

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

Michael Antão
Andréa de Seixas
Joaquim Motta
Adeildo Antão dos Santos

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica
Departamento de Geologia
Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação.
{michaelantao@yahoo.com.br, aseixas@ufpe.br}

RESUMO – A malha da Ondulação Geoidal no Nordeste é de uma precisão baixa devido à existência de uma malha pouco adensada, esta pesquisa trata de um método para determinação dessa ondulação através do Sistema de Posicionamento Global (GPS), onde será aproveitada uma rede de RN'S existente homologados pelo IBGE. Para o desenvolvimento desta pesquisa foi escolhida uma área para estudo, onde em tese esta área compreendesse uma variação na ondulação geoidal, e a partir destes pontos foi feito um levantamento para a determinação da altitude elipsoidal; após o levantamento e processamento dos dados pelo programa TGO, será utilizado um modelo matemático para determinação da ondulação geoidal, e posteriormente através de interpolação encontrar qualquer ondulação geoidal na área em estudo. Para que os dados deste trabalho tivessem como ser comparados em seus resultados foi realizado um levantamento gravimétrico sobre os RN'S, onde a partir dos dados deste levantamento e após os resultados encontrados pelo modelo, seja possível verificar se as altitudes ortométricas a partir do emprego apenas do GPS estão consistentes ou não.

ABSTRACT - The mesh of Undulation Geoids in the Northeast is low precision because of a mesh with a few points, this research is a method for determining such a ripple through the Global Positioning System (GPS), which will be used a network of RN'S existing approved by the IBGE. For the development of this research was chosen an area to study, which in theory, this area understand a change in the ripple ge the ripple geoids, and from these points was made a survey to determine the height ellipsoidal; after the survey and processing of information by the TGO programme, will be used a mathematical model to determine the ripple geoids, and then through geoids interpolation find any ripple in the area under study, so to compare the information from this work we did a gravimetric survey, from that information and after the results found by the model, there is a possibility of knowing IF the information are consistent or not.

1 INTRODUÇÃO

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

A forma do geóide está diretamente relacionada ao campo da gravidade da Terra. No entanto, o elipsóide é uma superfície matemática trabalhável com forma e dimensão definidas. Por se aproximar do geóide

esta superfície é utilizada nos levantamentos geodésicos como superfície de referência no posicionamento horizontal e vertical. Estas duas superfícies, geralmente, não são coincidentes e nem paralelas e esta separação entre a superfície do geóide e a do elipsóide é denominada ondulação geoidal N. Esta ondulação pode atingir até dezenas de metros. O ângulo formado entre a normal da superfície elipsoidal e a vertical da superfície geoidal, chamada de Desvio da Vertical, em casos extremos é de até 1' (um) minuto de arco (GEMAEL, 1999).

É sabido que na Região Nordeste Brasileira se conhece a ondulação geoidal com uma incerteza de três

metros (fonte – MAPGEO (IBGE,EPUSP)). Assim, uma metodologia, com base na determinação de estruturas geodésicas amarradas ao campo de pontos definidores das Redes Geodésicas do IBGE, não necessariamente de primeira ordem, com o emprego do GPS, que propicie sua determinação com precisão inferior a três metros, por meio de interpolações, é de grande relevância e de grande importância para o desenvolvimento futuro de modelagem de terrenos aplicados à Engenharia e Cartografia.

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

Surge, então, a necessidade de transformar a altitude geométrica ou elipsoidal obtida no GPS, em altitude ortométrica (altitude referenciada ao geóide). Esta transformação, do ponto de vista matemático, constitui-se em uma operação simples, envolvendo a altitude geométrica e ondulação geoidal no ponto. Conforme se pode ver na Figura 1, as altitudes ortométricas e elipsoidais estão relacionadas por (AYHAN, 1993):

$$h \approx H + N$$

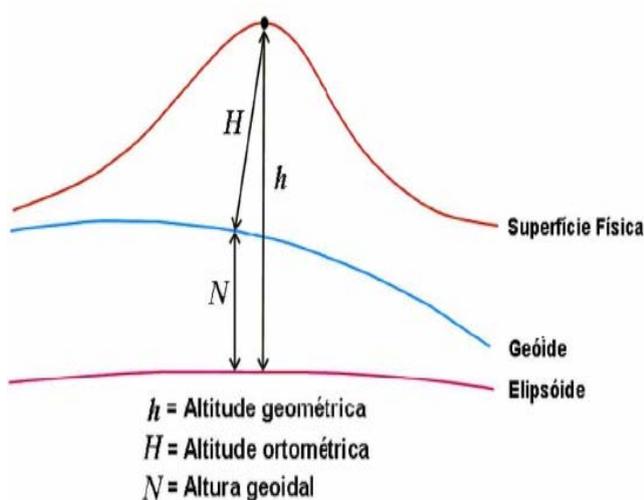


Figura 1 - Formas representativas da Terra e relação entre as altitudes. Fonte: SANTOS (2001)

Neste contexto, o estudo para a determinação de um modelo geoidal local por meio de posicionamento por satélites (GPS), em abrangência local poderá

incentivar e subsidiar a elaboração de uma carta geoidal do Estado de Pernambuco, além de contribuir para o desenvolvimento na determinação apropriada de dados altimétricos para utilização na Engenharia e Cartografia.

