

REGIANE DALAZOANA

**ESTUDOS DIRIGIDOS À ANÁLISE TEMPORAL DO DATUM
VERTICAL BRASILEIRO**

**Tese apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de Doutor em
Ciências Geodésicas, Curso de Pós-
Graduação em Ciências Geodésicas,
Setor de Ciências da Terra,
Universidade Federal do Paraná.**

**Orientador: Prof. Dr. Sílvio Rogério
Correia de Freitas**

CURITIBA

2005

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

**“ESTUDOS DIRIGIDOS À ANÁLISE TEMPORAL DO DATUM
VERTICAL BRASILEIRO”**

POR

REGIANE DALAZOANA

Tese nº 046 aprovada como requisito parcial do grau de Doutor no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Curitiba, 23 de fevereiro de 2006.

Prof. Dr. Sílvio Rogério Correia de Freitas - Orientador e Presidente (UFPR)

Prof. Dr. Hermann Drewes – Membro (DGFI-Alemanha)

Prof. Dr. João Francisco Galera Monico - Membro (UNESP)

Prof. Dr. Jucilei Cordini - Membro (UFSC)

Prof. Dr. Maurício Almeida Noernberg – Membro (UFPR)

Prof. Dr. Pedro Luís Faggion - Membro (UFPR)

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado à minha família, especialmente aos meus pais Elena e Osvaldo, pelo amor, atenção, apoio e incentivo que sempre me foi dado, e por serem o porto seguro de todas as horas;
Ao Antônio, por sempre estar ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo carinho e apoio. Ao Antônio, pelo companheirismo, incentivo e compreensão durante todo o doutorado e principalmente no período em que estive fora do país.

Ao meu amigo e orientador Prof. Dr. Sílvio Rogério Correia de Freitas, pela colaboração e orientação para o desenvolvimento desta pesquisa. Pela amizade e atenção que sempre demonstrou.

À Universidade Federal do Paraná, que através do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, colocou à disposição seus equipamentos, laboratórios e instalações.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES) pelo apoio financeiro através da bolsa de estudos.

Ao CNPq (Processo 550830/2002-2) pelo apoio financeiro ao projeto Conexão de Redes Geodésicas Verticais – Parte 1.

À Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que por meio de seu Departamento de Geodésia, disponibilizou os dados da estação maregráfica e meteorológica localizadas no Porto de Imbituba em Santa Catarina.

Ao Engenheiro Cartógrafo M.Sc Roberto Teixeira Luz, que auxiliou quanto ao entendimento do funcionamento da estação, dados existentes, nivelamentos realizados, histórico da estação, campanhas geodésicas realizadas no porto, entre inúmeras coisas.

À Companhia Docas de Imbituba que apoiou a execução de atividades na área do porto e disponibilizou espaço físico para instalação de equipamentos.

Ao LaIG e ao LAGE pelo empréstimo de equipamentos.

Ao *Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut* (DGFI) por disponibilizar suas instalações e equipamentos para que parte desta pesquisa fosse realizada na Alemanha. Ao Dr. Hermann Drewes, Dr. Wolfgang Bosch, Roman Savcenko, a

senhora Ilona Schreiber e aos demais colegas do DGFI.

Ao Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico (DAAD – *Deutscher Akademischer Austausch Dienst*) pelo auxílio financeiro que viabilizou a permanência no instituto de pesquisa alemão.

Aos colegas e professores do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Juan Carlos Baez pelo auxílio com o processamento dos dados GPS, com o Linux, e pela ajuda na Alemanha.

Por último, mas não menos importante, aos amigos: Alessandra Svonka Palmeiro; Fabiani Abati Miranda; Franciely Abati Miranda; Juan Carlos Baez Soto; Roberto Teixeira Luz; Sandro Reginato Soares de Lima; Silvia Corrêa Salustiano e Sílvio Rogério Correia de Freitas, sem a ajuda dos quais as campanhas em Imbituba não poderiam ter saído do papel. Obrigada também pela força durante os momentos difíceis. Ao senhor Roberto França, motorista da UFPR que se demonstrou um excelente porta miras.

