campo**. Editora Globo. Porto Alegre, 1983

GAMEL, C. **Introdução a Geodésia Física**. Curitiba: Editora (COMASTRI, TULER 1998).

GUIMARÃES, **A altimetria e o modelo geoidal no Estado de São Paulo**, Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, Agosto, 2010.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro**, [200-]. Disponível em:<http://www.ibge.gov.br>. . Acesso em: agosto/2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE – **Manual do Programa MAPGEO2010 V1**, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS**: informação e documentação: referências: especificações. Rio de Janeiro, abril, 2008.

LOBIANCO, M.C.B. **Determinação das Alturas do Geóide no Brasil 2005**. 165p.Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo,2005.

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

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS**: Descrição, Fundamentos e Aplicações. 1ª ed. São Paulo: Unesp, 2000a. p 287.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento por ponto de alta precisão utilizando o GPS: uma solução para a geodinâmica,** Revista Brasileira de Geofísica, v 18, n°1, pp. 39 - 48, março, 2000b. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/rbg/v18n1/5879.pdf. Acesso em: setembro/2013.

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

SILVEIRA, Luiz Carlos**. Fundamentos de geodésia**. 1. ed. Criciúma: Ed. Luana, 1999.

SOARES, Almícar. **Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente**. 2. ed. Lisboa: Ed. Press, 2006. 215 p.

TORGE, Wolfgang. **Geodesy**. 3. ed. Berlin: Ed. Walter de Gruyter, 2001. 416 p.

ANEXOS

Relatório de Estação Geodésica

Estação :	3640F	*Nome da Estação :*	3640F	*Tipo :*	Estação Altimétrica RN
Município :	RECIFE			*UF :*	PE
Última Visita:	30/1/2013	*Situação Marco Principal :*	Bom		
Conexões :	GPS : 99572 EG : 8131558				

	DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
	Latitude	08 ° 03 ' 45,8975 " S	*Altitude Ortométrica(m)*	3,2453	*Gravidade(mGal)*	978.161,73
	Longitude	34 ° 52 ' 14,9453 "W	*Fonte*	Nivelamento Geométrico	*Sigma Gravidade(mGal)*	
	Fonte	GPS Geodésico	*Sigma Altitude (m)*	0.09	*Precisão*	Não Informada
	Origem	Ajustada	*Datum*	Imbituba	*Datum*	RGFB
S	*Datum*	SAD-69	*Data Medição*	12/11/2004	*Data Medição*	25/3/2009
A	*Data Medição*	30/1/2013	*Data Cálculo*	15/6/2011	*Data Cálculo*	22/11/2011
D	*Data Cálculo*	28/6/2013			*Correção Topográfica*	
6	*Sigma Latitude(m)*	0,015			*Anomalia Bouguer*	29,80
9	*Sigma Longitude(m)*	0,015	*Altitude Ortométrica(m)*	3,48	*Anomalia Ar-Livre*	30,16
	UTM(N)	9.108.289,819	*Altitude Geométrica(m)*	26,30	*Densidade*	2,67
	UTM(E)	293.832,831	*Sigma Altitude Geométrica(m)*			
	MC	-33	*Fonte*	GPS Geodésico		
			Data Medição	30/1/2013		
			Data Cálculo	28/6/2013		
			Modelo Geoidal	MAPGEO2010		
	Latitude	08 ° 03 ' 47,3864 " S	*Altitude Ortométrica(m)*	3,45	*Gravidade(mGal)*	978.161,73
S	*Longitude*	34 ° 52 ' 16,0996 "W	*Altitude Geométrica(m)*	-2,27	*Sigma Gravidade(mGal)*	
I	*Fonte*	GPS Geodésico	*Fonte*	GPS Geodésico	*Precisão*	Não Informada
R	*Origem*	Ajustada	*Data Medição*	30/1/2013	*Datum*	RGFB
G	*Datum*	SIRGAS2000	*Data Cálculo*	28/6/2013	*Data Medição*	25/3/2009
A	*Data Medição*	30/1/2013	*Sigma Altitude Geométrica(m)*	0,029	*Data Cálculo*	22/11/2011
S	*Data Cálculo*	28/6/2013	*Modelo Geoidal*	MAPGEO2010	*Correção Topográfica*	
2	*Sigma Latitude(m)*	0,003			*Anomalia Bouguer*	28,97
0	*Sigma Longitude(m)*	0,004			*Anomalia Ar-Livre*	29,33
0	*UTM(N)*	9.108.246,983			*Densidade*	2,67
0	*UTM(E)*	293.798,438				
	MC	-33				

- *Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf*
- *Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf*
- *Ajustamento Planimétrico Global SAD-69 em 15/09/1996 - Relatório em ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sad69.pdf*
- *Dados Planimétricos para Fonte carta nas escalas menores ou igual a 1:250000, valores SIRGAS2000 = SAD-69*

Localização

A Estação V09, localizada no centro da Praça Barão de Rio Branco, também conhecida por Marco Zero, no Bairro Recife Antigo, Recife - PE.

Descrição

Chapa metálica do Estado de Pernambuco, estampada: Desse Marco Partem as Distâncias para Todas as Terras de Pernambuco, Km 0, ano 2000.

Observação

Conhecedora da estação : Vera Lucia Cabral - Projetista da Ger. de Engenharia e Manutenção tel - 81- 31831971 (e-mail arevarruda@yahoo.com.br. RN 3640 F = EG8131558. Projeto 0995/12 - URB-RECIFE.