Esta temática está sendo abordada pelo autor em uma pesquisa de mestrado em desenvolvimento no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Neste contexto será apresentada uma abordagem sobre a determinação de altitude com o GPS e com o gravímetro LaCoste&Romberg (G-994), assim como a análise comparativa de ondulações geoidais. A definição dos procedimentos metodológicos para a área teste e a realização dos levantamentos altimétricos por meio destas duas tecnologias de medição serão apresentadas, finalizando-se com algumas considerações finais relevantes deste trabalho.

2 DETERMINAÇÃO DA ONDULAÇÃO GEOIDAL ATRAVÉS DO GPS E GRAVIMETRIA

A aquisição dos dados para este trabalho tem como base o Sistema NAVSTAR GPS (Navigation System with Time And Ranging - Global Positioning System) e de medições com Gravímetro.

Todo o trabalho de campo teve a finalidade de determinar não só as coordenadas dos pontos mais principalmente a altitude elipsóide (altitude geométrica) para ser utilizada no modelo.

2.1 Determinação da ondulação geoidal através do GPS

O Sistema NAVSTAR GPS (Navigation System with Time And Ranging - Global Positioning System), uma das mais modernas tecnologias de posicionamento disponíveis ao técnico especializado, possibilitando, através da emissão de sinais da Banda L do espectro eletromagnético (SILVA, 1990) produzidos nos osciladores atômicos (Cs e Rb) dos satélites GPS, para obter posições relativas ou absolutas de pontos da superfície do Globo Terrestre.

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

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

Ainda segundo SEEBER (2003), a navegação por GPS baseia-se na medição das pseudo-distâncias entre o usuário e o mínimo de quatro satélites. Sob o ponto de vista geométrico seriam necessários apenas três satélites, no entanto, o fato do relógio do receptor não ser

sincronizado com os relógios dos satélites, daí a necessidade da utilização de um quarto satélite.

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

Logo, após o rastreamento em campo dos pontos selecionados, passa-se para a próxima etapa que é o processamento dos dados, neste trabalho o processamento foi feito por um programa chamado TGO (Trimble Geomatics Office), onde nele são encontradas as coordenadas tridimensionais (latitude, longitude e altitude elipsoidal), o qual será utilizado para a determinação da ondulação geoidal e a altitude elipsoidal, utilizando o programa chamado MAPEGEO, ressaltando, além disso, as propriedades geofísicas da área em que as observações serão desenvolvidas.

Para determinação da ondulação geoidal será utilizado o seguinte modelo matemático: $N=AX+BY+C$.

2.2 Determinações da ondulação geoidal através da Gravimetria

O gravímetro fornece subsídio para a determinação da ondulação geoidal com altíssima precisão através do Teorema de Stokes. Neste trabalho a determinação dessa ondulação geoidal será bastante interessante, porque servirá de base comparativa para verificação do modelo adotado.

Gravimetria: Mede as variações do campo gravitacional terrestre, causadas pela distribuição lateral de rochas com diferentes densidades dentro da crosta até poucos quilômetros de profundidade. Para cada região, após um conhecimento prévio da densidade média local, será considerada uma anomalia qualquer corpo que possui uma densidade diferente dessa média. Em campo, este estudo é feito através de gravímetros. Na exploração de petróleo este método é usado para delimitar bacias onde a densidade do embasamento seja bem maior que a densidade das rochas sedimentares; mapear domos de sal e delimitar grandes altos estruturais, assim como, o gravímetro é utilizado neste trabalho para a determinação da Ondulação Geoidal.

2.2.2 Determinação da Gravidade

Força da gravidade (g) em um ponto da superfície terrestre é a resultante da força de atração exercida pelas massas terrestres e da força centrífuga que atuam sobre a unidade de massa situada nesse ponto. Com a conveniente unidade esse número indica o módulo da aceleração da gravidade.

Podem-se considerar dois casos para determinação de g :

- i) Determinações absolutas – Proporcionam diretamente o valor de g em uma estação se baseando na medida do tempo de percurso

de um corpo em queda livre. Realizadas pelo método pendular, explorando a queda livre de um grave, ou utilizando gravímetros absolutos.

- ii) Determinações relativas – Exigem a ocupação de duas estações e determinam a diferença de g entre ambas. Realizadas comumente com uso do gravímetro, mas também podem ser utilizando os pêndulos.