Os mapas e algumas figuras foram criados com o pacote GMT – *Generic Mapping Tools* (<http://gmt.soest.hawaii.edu/>).

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo Geral.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 JUSTIFICATIVA.....	4
1.4 CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO.....	8
1.5 ESTRUTURA DA TESE	8
2 INTEGRAÇÃO DE REDES VERTICAIS E O PROJETO SIRGAS	10
2.1 INTEGRAÇÃO DE REDES VERTICAIS	10
2.2 ESTIMATIVA DA TNMM.....	14
2.2.1 Conhecimento acerca do Geóide	16
2.2.2 Conhecimento acerca da Superfície do Mar.....	17
2.3 ESTIMATIVA DA DIFERENÇA DE POTENCIAL - ΔW	19
2.4 O PROJETO SIRGAS.....	21
3 O DATUM VERTICAL BRASILEIRO	28
3.1 <i>DATUM</i> VERTICAIS NA AMÉRICA DO SUL.....	28
3.2 O DATUM VERTICAL BRASILEIRO	29
3.3 DISPONIBILIDADE DE DADOS DO NÍVEL DO MAR NA COSTA.....	31
3.4 DISPONIBILIDADE DE DADOS DO NÍVEL DO MAR E EQUIPAMENTOS EM IMBITUBA.....	35
4 ESTIMATIVA DO NÍVEL MÉDIO DO MAR E USO DA ALTIMETRIA POR SATÉLITES	40
4.1 ESTIMATIVA DO NÍVEL MÉDIO DO MAR.....	40
4.2 VARIAÇÕES TEMPORAIS DO NÍVEL MÉDIO DO MAR.....	42
4.3 ALTIMETRIA POR SATÉLITES – ASPECTOS GERAIS	45
5 ACOMPANHAMENTO DO DATUM VERTICAL BRASILEIRO – CONTROLE VERTICAL DAS RRNN E DA POSIÇÃO GEOCÊNTRICA DO MARÉGRAFO	56
5.1 ASPECTOS GERAIS	56
5.2 ÁREA DE ESTUDO E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	57
5.3 PRECISÕES REQUERIDAS.....	59
5.4 VERIFICAÇÃO DOS MARÉGRAFOS – TESTE <i>VAN DE CASTEELE</i>	61
5.5 CONTROLE VERTICAL DAS RRNN.....	64
5.5.1 Campanhas de Nivelamento já Realizadas na área do Porto de Imbituba.....	65
5.5.2 Metodologia Adotada nas Campanhas de Nivelamento de 2005	72
5.5.3 Resumo dos Resultados do Nivelamento	75
5.6 CONTROLE DA POSIÇÃO GEOCÊNTRICA DO MARÉGRAFO	77
5.6.1 Campanhas de Monitoramento GPS já Realizadas na Área do Porto de Imbituba.....	79
5.6.2 Metodologia Adotada nas Campanhas de Rastreamento de 2005 e no Processamento dos Dados	80
5.6.3 Resultados do Processamento GPS.....	83
5.6.4 Conexão entre a Estação GPS e o Marégrafo.....	88