Foto(s) :

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

MONOGRAFIA DO MARCO IMPLANTADO

Finalidade : Trabalho Final de Curso	**Marco :** 3640F
Objeto : Marco Planialtimétrico	**Data :** Outubro/2013
Estado : Pernambuco	**Município :** Recife/PE
Local : Marco Zero da cidade do Recife	**Sistema :** SIRGAS2000

DESCRIÇÃO: Chapa metálica do Estado de Pernambuco, estampada: Desse Marco Partem as Distâncias para Todas as Terras de Pernambuco, Km 0, ano 2000.

DOCUMETAÇÃO FOTOGRÁFICA

CROQUI DE LOCALIZAÇÃO

LOCALIZAÇÃO

A Estação V09, localizada no centro da Praça Barão de Rio Branco, também conhecida por Marco Zero, no Bairro Recife Antigo, Recife - PE

COORDENADAS UTM Sirgas2000

N = 9.108.247,008m
E = 293.798,392m
$H_{elipsoidal}$ = -2,204m

COORDENADAS GEOGRÁFICAS e UTM

Latitude: 8°03'47.,38557"S

Longitude: 34°52'16,10110"WGr

N = 9.108.247,008m

E = 293.798,392m

$H_{ortométrica}$ = 3,245m

Vértice de origem: Recife/PE (SAT-93110-1999)

RN de origem: RN-3640F.

Datum Horizontal: Sirgas2000

Meridiano Central: 39° WGr

Datum Vertical: Imbituba-SC

COORDENADAS PÓS-PROCESSADAS
GTR Processor 2.91

Projeto	C:\glauber\RASTREI_GPS_CHARLES_TCC_2013\3-Arquivos_GNSS\ROVER\20131019\RECIFE\Nativo\RECIFE.spr
Modelo de Geóide	<Nenhum>
Sistema de coordenadas	Geo SIRGAS
Modelo de Projeção	Geographic
Datum	Geocentric Reference System for the Americas (IBGE, Brazil)

Reslutados Ajustados (desde os quadrados mÍnimos)

Marco	Posição Latitude	Posição Longitude	Posição AltEl (m)	Desvio padrão Lat (m)	Desvio padrão Lon (m)	Desvio padrão Alt (m)	Fonte
MARCOZERO_0129	S 8°03'47.38557"	O 34°52'16.10110"	-2.204	0.002	0.002	0.004	Rede

Referencîas

Marco	Posição Latitude	Posição Longitude	Posição AltEl (m)	Fonte
RECF	S 8°03'03.46972"	O 34°57'05.45911"	20.180	Usuário

Relatório de Estação Geodésica

Estação :	1814H	*Nome da Estação :*	1814H	*Tipo :*	Estação Altimétrica RN
Município :	GRAVATÁ			*UF :*	PE
Última Visita:	25/8/2008	*Situação Marco Principal :*	Bom		

	DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS
	Latitude	08 ° 11 ' 50 " S	*Altitude Ortométrica(m)*	460,6532	*Gravidade(mGal)*
	Longitude	35 ° 34 ' 21 "W	*Fonte*	Nivelamento Geométrico	*Sigma Gravidade(mGal)*
	Fonte	GPS Navegação	*Sigma Altitude (m)*	0.09	*Precisão*
	Origem	Transformada	*Datum*	Imbituba	*Datum*
S	*Datum*	SAD-69	*Data Medição*	19/3/1982	*Data Medição*
A	*Data Medição*	25/8/2008	*Data Cálculo*	15/6/2011	*Data Cálculo*
D	*Data Cálculo*				*Correção Topográfica*
6	*Sigma Latitude(m)*				*Anomalia Bouguer*
9	*Sigma Longitude(m)*				*Anomalia Ar-Livre*
	UTM(N)	9.093.003			*Densidade*
	UTM(E)	216.563			
	MC	-33			
	Latitude	08 ° 11 ' 51 " S			*Gravidade(mGal)*
S	*Longitude*	35 ° 34 ' 22 "W			*Sigma Gravidade(mGal)*
I	*Fonte*	GPS Navegação			*Precisão*
R	*Origem*				*Datum*
G	*Datum*	SIRGAS2000			*Data Medição*
A	*Data Medição*	25/8/2008			*Data Cálculo*
S	*Data Cálculo*				*Correção Topográfica*
2	*Sigma Latitude(m)*				*Anomalia Bouguer*
0	*Sigma Longitude(m)*				*Anomalia Ar-Livre*
0	*UTM(N)*	9.092.960			*Densidade*
0	*UTM(E)*	216.528			
	MC	-33			

- *Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf*
- *Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf*
- *Ajustamento Planimétrico Global SAD-69 em 15/09/1996 - Relatório em ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sad69.pdf*
- *Dados Planimétricos para Fonte carta nas escalas menores ou igual a 1:250000, valores SIRGAS2000 = SAD-69*

Localização

Chapa cravada no lado direito de quem entra na porta principal da Igreja de Santa Luzia, na Rua do Norte, bairro Norte, em Gravatá, PE.