2.2.3 Gravímetro utilizado

Foi utilizado o gravímetro LaCoste&Romberg (G-994), fabricado pela LaCoste Romberg Inc. de Austin, Texas (Figura 3). É facilmente transportável, pois com sua caixa e bateria pesa apenas 13 kg e pode medir diferenças de até 7.000 miligals.

O sistema elástico é de quartzo fundido (não magnético), encerrado em uma câmara estanque a coberto de variações da pressão atmosférica, sendo o equipamento termostaticado, isto é, mantido eletricamente a uma temperatura constante. A mola é feita de metal com alta condutividade térmica, para minimizar o efeito da expansão térmica, sendo pretensionada na fábrica (Comprimento zero). A leitura é efetuada em um visor que mostra a luz refletida do feixe e para ser feito o ajuste de nulo utiliza-se o parafuso micrométrico. A precisão do equipamento vai a 0.03 u.g.

A chamada “linha de leitura” corresponde a “posição zero” ou simplesmente a marca de referência para as leituras com uso da mola de longitude zero, que vem registrada para cada gravímetro no respectivo manual, juntamente com a temperatura operacional e a tabela de calibração. O equipamento utilizado tinha linha de leitura modificada para 2.40.

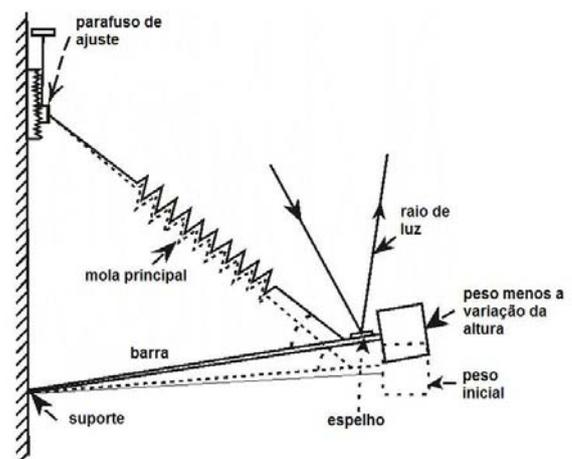


Figura 3 - Esquema do funcionamento do gravímetro LaCoste & Romberg

2.2.4 Redução da gravidade ao geóide

A fórmula da gravidade referida ao esferóide fornece o valor que deveria encontrar-se em um ponto considerando se a Terra tivesse a forma de um esferóide perfeitamente uniforme ajustado o mais possível ao nível do mar, se não afetada pelas marés ou ventos.

2.2.5 Anomalias

A interpretação de dados geofísicos não é única, porém como são muitas interpretações os resultados podem ser ambíguos. A diferença entre o valor medido e o previsto em Gravimétrica é conhecida por anomalia da Gravidade.

Anomalias gravitacionais refletem a estrutura da densidade da massa da terra, e são tratadas como informações básicas no mapeamento de pesquisa e na investigação das estruturas subterrâneas.

- a) **Correção de Ar Livre** - Correção da redução na gravidade devido à altura sobre o geóide, independente das rochas abaixo. A correção do ar livre é a diferença entre a gravidade medida ao nível do mar e em uma elevação, h , no espaço livre. Correção do ar livre = 3,086 u.g./m. Com a precisão atual das medições gravimétricas, de 0,1 u.g., a elevação pode ser conhecida na faixa de 5 cm.
- b) **Correções do terreno** - Precisam ser aplicadas onde medições são realizadas próximas às montanhas ou vales. Se a estação está próxima a elevações, há uma força extra para cima atuando no gravímetro, que reduz a leitura. Se a estação está próxima a um vale, existe uma ausência de forças para baixo, afetando o instrumento. As correções de terreno podem ser computadas usando máscaras, como as chamadas Cartas Hammer.
- c) **Correção EOTVOS** - Se o gravímetro está se movendo em um veículo, como em um navio ou aeroplano, ele é afetado pela componente vertical da aceleração, efeito Coriolis, a qual depende da velocidade e direção do movimento.
- d) **Maré Luni-Solar** - A Terra também responde à gravidade do Sol e à da Lua, percebe-se a atração pela variação dos oceanos, mas o movimento é muito menor. As correções são feitas por leituras repetidas na mesma estação.
- e) **Correção da Latitude (COLAT)** - Considerando a Terra rotacional, esférica e radialmente homogênea, corrigi-se o valor de g pela fórmula:

$$COLAT = 0,8122 * \sin 2\varphi \quad (\text{mgal/km}) \quad (4)$$

Onde φ é a latitude geodésica da base de referência.

A explicação está no fato de que em latitudes pequenas (próximas ao equador) o valor de g é menor que nos pólos (latitude máxima), pois a aceleração centrífuga, componente de g , é nula neste ponto.

Teoricamente, o valor final corrigido da intensidade da gravidade deveria ser atribuído unicamente aos desvios da gravidade em rochas superficiais que existem por debaixo do plano de referência. A principal impressão nas correções se deve a seleção das gravidades das rochas superficiais para fazer as correções de Bouguer e topográfica, em especial quando a litologia das formações ao redor da superfície são muito irregulares.