6 ACOMPANHAMENTO DO DATUM VERTICAL BRASILEIRO – NÍVEL DE REFERÊNCIA	90
6.1 ASPECTOS GERAIS	90
6.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS MAREGRÁFICOS PROVENIENTES DO SENSOR DIGITAL EM IMBITUBA	92
6.3 INTEGRAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS DE DADOS MAREGRÁFICOS	96
7 POTENCIALIDADES DA INTEGRAÇÃO DE DADOS DA ALTIMETRIA POR SATELITES	99
7.1 VANTAGENS DA INTEGRAÇÃO	99
7.2 COMPARAÇÃO DA SÉRIE TEMPORAL DE DADOS DO MAREGRAFO COM DADOS DO RADAR ALTIMETRO – ASPECTOS GERAIS	100
7.3 ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DE CANANÉIA E ILHA FISCAL	103
7.4 DADOS UTILIZADOS E METODOLOGIA ADOTADA	103
7.5 EXTRAPOLAÇÃO DOS DADOS T/P ATÉ A COSTA	118
7.5.1 Estudos Realizados para os Marégrafos de Cananéia e Ilha Fiscal	118
7.5.2 Teste da Aplicação da Altimetria por Satélites em Imbituba	123
8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	129
8.1 CONCLUSÕES	129
8.2 RECOMENDAÇÕES	133
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	134
ANEXO 1 AJUSTAMENTO DA REDE DE NIVELAMENTO PELO MÉTODO PARAMÉTRICO	143
A1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	143
A1.2 DETERMINAÇÃO DAS ALTITUDES E DOS DESNÍVEIS AJUSTADOS	145
ANEXO 2 VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DOS DADOS RASTREADOS COM O PROGRAMA TEQC	152
A2.1 CAMPANHA DE 1997	153
A2.2 CAMPANHA DE 2000	157
A2.3 CAMPANHA DE FEVEREIRO DE 2005	167
A2.4 CAMPANHA DE JULHO DE 2005	175
ANEXO 3 VALORES HORÁRIOS, DIÁRIOS E MENSAIS DO NÍVEL DO MAR EM IMBITUBA	184
A3.1 RESULTADOS DA FILTRAGEM DOS DADOS COM AMOSTRAGEM DE CINCO MINUTOS	184
A3.2 RESULTADOS DA FILTRAGEM NO APLICATIVO SLPR2	186

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APKIM	:	<i>Actual Plate Kinematic Models</i>
ARP	:	<i>Antenna Reference Point</i>
AVISO	:	<i>Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data</i>
BRAZ	:	Brasília
CNES	:	<i>Centre National d'Etudes Spatiales</i>
CNG	:	Conselho Nacional de Geografia
DGFI	:	<i>Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut</i>
DHN	:	Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil
DORIS	:	<i>Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite</i>
DVB	:	Datum Vertical Brasileiro
ESA	:	<i>European Space Agency</i>
EOP	:	Parâmetros de Orientação da Terra – <i>Earth Orientation Parameters</i>
FEMAR	:	Fundação de Estudos do Mar
GLONASS	:	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GLOSS	:	<i>Global Sea Level Observing System</i>
GNSS	:	<i>Global Navigation Satellite Systems</i>
GPS	:	<i>Global Positioning System</i>
GRS 80	:	<i>Geodetic Reference System 1980</i>
GT III	:	Grupo de Trabalho III
IAG	:	<i>International Association of Geodesy</i>
IAGS	:	<i>Inter American Geodetic Survey</i>
IAS	:	<i>International Altimeter Service</i>
IBGE	:	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGS	:	<i>International GNSS Service</i>
IMBI	:	Imbituba
IO-USP	:	Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo
IOC	:	<i>Intergovernmental Oceanographic Commission</i>
IPCC	:	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IRD	:	<i>Institut de Recherche pour le Développement</i>
ITRF2000	:	<i>International Terrestrial Reference Frame 2000</i>
LAGE	:	Laboratório de Geodésia Espacial
LaIG	:	Laboratório de Instrumentação Geodésica
LPAO/INPE	:	Laboratório de Pesquisas Atmosféricas e Oceânicas/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NASA	:	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NGS	:	<i>National Geodetic Survey</i>
NMM	:	Nível Médio do Mar
NNR	:	<i>No Net Rotation</i>
NNT	:	<i>No Net Translation</i>
NRCan	:	<i>National Resources Canada</i>
OPNET	:	<i>U.S. Navy Operational Tracking Network</i>
ORSTOM	:	<i>Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement em Coopération</i>
PARA	:	Curitiba
PRARE	:	<i>Precise Range And Range-rate Equipment</i>
PSMSL	:	<i>Permanent Service for Mean Sea Level</i>
QIF	:	<i>Quasi-ionosphere-free</i>
RBMC	:	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RGVs	:	Redes Geodésicas Verticais
RMPG	:	Rede Maregráfica Permanente para Geodésia
RN	:	Referência de Nível
RRNN	:	Referências de Nível