Descrição

Chapa cravada na igreja

Foto(s) :

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

MONOGRAFIA DO MARCO IMPLANTADO

Finalidade : Trabalho Final de Curso	**Marco :** M2
Objeto : Marco Planialtimétrico	**Data :** Setembro/2013
Estado : Pernambuco	**Município :** Gravatá/PE
Local : Praça em frente a igreja de Santa Luzia	**Sistema :** SIRGAS2000

DESCRIÇÃO: Chapa metálica, estampada: M2, Topografia

DOCUMETAÇÃO FOTOGRÁFICA

LOCALIZAÇÃO

LOCALIZAÇÃO

O marco M2 está fixado no piso da praça em frente a igreja de Santa Luzia, na Rua do Norte, bairro Norte na cidade de Gravatá/PE

COORDENADAS UTM Sirgas2000

N = 9.092.950,542m
E = 216.526,144m
$H_{elipsoidal}$ = 460,112 m

COORDENADAS GEOGRÁFICAS e UTM

Latitude: 8°11'51,31303"S

Longitude: 35°34'22,06535"WGr

N = 9.092.950,542m

E = 216.526,144m

Hortométrica = 454,922m

Vértice de origem: Recife/PE (SAT-93110-1999)

RN de origem: RN_1814H

Datum Horizontal: Sirgas2000

Meridiano Central: 39° WGr

Datum Vertical: Imbituba-SC

COORDENADAS PÓS-PROCESSADAS
GTR Processor 2.91

Projeto	C:\glauber\RASTREI_GPS_CHARLES_TCC_2013\3-Arquivos_GNSS\ROVER\20130907\GRAVATÁ\Nativo\GTRProcessor\GRAVATA.spr
Modelo de Geóide	<Nenhum>
Sistema de coordenadas	Geo SIRGAS
Modelo de Projeção	Geographic
Datum	Geocentric Reference System for the Americas (IBGE, Brazil)

Reslutados Ajustados (desde os quadrados mÍnimos)

Marco	Posição Latitude	Posição Longitude	Posição AltEl (m)	Desvio padrão Lat (m)	Desvio padrão Lon (m)	Desvio padrão Alt (m)	Fonte
M2_GRAV_0088	S 8°11'51.31303"	O 35°34'22.06535"	454.924	0.026	0.037	0.050	Rede

Referencîas

Marco	Posição Latitude	Posição Longitude	Posição AltEl (m)	Fonte
RECF	S 8°03'03.46972"	O 34°57'05.45911"	20.180	Usuário

Relatório de Estação Geodésica

Estação :	371Q	*Nome da Estação :*	371Q	*Tipo :*	Estação Altimétrica RN
Município :	GARANHUNS			*UF :*	PE
Última Visita:	10/8/2010	*Situação Marco Principal :*	Bom		
Conexões :	EG : 8131981				

	DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
	Latitude	08 ° 53 ' 24 " S	*Altitude Ortométrica(m)*	842,4309	*Gravidade(mGal)*	977.955,36
	Longitude	36 ° 29 ' 30 "W	*Fonte*	Nivelamento Geométrico	*Sigma Gravidade(mGal)*	
	Fonte	GPS Navegação	*Sigma Altitude (m)*	0.08	*Precisão*	E <= 0.05 mGAL
	Origem	Transformada	*Datum*	Imbituba	*Datum*	RGFB
S	*Datum*	SAD-69	*Data Medição*	5/2/1985	*Data Medição*	10/8/2010
A	*Data Medição*	12/9/2007	*Data Cálculo*	15/6/2011	*Data Cálculo*	22/11/2011
D	*Data Cálculo*				*Correção Topográfica*	
6	*Sigma Latitude(m)*				*Anomalia Bouguer*	-33,25
9	*Sigma Longitude(m)*				*Anomalia Ar-Livre*	61,05
	UTM(N)	9.016.357			*Densidade*	2,67
	UTM(E)	775.875				
	MC	-39				
	Latitude	08 ° 53 ' 26 " S			*Gravidade(mGal)*	977.955,36
S	*Longitude*	36 ° 29 ' 31 "W			*Sigma Gravidade(mGal)*	
I	*Fonte*	GPS Navegação			*Precisão*	E <= 0.05 mGAL
R	*Origem*				*Datum*	RGFB
G	*Datum*	SIRGAS2000			*Data Medição*	10/8/2010
A	*Data Medição*	12/9/2007			*Data Cálculo*	22/11/2011
S	*Data Cálculo*				*Correção Topográfica*	
2	*Sigma Latitude(m)*				*Anomalia Bouguer*	-34,03
0	*Sigma Longitude(m)*				*Anomalia Ar-Livre*	60,29
0	*UTM(N)*	9.016.314			*Densidade*	2,67
0	*UTM(E)*	775.837				
	MC	-39				

- *Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf*
- *Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf*
- *Ajustamento Planimétrico Global SAD-69 em 15/09/1996 - Relatório em ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sad69.pdf*
- *Dados Planimétricos para Fonte carta nas escalas menores ou igual a 1:250000, valores SIRGAS2000 = SAD-69*

Localização

Chapa cravada no piso e no canto da parede, no lado direito de quem entra da porta principal da Igreja de Santo Antônio, matriz da cidade, na avenida de mesmo nome, no Centro, em Garanhuns, PE.