2.2.6 Análise de sinal gravimétrico

Após terem sido feitas todas as correções nos dados gravimétricos, são obtidas pontos pertencentes ao geóide. É chegada a hora de identificar as anomalias, as quais podem ser de origem magnética ou de rochas básicas que chegaram à superfície, existentes na ondulação do geóide, chamadas anomalias de Bouguer ou Campo Total (C_{TOTAL}).

Através das frequências e comprimentos de onda que ditam a extensão da anomalia dentro da Terra gera-se um mapa por interpolação que une os pontos mediante curvas de igual valor, obtendo uma representação que só dará informações úteis sobre a geologia interna do terreno, quando analisada mediante técnicas interpretativas apropriadas, fazendo-se necessária a separação em dois campos: o regional e o residual.

$$C_{TOTAL} = C_{REGIONAL} + C_{RESIDUAL} \quad (5)$$

Métodos de separação:

- Manual
- Média Móvel
- Ajuste de Polinômio
- Condição de Isostasia

Método Manual - Separa regional e residual com vínculos na suavidade do regional e na tendência do residual à zero. Tem como características sua versatilidade e a dependência de um interprete experiente para não gerar interpretações erradas, e como desvantagens a demora do processo e a não reprodução, já que como é manual a reprodução nunca terá mesmo resultado.

Método da Média Móvel - Defini-se uma pequena área que possa ser individualizada no mapa Bouguer e marca um acetato, por exemplo, um círculo e após isso transpõe com marcas os pontos de estações gravimétricas. Verificam-se quais os limites das leituras, entre linhas no mapa, e a média dos valores limites será o

valor regional. O valor residual é definido pela fórmula do campo total (mostrada acima), considerando o valor do campo total como sendo o valor no centro do círculo. O problema do método é que quando se aumenta a célula diminui-se a precisão, e, além disso, tem-se problema também com a falta de dados dentro de certas áreas do mapa.

Método por Ajuste de Polinômio (Robusto) - Este método é iterativo e utiliza a solução obtida através do ajuste polinomial pelo método dos mínimos quadrados como aproximação inicial. Na metodologia empregada, a influência de observações contendo forte contribuição do campo residual é minimizada no ajuste do campo regional. A componente regional obtida a partir da separação regional-residual é transformada em um mapa de profundidades absolutas da interface representando o relevo do embasamento. Esta transformação é efetuada iterativamente, cada iteração sendo constituída de quatro etapas. A primeira consiste no cálculo da componente regional corrigida do efeito de um nível de base, representado por um polinômio de ordem 1 e inicializado com coeficientes nulos. A segunda consiste na continuação para baixo da componente regional corrigida, que é pressuposta ser causada por uma superfície suave separando dois meios homogêneos, representando a interface sedimentos-embasamento, com um determinado contraste de densidade. A terceira etapa consiste na transformação do mapa de continuação para baixo em um mapa de distâncias verticais entre o nível de continuação e a interface. Na quarta etapa, através da introdução de informação independente sobre a profundidade da interface em um número de pontos conhecidos, é calculado o valor do resíduo entre a profundidade estimada pelo método e a profundidade real em cada ponto. As iterações são controladas por um método de busca direta, onde os coeficientes do polinômio de ordem 1 são modificados, de modo a obter aqueles que minimizem uma norma dos resíduos. Assim, é determinado o nível de base que melhor incorpore a informação introduzida sobre a fonte regional.

Método da Condição de Isostasia – Também é um método de separação, mas que considera extensões muito grandes, maiores que 100 km, pois é a partir desta extensão que se considera a compensação isostática.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS ADOTADOS

3.1 Definição das fases e etapas do trabalho

O fluxograma abaixo indica todas as etapas realizadas neste trabalho.