SANT : Santiago
 SCN : Sistema Cartográfico Nacional
 SGB : Sistema Geodésico Brasileiro
 SGR : Sistema Geodésico de Referência
 SIGs : Sistemas de Informação Geográfica
 SIRGAS : Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
 SIRGAS VM: *SIRGAS Velocity Model*
 SIRVEMAS: *Sistema de Referencia Vertical en Argentina por Mareógrafos y Altimetria Satelital*
 SLA : *Sea Level Anomaly*
 SLR : *Satellite Laser Ranging*
 SRTM : *Shuttle Radar Topography Mission*
 SSH : *Sea Surface Height*
 SSHA : *Sea Surface Height Anomaly*
 SSTop : *Sea Surface Topography*
 TEQC : *Translate, Edit, Quality Check*
 TIGA : *GPS Tide Gauge Benchmark Monitoring – Pilot Project*
 TNMM : *Topografia do Nível Médio do Mar*
 T/P : *Topex-Poseidon*
 T/P EM : *Topex-Poseidon Extended Mission*
 TRANET : *U.S. Defense Mapping Agency's Transit Network*
 UFPR : *Universidade Federal do Paraná*
 UHSLC : *University of Hawaii Sea Level Center*
 USCGS : *United States Coast and Geodetic Survey*
 VLBI : *Very Long Baseline Interferometry*

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	DIFERENÇAS DO NMM NO BRASIL COM RELAÇÃO AO MARÉGRAFO DE IMBITUBA	11
TABELA 2	DIFERENÇAS EM PONTOS DE CONEXÃO DAS REDES VERTICAIS DE PAÍSES SUL-AMERICANOS COM RELAÇÃO AO MARÉGRAFO DE IMBITUBA	12
TABELA 3	STATUS REFERENTE À ADOÇÃO DO SIRGAS NA AMÉRICA DO SUL	22
TABELA 4	ESTAÇÕES SIRGAS 2000	26
TABELA 5	MÉDIAS ANUAIS EM IMBITUBA PARA O PERÍODO 1949-1957	30
TABELA 6	ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS COM DADOS NO PSMSL	32
TABELA 7	ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS COM DADOS NO UHSLC	33
TABELA 8	DETALHES TÍPICOS DA ALTIMETRIA POR SATÉLITES	46
TABELA 9	CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS SATÉLITES ALTÍMETROS	50