Descrição

Chapa padrão IBGE

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

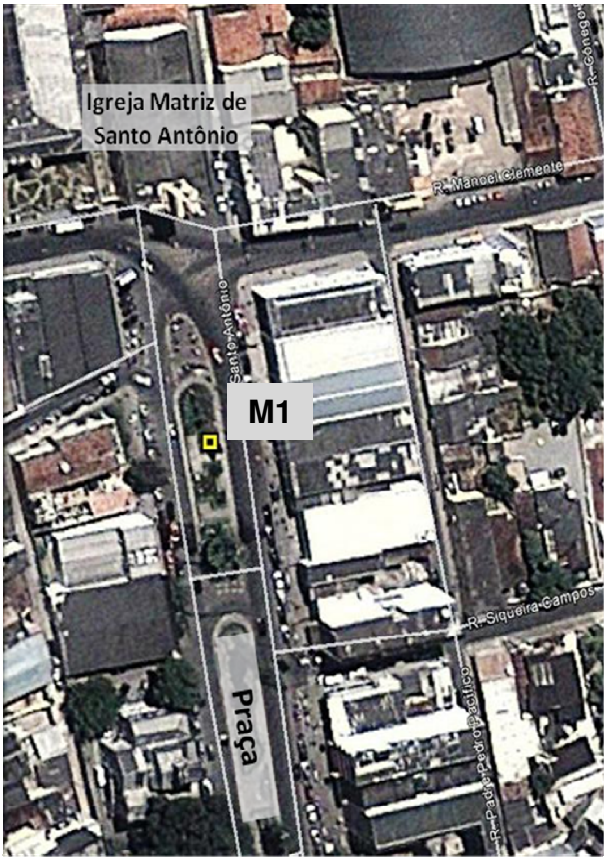
MONOGRAFIA DO MARCO IMPLANTADO

Finalidade : Trabalho Final de Curso	**Marco :** **M1**
Objeto : Marco Planialtimétrico	**Data :** Setembro/2013
Estado : Pernambuco	**Município :** Garanhuns/PE
Local : Praça em frente a Igreja de Santo Antônio	**Sistema :** SIRGAS2000

DESCRIÇÃO: Chapa metálica, estampada: M1, Topografia

DOCUMETAÇÃO FOTOGRÁFICA

CROQUI DE LOCALIZAÇÃO



LOCALIZAÇÃO

O marco M1 está fixado numa base de concreto na praça Santo Antônio em frente a Igreja de Santo Antônio, matriz da cidade de Garanhuns/PE

COORDENADAS GEOGRÁFICAS e UTM

Latitude: 8°53'26,47975"S

Longitude: 36°29'32,58477"WGr

N = 9.0162.99,756m

E = 775.788,637m

Hortométrica = 835,459m

Vértice de origem: Arapiraca/AL (SAT-93237).

RN de origem: RN-371Q.

Datum Horizontal: Sirgas2000

Meridiano Central: 39° WGr

Datum Vertical: Imbituba-SC

COORDENADAS UTM Sirgas2000

N = 9.0162.99,756m

E = 775.788,637m

$H_{elipsoidal}$ = 840,924 m

COORDENADAS PÓS-PROCESSADAS
GTR Processor 2.91

Projeto	C:\glauber\RASTREI_GPS_CHARLES_TCC_2013\3-Arquivos_GNSS\ROVER\20130907\GARANNHUS_ARAPIRACA_CAMPINA_GRANDE_RECIFE\Nativo\GTRProcessor\4F07JV72.spr
Modelo de Geóide	<Nenhum>
Sistema de coordenadas	Geo SIRGAS
Modelo de Projeção	Geographic
Datum	Geocentric Reference System for the Americas (IBGE, Brazil)

Reslutados Ajustados (desde os quadrados mÍnimos)

Marco	Posição Latitude	Posição Longitude	Posição AltEl (m)	Desvio padrão Lat (m)	Desvio padrão Lon (m)	Desvio padrão Alt (m)	Fonte
M1_GAR_0098	S 8°53'26.48000"	O 36°29'32.58249"	835.469	0.010	0.034	0.026	Rede

Referencîas

Marco	Posição Latitude	Posição Longitude	Posição AltEl (m)	Fonte
ALAR	S 9°44'57.20840"	O 36°39'12.31160"	266.230	Usuário
PBCG	S 7°12'49.24009"	O 35°54'25.69571"	534.100	Usuário
RECF	S 8°03'03.46972"	O 34°57'05.45911"	20.180	Usuário

COORDENADAS PÓS-PROCESSADAS
GTR Processor 2.91

Projeto	C:\glauber\RASTREI_GPS_CHARLES_TCC_2013\3-Arquivos_GNSS\ROVER\20130908\GARANNHUS_ARAPIRACA_CAMPINA_GRANDE_RECIFE\Nativo\GTRProcessor\GARANNHUS_ARAPIRACA_CAMPINA_GRANDE_RECIFE.spr
Modelo de Geóide	<Nenhum>
Sistema de coordenadas	Geo SIRGAS
Modelo de Projeção	Geographic
Datum	Geocentric Reference System for the Americas (IBGE, Brazil)

Reslutados Ajustados (desde os quadrados mÍnimos)

Marco	Posição Latitude	Posição Longitude	Posição AltEl (m)	Desvio padrão Lat (m)	Desvio padrão Lon (m)	Desvio padrão Alt (m)	Fonte
M1_08.09_0100	S 8°53'26.47975"	O 36°29'32.58477"	835.459	0.010	0.031	0.020	Rede

Referencîas

Marco	Posição Latitude	Posição Longitude	Posição AltEl (m)	Fonte
ALAR	S 9°44'57.20840"	O 36°39'12.31160"	266.230	Usuário
PBCG	S 7°12'49.24009"	O 35°54'25.69571"	534.100	Usuário
RECF	S 8°03'03.46972"	O 34°57'05.45911"	20.180	Usuário

0. Formulário

Preparado por: Centro de Controle Eng. Kátia Duarte Pereira - RBMC
Data: 06/01/2000
Atualização: 14/03/2013 - Atualização de Firmware

1. Identificação da estação GPS

Nome da Estação: RECIFE
Ident. da Estação: RECF
Inscrição no Monumento: SAT- 93110-1999
Código Internacional: 93110
Informações Adicionais: Esta estação pertence à Rede de Densificação do IGS e à Rede de Referência do SIRGAS

2. Informação sobre a localização

Cidade: Recife
Estado: Pernambuco
Informações Adicionais: Pino de centragem forçada com uma chapa cravada no pilar de concreto de base retangular, medindo 0,40 x 0,22 m e altura de 1,37 m acima da laje de concreto do prédio da Biblioteca. 1,37m do nível do terraço, na parte sul da lage de concreto da Biblioteca Central da UFPE, na Avenida dos Reitores, bairro Cidade Universitária e a 0,60 km além da RN 3640 X.