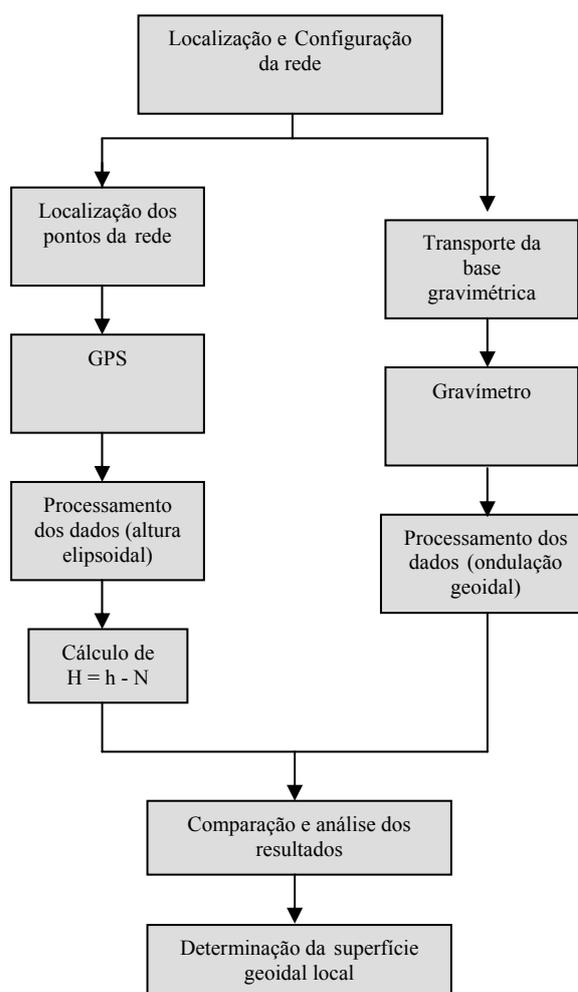


Figura 4 – Fluxograma da metodologia utilizada

3.2 DEFINIÇÃO, LOCALIZAÇÃO E RECONHECIMENTO DA ÁREA TESTE

A região onde foi desenvolvida a pesquisa tem uma área de aproximadamente 9600 km² e compreende o Litoral, Zona da Mata e Agreste de Estado de Pernambuco. Constata-se que nesta área de desenvolvimento da pesquisa desde a implantação dos RN'S, a região passou por muitas transformações, melhorias nas vias, com duplicações, recuperação dentre outras, também houveram muitas mudanças nas Escolhas, local onde quase não existe mais RN'S em bom estado de conservação, restando apenas as Igrejas que em sua grande maioria mantiveram o bom estado dos pontos de RN'S.

3.2.1 Aspectos Geomorfológicos da Região

A área de estudo para prospecção corresponde a um dos segmentos da Província Borborema mais desprovidos de informações geológicas atualizadas, principalmente no que tange a evolução crustal, por falta de datações geocronológicas, e também pela ausência de

um reconhecimento geoquímico regional para uma melhor visualização do potencial metalogénico.

Pode-se destacar a *Falha Lineamento Pernambuco* que teve grande importância nas formações das diversas bacias sedimentares existentes no nordeste do país, atuando, provavelmente, como mega-falha de transferência definindo a distribuição dos rifts ao sul e ao norte.

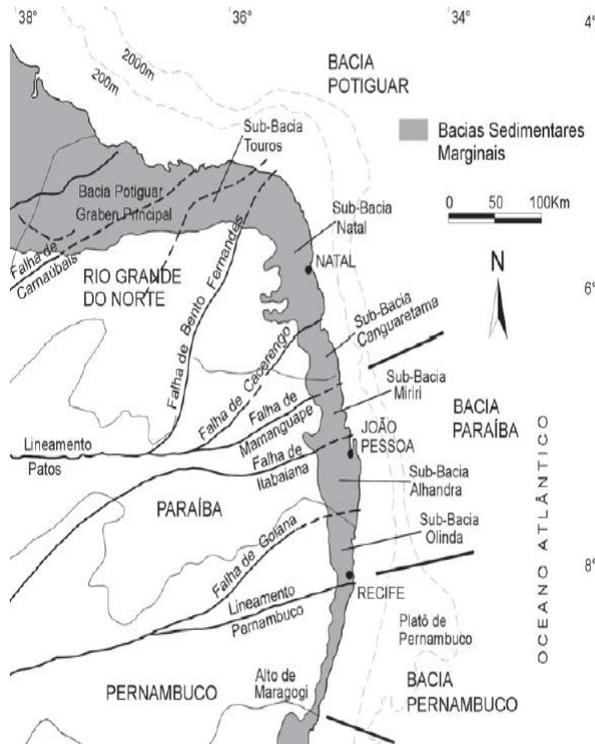


Figura 5 - Mapa de localização geológica da área em estudo (em vermelho).

3.2.2 Localização da Área

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

3.2.3 Seleção dos pontos de RN'S

A partir de uma lista disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foram selecionados todos os pontos de RN'S constantes na lista que faziam parte da área escolhida para a pesquisa, nesta lista existe o nome do ponto, a localização, as coordenadas (latitude, longitude e Altitude elipsoidal).

O número de RN'S selecionados foi bem maior que o pretendido, pois havia grande possibilidade de muitos estarem destruídos.

3.2.4 Reconhecimento

Foi feito um reconhecimento minucioso de cada ponto de RN, estes já haviam sido pré-selecionados, onde foi observada a destruição completa ou parcial da grande maioria destes pontos. Após a conclusão da campanha de reconhecimento dos RN'S foi dado o início no desenvolvimento de todo o planejamento de execução das atividades de rastreamento no campo. O principal objetivo da etapa do reconhecimento foi a de obter um primeiro contato com a região de estudo, observando a facilidade de acesso aos RN'S, selecionando o que tinha um estado de boa conservação.