TABELA 10	PRECISÕES DE ALGUMAS MISSÕES ALTIMÉTRICAS	54
TABELA 11	SISTEMAS DE RASTREIO DE SATÉLITES ALTÍMETROS E PRECISÃO APROXIMADA	54
TABELA 12	NOMENCLATURA DAS RRNN DO PORTO	58
TABELA 13	VALORES DE DISCREPÂNCIAS ADMISSÍVEIS NO FECHAMENTO DE LINHAS DE NIVELAMENTO E PRECISÕES SUGERIDAS NO POSICIONAMENTO GPS NA REGIÃO DO MARÉGRAFO	60
TABELA 14	DESCRIÇÃO DAS RRNN IMPLANTADAS NA ÉPOCA DE DEFINIÇÃO DO DVB	66
TABELA 15	NIVELAMENTOS REALIZADOS NA ÁREA DO PORTO – 1948 A 2005	70
TABELA 16	NIVELAMENTOS REALIZADOS NA ÁREA DO PORTO – 1986 A 2005	71
TABELA 17	NIVELAMENTO DOS ELEMENTOS LOCALIZADOS SOB O PIER	72
TABELA 18	DESNÍVEIS MEDIDOS EM 2005	76
TABELA 19	DESNÍVEIS AJUSTADOS – CAMPANHA 2005	77
TABELA 20	ALTITUDES AJUSTADAS – CAMPANHA 2005	77
TABELA 21	COORDENADAS GEODÉSICAS GEOCÊNTRICAS DA ESTAÇÃO IMBI	80
TABELA 22	COORDENADAS GEOCÊNTRICAS ESTIMADAS PARA A ESTAÇÃO IMBI	85
TABELA 23	VELOCIDADES DERIVADAS DO PROCESSAMENTO	85
TABELA 24	VELOCIDADES DERIVADAS DO MODELO SIRGAS	86
TABELA 25	VELOCIDADES DERIVADAS DO MODELO NNR-NUVELIA	86
TABELA 26	VELOCIDADES DERIVADAS DO MODELO APKIM 2000	86
TABELA 27	COEFICIENTES F_m DO FILTRO SUGERIDO POR PUGH (1987)	94
TABELA 28	RESULTADOS DA COMPARAÇÃO	111
TABELA 29	CARACTERÍSTICAS DAS COMPONENTES HARMÔNICAS	113
TABELA 30	RESULTADOS DA COMPARAÇÃO APÓS CORREÇÃO	116
TABELA 31	RESULTADOS DA EXTRAPOLAÇÃO	120
TABELA 32	RESULTADOS DA EXTRAPOLAÇÃO COM CORREÇÃO	120
TABELA 33	EXEMPLOS DE TENDÊNCIAS RELACIONADAS COM A VARIAÇÃO TEMPORAL DO NÍVEL DO MAR	122
TABELA 34	TENDÊNCIAS DA VARIAÇÃO TEMPORAL DO NÍVEL DO MAR EM CANANÉIA E ILHA FISCAL	123
TABELA 35	TENDÊNCIAS DA VARIAÇÃO TEMPORAL DO NÍVEL DO MAR EM IMBITUBA	128
TABELA A1.1	OBSERVAÇÕES DE CAMPO – NIVELAMENTO GEOMÉTRICO	144