3. Coordenadas oficiais

3.1. SIRGAS2000 (Época 2000.4)

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	- 08° 03' 3,4697"	Sigma:	0,001 m
Longitude:	- 34° 57' 5,4591"	Sigma:	0,002 m
Alt. Elip.:	20,18 m	Sigma:	0,002 m
Alt. Orto.:	25,72 m	Fonte:	GPS/MAPGEO2010
Alt. Orto.:	25,6096 m	Fonte:	Nivelamento Geométrico
Coordenadas Cartesianas			
X:	5.176.588,653 m	Sigma:	0,002 m
Y:	-3.618.162,163 m	Sigma:	0,001 m
Z:	-887.363,920 m	Sigma:	0,001 m
Coordenadas Planas (UTM)			
UTM (N):	9.109.554,895 m		
UTM (E):	284.931,043 m		
MC:	-33		

4. Informações do equipamento GNSS

4.1. Receptor

4.1.1 Tipo do Receptor - TRIMBLE NETR8
Número de Série - 4923K35519
Versão do Firmware - 4.70 (Principal)
Atualização do Firmware - 14/03/2013 às 18:00

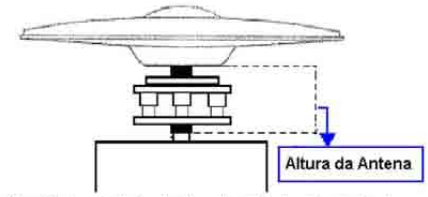
4.1.2 Tipo do Receptor - TRIMBLE NETR8
Número de Série - 4923K35519
Versão do Firmware - 4.41 (Principal)
Atualização do Firmware - 21/11/2012 às 16:15

4.1.3	Tipo do Receptor	- TRIMBLE NETR8
	Número de Série	- 4923K35519
	Versão do Firmware	- 4.17 (Principal)
	Data de Instalação	- 28/08/2012 às 20:22
4.1.4	Tipo do Receptor	- TRIMBLE NETR5
	Número de Série	- 4651K03572
	Versão do Firmware	- 3.84 (Principal)
	Atualização do Firmware	- 20/10/2009 às 00:00
	Data de Remoção	- 28/08/2012 às 20:21
4.1.5	Tipo do Receptor	- TRIMBLE NETR5
	Número de Série	- 4651K03572
	Versão do Firmware	- 3.50 (Principal)
	Data de Instalação	- 08/05/2007 às 00:00
4.1.6	Tipo do Receptor	- TRIMBLE 4000SSI
	Número de Série	- 3633A16744
	Versão do Firmware	- 7.01 (Principal)
	Data de Instalação	- 05/12/2006 às 00:00
	Data de Remoção	- 07/05/2007 às 00:00
4.1.7	Tipo do Receptor	- TRIMBLE 4000SSI
	Número de Série	- 16740
	Versão do Firmware	- 7.29 (Principal)
	Atualização do Firmware	- 04/09/2004 às 00:00
	Data de Remoção	- 04/12/2006 às 00:00
4.1.8	Tipo do Receptor	- TRIMBLE 4000SSI
	Número de Série	- 16740
	Versão do Firmware	- 7.22 (Principal)
	Data de Instalação	- 06/07/1999 às 00:00

4.2. Antena

4.2.1	Tipo de Antena	- GNSS CHOKE RING (TRM59800.00)
	Número de Série	- 4951353655
	Altura da Antena (m)	- 0,0710 (distância vertical do topo do dispositivo de centragem forçada à base da antena.)
	Data de Instalação	- 28/08/2012 às 20:22
4.2.2	Tipo de Antena	- ZEPHYR GNSS GEODETIC MODEL 2 (TRM55971.00)
	Número de Série	- 30337723
	Altura da Antena (m)	- 0,0710 (distância vertical do topo da torre à base da antena)
	Data de Instalação	- 08/05/2007 às 00:00
	Data de Remoção	- 28/08/2012 às 20:21
4.2.3	Tipo de Antena	- DORNE MARGOLIN T (TRM29659.00)
	Número de Série	- 70175
	Altura da Antena (m)	- 0,0700 (distância vertical do topo da torre à base da antena)
	Data de Instalação	- 04/09/2004 às 00:00
	Data de Remoção	- 07/05/2007 às 00:00
4.2.4	Tipo de Antena	- DORNE MARGOLIN T (TRM29659.00)
	Número de Série	- 70175
	Altura da Antena (m)	- 0,1290 (distância vertical do topo da torre à base da antena)
	Data de Instalação	- 06/07/1999 às 00:00
	Data de Remoção	- 03/09/2004 às 00:00

4.3. Esquema da Altura da Antena

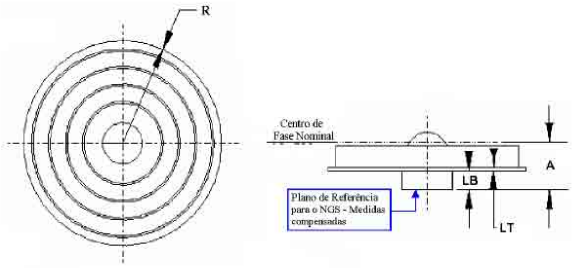


Obs.: utiliza base nivelante adaptada ao dispositivo de centragem forçada.