Pelo fato de os pontos mais bem conservados estarem localizados nas Igrejas e que por sua vez estes são cravados na sua porta principal, nesta etapa foi constatado a necessidade de lançar mão de mais uma técnica nesta pesquisa, pois havia a necessidade de utilizar uma estação excêntrica; nesta avaliação, atenção especial foi dada para diagnosticar possíveis obstruções dos sinais GPS e multicaminhos (*multipath*).

Observa-se então que:

- 1- O objetivo principal do reconhecimento foi o de proporcionar subsídios para elaborar a seleção dos RN'S;
- 2- O percurso a ser desenvolvido na coleta de dados de campo;
- 3- A possibilidade do rastreo encima do próprio RN ou a necessidade da utilização de uma estação excêntrica e posteriormente o transporte de RN.

De posse das cartas, já com os RN'S plotados e das fichas que contém as descrições dos RN'S, foi elaborado um estratégia para o reconhecimento dos mesmos. Depois de estabelecida a estratégia foi dado início no dia 02 de Julho de 2007 o reconhecimento dos pontos, de onde existia 125 RN'S constantes na lista fornecida pelo IBGE, apenas 22 (vinte e dois) foram encontrados em boas condições de conservação e apenas 15 (quinze) foram utilizadas nesta pesquisa, pelo fato de que os outros 7 (sete) pontos estavam muito próximo de outros já encontrados não havendo a necessidade de sua utilização. Os municípios que tinham mais de um ponto encontrado foram: Vitória de Santo Antão, Jaboatão dos Guararapes, Moreno e São Lourenço da Mata e Recife.

3.3 Trabalho de Campo do GPS- Rastreo

O Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco dispõe de 02 pares de receptores de dupla frequência: modelos Rascal e 4000SST. Ambos foram utilizados procurando sempre simultaneidade para se ter sempre quadriláteros completos.

A configuração para o levantamento foi: O tempo mínimo de rastreo de 1 hora com ângulo de elevação de 15°.

Nas RN'S, onde houve a necessidade de estação excêntrica, esta foi implantada a uma distância máxima de 20 m da RN. As estações excêntricas foram escolhidas de modo a eliminar possíveis bloqueios dos sinais causados por construções civis ou por vegetações próximas às RN'S, ou ainda por reflexos indesejáveis geradores de multicaminhos (*multipath*), em sua grande maioria eles se encontravam situados nas portas das Igrejas, onde a obstrução é grande.

O desnível entre a estação excêntrica e a RN foi determinado por nivelamento geométrico, onde se executou o nivelamento e contra-nivelamento. Não houve estação nenhuma com a necessidade de mais de um lance, onde não haveria a necessidade, assim, de se tomar certos cuidados tais como, o comprimento dos lances fosse aproximadamente igual, ainda assim houve esta preocupação para que o lance tivesse aproximadamente a mesma distância. A maior discrepância aceita entre o nivelamento e contra nivelamento foi de 2 mm.

Os rastreios foram efetuados nos seguintes dias:

TABELA 1 – FIGURAS RASTREADAS

DIA	VÉRTICES OCU- PADOS (CIDADES)	OBS:
13-07-2007	MRN-RECF-PRF	NÃO APROVEITÁVEL FALTA DE HABILIDADE COM EQUIPAMENTOS
16-07-2007	GLR-VTR-MRN-JBT	NÃO APROVEITÁVEL PERDA DE OBSERVAÇÃO
21-07-2007	LMR-PDL-GLR-SLR	APROVEITÁVEL
27-07-2007	LMR-GLR-GVT-VTR-MRN-ECD	APROVEITÁVEL
28-07-2007	PLT-JBT-SLM-IGR-MRN	APROVEITÁVEL
04-08-2007	MRN-ECD-CSA-SRN	APROVEITÁVEL
18-08-2007	PLT-SLM-MRN-JBT-PTZ-MZR	APROVEITÁVEL

No final de cada dia de trabalho, descarregavam-se os dados GPS. Observa-se que os quatro (04) receptores envolvidos no projeto são de fabricantes diferentes como, também são diferentes os tipos de antenas utilizadas.

Para o processamento adotou-se o “software” TGO (Trimble Geomatics Office) por motivo de melhor desenvoltura, não querendo afirmar que o mesmo é melhor ou pior do que o “software” GRAVNAV E GRAFNET da fabricante Allen Osborne Associates (AOA) dos receptores RASCAL.

Neste caso os dados de campos dos receptores RASCAL tiveram que ser convertidos para arquivo RINEX (Receive INdependence EXchange) a assim, ser utilizado pelo programa TGO.

Para todas as linhas de base calculadas, adotou-se a coordenada do vértice da RBMC –(Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – Estação RECF) como fixa.