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	DEFINIÇÃO DOS <i>DATA</i> VERTICAIS CLÁSSICOS	11
FIGURA 2	SISTEMA VERTICAL MODERNO	13
FIGURA 3	TNMM BASEADA EM DADOS DA MISSÃO T/P E GEÓIDE EGM96.....	14
FIGURA 4	ESTIMATIVA DA TNMM	15
FIGURA 5	CLS01 - MODELO GLOBAL DA SUPERFÍCIE MÉDIA DO MAR + EGM96 NOS CONTINENTES.....	18
FIGURA 6	ESTAÇÕES SIRGAS 2000 NO BRASIL.....	23
FIGURA 7	<i>DATA</i> VERTICAIS EM ALGUNS PAÍSES DA AMÉRICA DO SUL.....	29
FIGURA 8	REDE MAREGRÁFICA PERMANENTE PARA GEODÉSIA	31
FIGURA 9	LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS COM DADOS NO PSMSL	33
FIGURA 10	ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS COM DADOS NO UHSLC	34
FIGURA 11	ESTAÇÃO METEOROLÓGICA	36
FIGURA 12	ESTAÇÃO MAREGRÁFICA.....	37
FIGURA 13	ABRIGO E EXTERIOR DOS TUBOS.....	38
FIGURA 14	SENSOR DE NÍVEL D'ÁGUA.....	38
FIGURA 15	RÉGUA MAREGRÁFICA ANTIGA	39
FIGURA 16	RÉGUA MAREGRÁFICA ATUAL.....	39
FIGURA 17	REFLETIVIDADE DA ÁGUA PURA À 25° C PARA UM ÂNGULO DE INCIDÊNCIA NORMAL	46
FIGURA 18	PRINCÍPIO SIMPLIFICADO DA ALTIMETRIA POR SATÉLITES	48
FIGURA 19	O SATÉLITE TOPEX-POSEIDON.....	52
FIGURA 20	CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DAS RRNN NA ÁREA DO PORTO DE IMBITUBA	58
FIGURA 21	CARACTERÍSTICAS DE UM MARÉGRAFO NO TESTE <i>VAN DE CASTEELE</i>	62
FIGURA 22	RESULTADOS DO TESTE <i>VAN DE CASTEELE</i> – 4 DE OUTUBRO DE 2002	63
FIGURA 23	RESULTADOS DO TESTE <i>VAN DE CASTEELE</i> – 30 DE JUNHO DE 2003	63
FIGURA 24	RESULTADOS DO TESTE <i>VAN DE CASTEELE</i> – 10 DE FEVEREIRO DE 2005.....	64
FIGURA 25	LOCALIZAÇÃO DO MARÉGRAFO E DAS RRNN NA ÉPOCA DE DEFINIÇÃO DO DVB	66
FIGURA 26	REPETIBILIDADE DOS DESNÍVEIS ENTRE AS RRNN M1-M3 E M3-M2	67
FIGURA 27	REPETIBILIDADE DOS DESNÍVEIS ENTRE AS RRNN M6-M7 E M6-M8	67
FIGURA 28	REPETIBILIDADE DOS DESNÍVEIS ENTRE AS RRNN M1-M5 E M5-M3	68
FIGURA 29	REPETIBILIDADE DOS DESNÍVEIS ENTRE AS RRNN M5-M6 E M3-M6	68
FIGURA 30	REPETIBILIDADE DOS DESNÍVEIS ENTRE AS RRNN M7-M8 E M3-M8	68
FIGURA 31	LOCALIZAÇÃO DA RN IAGS 3M.....	69
FIGURA 32	DEMOLIÇÃO DAS RUÍNAS DO SILO DE CARVÃO.....	69
FIGURA 33	CROQUI DE INDICAÇÃO DAS SEÇÕES NIVELADAS EM 2005.....	73
FIGURA 34	CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DAS RRNN JUNTO AO MARÉGRAFO	74
FIGURA 35	LOCALIZAÇÃO DA RN UFPR1	74
FIGURA 36	LOCALIZAÇÃO DA RN UFPR2	74
FIGURA 37	ESTAÇÃO IMBI.....	79
FIGURA 38	ESTAÇÕES UTILIZADAS NO PROCESSAMENTO GPS	81
FIGURA 39	REPETIBILIDADE COM RELAÇÃO À MÉDIA	84
FIGURA 40	REPETIBILIDADE DAS COMPONENTES NORTE, ESTE E VERTICAL.....	84
FIGURA 41	VARIAÇÃO DAS COMPONENTES E VELOCIDADES DA ESTAÇÃO IMBI.....	86
FIGURA 42	VARIAÇÃO DAS COMPONENTES E VELOCIDADES DA ESTAÇÃO IMBI DESCONSIDERANDO A CAMPANHA DE FEVEREIRO DE 2005	87
FIGURA 43	ESQUEMA DE MONITORAMENTO DO MARÉGRAFO	88
FIGURA 44	NIVELAMENTO DA RÉGUA MAREGRÁFICA E DO TUBO DO MARÉGRAFO.....	89