4.4. Esquema da Antena

4.4.1. Esquema da Antena: GNSS CHOKE RING (TRM59800.00)

Diagrama do plano de referência da antena Trimble GNNS CHOKE RING
Identificação IGS: TRM 59800.00

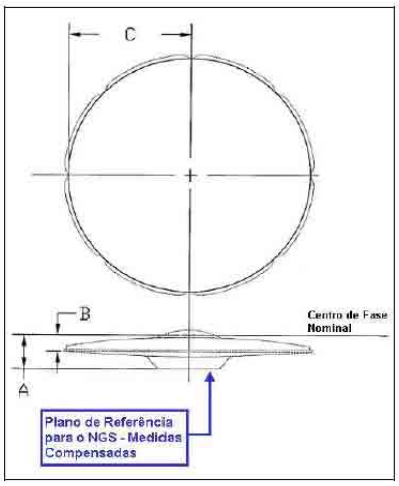


Identificação	Dimensão (m)	Distância
A	0,1100	Distância do plano de referência da antena ao centro de fase nominal da frequência L1
LB	0,0350	Distância do plano de referência da antena ao plano de referência Choke Ring
LT	0,0031	Espessura da antena
R	0,1905	Distância do centro radial da antena a extremidade exterior do prato.

Observação:
1. O centro de fase nominal é o plano de referência utilizado para corrigir a fase nas tabelas Trimble.
2. O fabricante informa que valor do centro de fase nominal não está relacionado com os valores de calibração relativa da antena estimado pelo NGS.
3. O NGS possui um projeto com o objetivo de fornecer um procedimento padrão e consistente na determinação dos valores do centro de fase e da variação do centro de fase (pvc)..
4. Calibrações de outras fontes não devem ser misturadas com os resultados do NGS.

4.4.2. Esquema da Antena: ZEPHYR GNSS GEODETIC MODEL 2 (TRM55971.00)

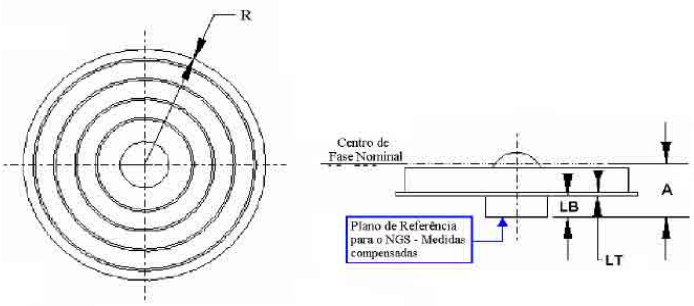
Diagrama do plano de referência da antena ZEPHYR GNSS GEODETIC MODEL 2
Identificação IGS: TRM 55971.00



Identificação	Dimensão (m)	Distância
A	0,0850	Distância da base da antena ao centro de fase nominal L1.
B	0,0406	Distância do plano da antena ao centro de fase nominal L1.
C	0,1698	Distância do centro radial da antena a extremidade da marca exterior.

4.4.3. Esquema da Antena: DORNE MARGOLIN T (TRM29659.00)

Diagrama do plano de referência da antena Dorne Margolin T
Identificação IGS: TRM 29659.00



Identificação	Dimensão (m)	Distância
A	0,1100	Distância do plano de referência da antena ao centro de fase nominal da frequência L1
LB	0,0350	Distância do plano de referência da antena ao plano de referência Choke Ring
LT	0,0031	Espessura da antena
R	0,1905	Distância do centro radial da antena a extremidade exterior do prato.

Observação:
1. O centro de fase nominal é o plano de referência utilizado para corrigir a fase nas tabelas Trimble.
2. O fabricante informa que valor do centro de fase nominal não está relacionado com os valores de calibração relativa da antena estimado pelo NGS.
3. O NGS possui um projeto com o objetivo de fornecer um procedimento padrão e consistente na determinação dos valores do centro de fase e da variação do centro de fase (pvc)..
4. Calibrações de outras fontes não devem ser misturadas com os resultados do NGS.

5. Informações Complementares

5.1. Para informações técnicas contatar:

Nome: IBGE/DGC/Coordenação de Geodésia
Endereço: Av. Brasil, 15.671, CEP 21.241-051, Rio de Janeiro, RJ
Telefone: (21) 2142-4935
FAX: (21) 2142-4859
Home Page: www.ibge.gov.br
Contato: rbmc@ibge.gov.br

5.2. Para informações sobre comercialização e aquisição de dados contatar:

Nome: Centro de Documentação e Disseminação de Informações - CDDI/IBGE
Endereço: Rua General Canabarro, 706, CEP 20271-201, Rio de Janeiro, RJ
Telefone: 0800-721-8181
Contato: ibge@ibge.gov.br

5.3. Instituições participantes

A RBMC conta com o apoio das seguintes instituições:

http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/parcerias.shtm

0. Formulário

Preparado por: Centro de Controle Eng. Kátia Duarte Pereira - RBMC
Data: 03/04/2008
Atualização: 28/06/2010 - Atualização da Alt. Orto. (MAPGEO2010)

1. Identificação da estação GPS

Nome da Estação: CAMPINA GRANDE
Ident. da Estação: PBCG
Inscrição no Monumento: Não há inscrição
Código Internacional: 92447
Informações Adicionais: -

2. Informação sobre a localização

Cidade: Campina Grande
Estado: Paraíba
Informações Adicionais: Cilíndrico de concreto medindo 1,40 m de altura e 0,20 m de diâmetro, elevado sobre plataforma de concreto medindo 0,80 m x 0,80 m, por 0,20 m de altura, Possui no topo um pino de centragem forçada. Na laje superior do bloco CM pertencente a coodenação de Engenharia. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) - Rua Aprígio Veloso, 882 Bairro
Bodocongó.