ESTAÇÃO RECF – COORDENADAS EM WGS'84 (SIRGAS)

LATITUDE	LONGITUDE	ALTURA ELIPSOIDAL	RN
8°03'03,4697”	34°57'05,4591”	20,18 M	---

Dado fornecido pelo IBGE

Algumas observações devem ser expostas:

- No cálculo de algumas linhas de base foi necessária a mudança do ângulo de elevação
- Em outras linhas foi necessária a mudança de tempo de rastreio
- Em alguns casos foram necessárias ambas

Todas estas modificações são possíveis dentro de certos critérios para que se possa atingir a precisão: *fixação da ambigüidade – solução livre de ionosfera; índice de variação; variação de referência e RMS*. Como esta modificação, totalmente válida, procurou-se atingir o critério adotado de precisão. O quadro abaixo extraído do TGO mostra o critério adotado para o cálculo de linha de base:

TABELA 2 – CRITÉRIO PARA REJEIÇÃO

	FREQÜÊNCIA ÚNICA		FREQÜÊNCIA DUPLA	
	FALHA	FALHA	FALHA	FALHA
SE RMS >	0,03	0,04	0,02	0,03
SE ÍNDICE <	3	1,5	3	1,5
SE DIVERGÊNCIA >	10	20	5	10

Fonte TGO

Vale salientar que houve situações onde não foi possível o cálculo da linha de base em que pese às modificações possíveis, neste caso o retorno ao campo se faz necessário para refazer a linha de base.

TABELA 3 - CRITÉRIO DE ANÁLISE PARA A DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DA SOLUÇÃO DE LINHA DE BASE

FIXADA AMBIGÜIDADE	A	RMS OK. SOLUÇÃO “LIVRE DE IONOSFERA” RECOMENDADA
FIXADA AMBIGÜIDADE	A	RMS MUITO GRANDE. DADOS COM MUITO “RUÍDOS” OU LINHA DE BASE É MUITO EXTENSA.
AMBIGÜIDADE NÃO FIXADA		RMS OK. SOLUÇÃO NÃO FIXADA DEVIDA: LINHA DE BASE MUITO EXTENSA; POUCO TEMPO DE RASTREIO; OU NÚMERO DE SATÉLITE MÍNIMO.
AMBIGÜIDADE NÃO FIXADA E RMS MUITO GRANDE		MOTIVO IDÊNTICO AO ITEM ANTERIOR COM A AGRAVANTE DOS DADOS ESTAREM COM MUITO “RUÍDOS” E A LINHA SER SUPERIOR A 100KM.

Tabela 4			
Distancia(km)	Índice de variação Ratio	RMS (critério)	RMS (distância)
0 – 10	≥ 3,0	< 0,02 + (0,004*Km)	0,02 – 0,06
10 – 20	≥ 2,8	< 0,03 + (0,003*Km)	0,06 – 0,09
20 – 30	≥ 2,6	< 0,04 + (0,0025*Km)	0,09 – 0,115
30 – 40	≥ 2,4	< 0,04 + (0,0025*Km)	0,115 – 0,14
40 – 60	≥ 2,2	< 0,08 + (0,0015*Km)	0,14 – 0,17
60 – 100	≥ 2,2	< 0,17	0,17
100	≥ 2,2	< 0,20	0,20
Considerações sobre o R dop			
Unidade m/ciclo			
Valores menores que 0,4/ciclos – resultado satisfatório			
Ambigüidade não encontrada, rdop alto – geometria péssima ou tempo insuficiente.			
Se rdop for baixo e o “ratio” não for bom: péssima condição atmosférica, interferência de microonda (antenas; alta tensão).			

Fonte: software TGO.

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

Inicialmente serão feitos comentários sobre a antenna RASCAL. A Figura 6 abaixo mostra as definições que foram inseridas no “software” GRAFNET e assim, determinar a real altura da antenna para o seu centro de fase e, assim, utilizar no arquivo RINEX gerado.

Quanto a antenna dos equipamentos da TRIMBLE não houve problema porque o “software” tem a capacidade de determinar a altura para o centro de fase quando é informado o tipo da antenna. Neste caso, a Compact L1L2 w/ground.

A antenna da Estação RECF pertencente à RBMC é do ZEPHYR GNSS GEODETIC MODEL 2 (TRM

55971.00), que o programa, também tem capacidade de determinara sua altura para o centro de fase.

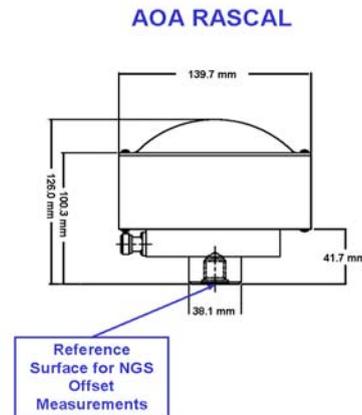


Figura 6 – Antena RASCAL (Fonte: AOA)