3. Coordenadas oficiais

3.1. SIRGAS2000 (Época 2000.4)

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	- 07° 12' 49,2401"	Sigma:	0,001 m
Longitude:	- 35° 54' 25,6957"	Sigma:	0,001 m
Alt. Elip.:	534,10 m	Sigma:	0,004 m
Alt. Orto.:	538,12 m	Fonte:	GPS/MAPGEO2010
Coordenadas Cartesianas			
X:	5.125.899,424 m	Sigma:	0,003 m
Y:	-3.711.505,630 m	Sigma:	0,002 m
Z:	-795.650,619 m	Sigma:	0,001 m
Coordenadas Planas (UTM)			
UTM (N):	9.201.606,165 m		
UTM (E):	178.917,587 m		
MC:	-33		

4. Informações do equipamento GNSS

4.1. Receptor

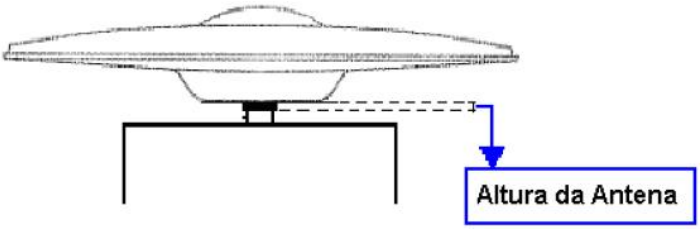
4.1.1 Tipo do Receptor - TRIMBLE NETR5
Número de Série - 4651K03604
Versão do Firmware - 3.84 (Principal)
Atualização do Firmware - 20/10/2009 às 00:00

4.1.2 Tipo do Receptor - TRIMBLE NETR5
Número de Série - 4651K03604
Versão do Firmware - 3.50 (Principal)
Data de Instalação - 08/12/2007 às 00:00

4.2. Antena

4.2.1 Tipo de Antena - ZEPHYR GNSS GEODETIC MODEL 2 (TRM55971.00)
Número de Série - 30260461
Altura da Antena (m) - 0,0080 (distância vertical do topo do dispositivo de centragem forçada à base da antena)
Data de Instalação - 08/12/2007 às 00:00

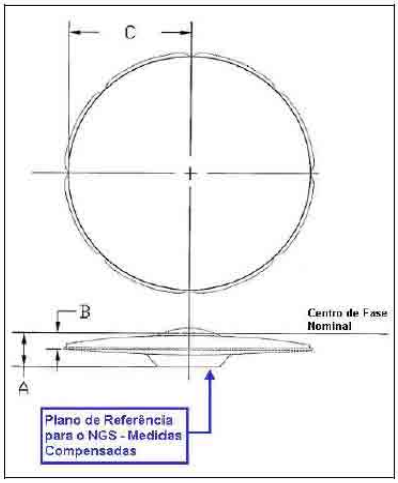
4.3. Esquema da Altura da Antena



4.4. Esquema da Antena

4.4.1. Esquema da Antena: ZEPHYR GNSS GEODETIC MODEL 2 (TRM55971.00)

Diagrama do plano de referência da antena ZEPHYR GNSS GEODETIC MODEL 2
Identificação IGS: TRM 55971.00



Identificação	Dimensão (m)	Distância
A	0,0850	Distância da base da antena ao centro de fase nominal L1.
B	0,0406	Distância do plano da antena ao centro de fase nominal L1.
C	0,1698	Distância do centro radial da antena a extremidade da marca exterior.

5. Informações Complementares

5.1. Para informações técnicas contatar:

Nome: IBGE/DGC/Coordenação de Geodésia
Endereço: Av. Brasil, 15.671, CEP 21.241-051, Rio de Janeiro, RJ
Telefone: (21) 2142-4935
FAX: (21) 2142-4859
Home Page: www.ibge.gov.br
Contato: rbmc@ibge.gov.br

5.2. Para informações sobre comercialização e aquisição de dados contatar:

Nome:	Centro de Documentação e Disseminação de Informações - CDDI/IBGE
Endereço:	Rua General Canabarro, 706, CEP 20271-201, Rio de Janeiro, RJ
Telefone:	0800-721-8181
Contato:	ibge@ibge.gov.br

5.3. Instituições participantes

A RBMC conta com o apoio das seguintes instituições:

http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/parcerias.shtm

0. Formulário

Preparado por: Centro de Controle Eng. Kátia Duarte Pereira - RBMC
Data: 03/04/2008
Atualização: 28/06/2010 - Atualização da Alt. Orto. (MAPGEO2010)

1. Identificação da estação GPS

Nome da Estação: ARAPIRACA
Ident. da Estação: ALAR
Inscrição no Monumento: SAT 93237
Código Internacional: 93237
Informações Adicionais: -

2. Informação sobre a localização

Cidade: Arapiraca
Estado: Alagoas
Informações Adicionais: Cilindro de concreto aflorando 1,20 m do telhado e medindo 0,30 m de diâmetro. Possui dispositivo de centragem forçada em seu topo e chapa de identificação padrão IBGE fixada em sua face, estampada SAT 93237. Em frente a quadra de esportes, no final do pavilhão de salas de aula mais a esquerda, nas dependências da Universidade Estadual de Alagoas (UNEAL). Av. Governador Luiz Cavalcante s/n - Centro - Arapiraca/AL.

3. Coordenadas oficiais

3.1. SIRGAS2000 (Época 2000.4)

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	- 09° 44' 57,2084"	Sigma:	0,001 m
Longitude:	- 36° 39' 12,3116"	Sigma:	0,001 m
Alt. Elip.:	266,23 m	Sigma:	0,004 m
Alt. Orto.:	274,28 m	Fonte:	GPS/MAPGEO2010
Coordenadas Cartesianas			
X:	5.043.729,726 m	Sigma:	0,003 m
Y:	-3.753.105,556 m	Sigma:	0,002 m
Z:	-1.072.967,067 m	Sigma:	0,001 m
Coordenadas Planas (UTM)			
UTM (N):	8.921.420,847 m		
UTM (E):	757.437,686 m		
MC:	-39		

4. Informações do equipamento GNSS

4.1. Receptor

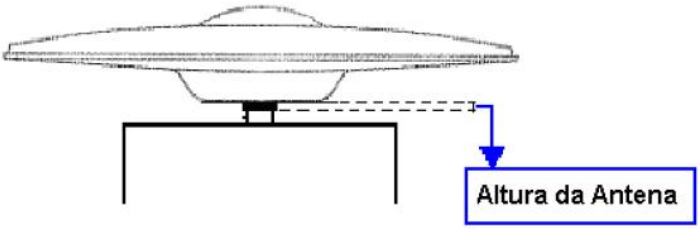
4.1.1 Tipo do Receptor - TRIMBLE NETR5
Número de Série - 4651K03662
Versão do Firmware - 3.84 (Principal)
Atualização do Firmware - 19/10/2009 às 00:00

4.1.2 Tipo do Receptor - TRIMBLE NETR5
Número de Série - 4651K03662
Versão do Firmware - 3.50 (Principal)
Data de Instalação - 16/08/2007 às 00:00

4.2. Antena

4.2.1 Tipo de Antena - ZEPHYR GNSS GEODETIC MODEL 2 (TRM55971.00)
Número de Série - 30278369
Altura da Antena (m) - 0,0010 (distância vertical do topo do dispositivo de centragem forçada à base da antena)
Data de Instalação - 16/08/2007 às 00:00

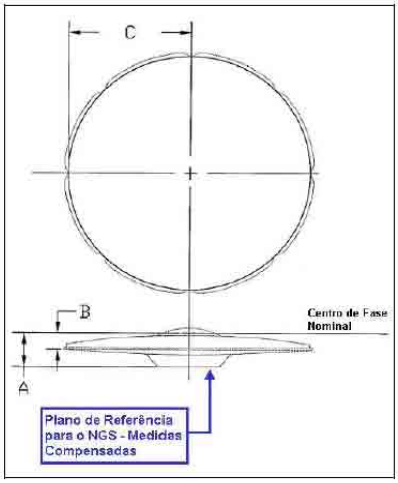
4.3. Esquema da Altura da Antena



4.4. Esquema da Antena

4.4.1. Esquema da Antena: ZEPHYR GNSS GEODETIC MODEL 2 (TRM55971.00)

Diagrama do plano de referência da antena ZEPHYR GNSS GEODETIC MODEL 2
Identificação IGS: TRM 55971.00



Identificação	Dimensão (m)	Distância
A	0,0850	Distância da base da antena ao centro de fase nominal L1.
B	0,0406	Distância do plano da antena ao centro de fase nominal L1.
C	0,1698	Distância do centro radial da antena a extremidade da marca exterior.

5. Informações Complementares

5.1. Para informações técnicas contatar:

Nome: IBGE/DGC/Coordenação de Geodésia
Endereço: Av. Brasil, 15.671, CEP 21.241-051, Rio de Janeiro, RJ
Telefone: (21) 2142-4935
FAX: (21) 2142-4859
Home Page: www.ibge.gov.br
Contato: rbmc@ibge.gov.br

5.2. Para informações sobre comercialização e aquisição de dados contatar:

Nome:	Centro de Documentação e Disseminação de Informações - CDDI/IBGE
Endereço:	Rua General Canabarro, 706, CEP 20271-201, Rio de Janeiro, RJ
Telefone:	0800-721-8181
Contato:	ibge@ibge.gov.br

5.3. Instituições participantes

A RBMC conta com o apoio das seguintes instituições:

http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/parcerias.shtm

Planilha Consolidada com os Resultados do Levantamento

Marco	Local	Tempo Rastreio (minutos)	Data	Fuso	Altura da Antena (m)	Latitude DATUM SIRGAS200	Longitude DATUM SIRGAS200	Este DATUM SIRGAS200 (m)	Norte DATUM SIRGAS200 (m)	σ_X (m)	σ_Y (m)	σ_Z (m)	h Elipsoidal obs. campo (m)	H Ortométrica trans. campo (m)	N obs. campo (m)	N interpolador (m)	Resíduo$_i$ ($N_{obs.\ Campo}$ - $N_{interpolador}$) (m)	Módulo do Residuo$_i$ ($N_{obs.\ Campo}$ - $N_{interpolador}$) (m)
M1	Garanhuns	180	07/09/13	24L	1,609	8°53'26.48000"	36°29'32.58249"	775.788,7280	9.016.299,7480	0,010	0,034	0,026	835,469	840,924	-5,455	-6,840	-1,385	1,385
M1	Garanhuns	180	08/09/13	24L	1,539	8°53'26.47975"	36°29'32.58477"	775.788,6370	9.016.299,7560	0,010	0,031	0,020	835,459	840,924	-5,465	-6,840	-1,375	1,375
M2	Gravatá	120	07/09/13	25L	1,621	8°11'51.31303"	35°34'22.06535"	216.526,1440	9.092.950,5420	0,026	0,030	0,050	454,922	460,112	-5,190	-5,200	-0,010	0,010
RN3640F	Recife	60	19/10/13	25L	1,606	8°03'47.38557"	34°52'16.10110"	293.798,3920	9.108.247,0080	0,002	0,002	0,004	-2,204	3,245	-5,449	-5,720	-0,271	0,271
																	Média$_{resíduos}$ (m)	0,760
																	Desvio Padrão$_{resíduos}$ (m)	0,724