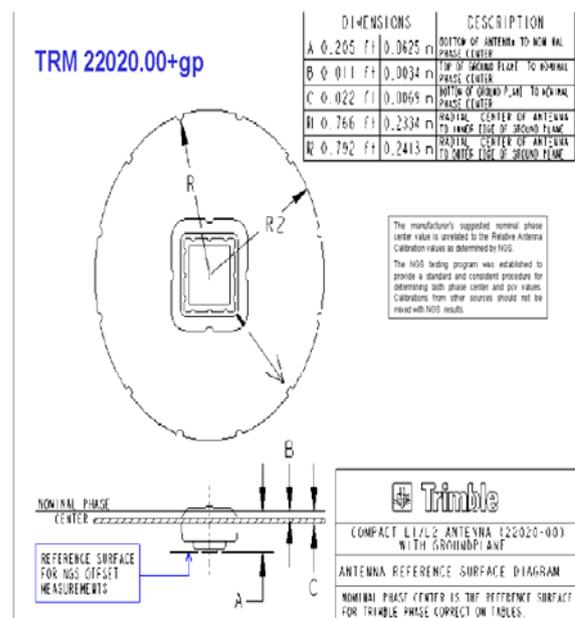


Figura 6 – Antena Compact L1L2 (Fonte: TRIMBLE)

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

3.4 Trabalho de Campo com Gravímetro – Levantamento.

Inicialmente foi feita a transferência de base do ponto homologado de gravimetria do O.N (Observatório Nacional) no aeroporto Internacional dos Guararapes, para um ponto mais central, onde fosse possível a partir daí fazer o levantamento das leituras de todos os outros pontos, anteriormente, já localizados e medidos através do GPS. O ponto escolhido para a nova base gravimétrica foi

o de Jaboatão dos Guararapes, que fica localizado na Igreja Nossa Senhora Do Perpetuo Socorro.

3.4.1 Transferência de Base

A transferência de base foi feita da seguinte forma: A base foi aberta no aeroporto e levada para a nova base, em seguida voltou-se ao aeroporto, fez-se outra medição gravimétrica do ponto e retornou-se a nova base em Jaboatão dos Guararapes na Igreja. A transferência de base foi finalizada fechando no próprio aeroporto depois de três medições realizadas na nova base.

3.4.2 Levantamento dos Pontos da Estrutura Geodésica com o Gravímetro

Com a transferência de base feita, foi dado início ao levantamento propriamente dito, e para este levantamento foi adotado os seguintes procedimentos:

1 – Todos os dias as medições iniciam-se com a abertura da base, fazendo o teste de sensibilidade do equipamento e observando o grife nesta abertura, foi então constatado que seria melhor para os dados do levantamento que a cada período de turno fosse feita uma releitura na base;

2 – Após a leitura da base começaria a leitura dos demais pontos, como seria necessário fazer uma releitura a cada turno e pela distância dos pontos a esta base, apenas dois eram lidos a cada turno, e voltar-se -ia a base para a releitura;

3 – No final do dia fazia-se a última leitura da nova base e neste momento estava dado o fim dos trabalhos no dia, observando novamente a sensibilidade e grife do equipamento.

4 ANÁLISE COMPARATIVA DE ONDULAÇÕES GEOIDAIS

A análise comparativa entre as ondulações geoidais não puderam ser feitas neste momento do trabalho pelo fato de que as medições na área da gravimetria ainda não foram finalizadas.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho tem por objetivo reunir dados coerentes, tendo como base para comparação de dados o levantamento gravimétrico da área em estudo, mostrando que a partir de um modelo matemático aplicado a uma rede geodésica de altitudes elipsoidais conhecidas, podem-se encontrar as ondulações geoidais, Além disso, após a determinação dessas ondulações geoidais por meio de uma interpolação entre os pontos de RN'S conhecidos e homologados pelo IBGE, são possíveis de se encontrar ondulações geoidais em localidades em que não existam tais pontos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço este artigo a minha professora orientadora Andréa de Seixas, ao meu professor co-orientador Joaquim Mota, e a ajuda indispensável do professor Adeildo Antão; também agradeço ao grupo que foram voluntários nesta pesquisa até o momento, que são: Luciene Gama, Janaina Barkokebras (in memoriam), Priscila Antão, Henrique Dias; e por fim ao Departamento de Engenharia Cartográfica e Geologia que gentilmente cederam os equipamentos dos laboratórios (LATOP E LAGEO) para que esta pesquisa acontecesse.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYHAN, M.E. (1993) Geoid determination in Turkey (TG-91). *Bulletin Géodésique*. Springer-Verlag, Berlin. v 67. n 1.

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

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

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

SIDERIS, M. G. and SHE, B. B. (1995) A New, high-resolution geoid for Canada and part of the U. S. by the 1D-FFT method. *Bulletin Géodésique*. Springer-Verlag. v.69.

SEEBER, G. **The Global Positioning System**. In: *Satellite Geodesy (Foundations, Methods and Applications)*, Berlin, 1993.

Listagem dos sites utilizados:

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

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

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

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

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

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

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

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