FIGURA 45	SÉRIE DE OBSERVAÇÕES DO NÍVEL D'ÁGUA – EFEITO DEVIDO À MUDANÇA NA POSIÇÃO DO SENSOR DIGITAL EM IMBITUBA	91
FIGURA 46	FILTRO SUGERIDO POR PUGH (1987).....	94
FIGURA 47	ZEROS DE REFERÊNCIA EM IMBITUBA.....	96
FIGURA 48	MÉDIAS MENSASIS DO NÍVEL DO MAR EM IMBITUBA	97
FIGURA 49	ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS E TRILHAS ORIGINAIS DO SATÉLITE T/P	102
FIGURA 50	DISTRIBUIÇÃO DOS DADOS DE SSH NA CÉLULA E LOCALIZAÇÃO DA CÉLULA NA TRILHA	105
FIGURA 51	SÉRIE INTERPOLADA E RE-AMOSTRADA EM CANANÉIA	106
FIGURA 52	SÉRIE INTERPOLADA E RE-AMOSTRADA EM ILHA FISCAL	107
FIGURA 53	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO – CANANÉIA	108
FIGURA 54	DESVIO PADRÃO DA DIFERENÇA ENTRE AS SÉRIES – CANANÉIA	109
FIGURA 55	QUANTIDADE DE DADOS DISPONÍVEL EM CADA CÉLULA – CANANÉIA	109
FIGURA 56	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO – ILHA FISCAL.....	110
FIGURA 57	DESVIO PADRÃO DA DIFERENÇA ENTRE AS SÉRIES – ILHA FISCAL.....	110
FIGURA 58	QUANTIDADE DE DADOS DISPONÍVEL EM CADA CÉLULA – ILHA FISCAL	111
FIGURA 59	SÉRIES TEMPORAIS PARA A CÉLULA 432 – CANANÉIA	112
FIGURA 60	SÉRIES TEMPORAIS PARA A CÉLULA 398 – ILHA FISCAL	112
FIGURA 61	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO APÓS CORREÇÃO – CANANÉIA.....	114
FIGURA 62	DESVIO PADRÃO APÓS CORREÇÃO – CANANÉIA.....	114
FIGURA 63	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO APÓS CORREÇÃO – ILHA FISCAL	115
FIGURA 64	DESVIO PADRÃO APÓS CORREÇÃO – ILHA FISCAL	115
FIGURA 65	EFEITO DA CORREÇÃO DIFERENCIAL NOS DADOS DO T/P – CÉLULA 432 CANANÉIA	116
FIGURA 66	SÉRIES TEMPORAIS APÓS CORREÇÃO PARA A CÉLULA 432 – CANANÉIA.....	116
FIGURA 67	EFEITO DA CORREÇÃO DIFERENCIAL NOS DADOS DO T/P – CÉLULA 398 ILHA FISCAL.....	117
FIGURA 68	SÉRIES TEMPORAIS APÓS CORREÇÃO PARA A CÉLULA 398 – ILHA FISCAL	117
FIGURA 69	SÉRIE EXTRAPOLADA DO ALTÍMETRO – CANANÉIA	119
FIGURA 70	SÉRIE EXTRAPOLADA DO ALTÍMETRO – ILHA FISCAL.....	119
FIGURA 71	SÉRIE EXTRAPOLADA DO ALTÍMETRO COM CORREÇÃO – CANANÉIA.....	120
FIGURA 72	SÉRIE EXTRAPOLADA DO ALTÍMETRO COM CORREÇÃO – ILHA FISCAL	121
FIGURA 73	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ANTES DO REPOSICIONAMENTO DO SENSOR – IMBITUBA	124
FIGURA 74	DESVIO PADRÃO DA DIFERENÇA ENTRE AS SÉRIES ANTES DO REPOSICIONAMENTO DO SENSOR – IMBITUBA.....	125
FIGURA 75	QUANTIDADE DE DADOS DISPONÍVEL EM CADA CÉLULA ANTES DO REPOSICIONAMENTO DO SENSOR – IMBITUBA.....	125
FIGURA 76	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO APÓS O REPOSICIONAMENTO DO SENSOR – IMBITUBA.....	126
FIGURA 77	DESVIO PADRÃO DA DIFERENÇA ENTRE AS SÉRIES APÓS O REPOSICIONAMENTO DO SENSOR – IMBITUBA.....	126
FIGURA 78	QUANTIDADE DE DADOS DISPONÍVEL EM CADA CÉLULA APÓS O REPOSICIONAMENTO DO SENSOR – IMBITUBA.....	127
FIGURA 79	SÉRIE EXTRAPOLADA DO ALTÍMETRO – IMBITUBA	128
FIGURA A1.1	REDE DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO	143
FIGURA A3.1	VALORES HORÁRIOS – 2002	184
FIGURA A3.2	VALORES HORÁRIOS – 2003	185
FIGURA A3.3	VALORES HORÁRIOS – 2004	185

RESUMO

Na Geodésia, o monitoramento do nível do mar tem um papel importante na realização de sistemas globais de referência e permite a integração de dados referidos às redes verticais clássicas, onde cada Datum é definido pelo Nível Médio do Mar (NMM), com diferentes períodos de observação e vinculados a uma época específica. A vinculação de cada Datum vertical à época de realização (sendo o nível do mar variável no tempo e no espaço), e os erros inerentes às operações de nivelamento, produzem diferenças significativas nas altitudes referidas às diferentes redes geodésicas verticais. Tal fato é um dos muitos exemplos que evidenciam a necessidade do monitoramento do nível do mar. Na maioria das vezes, são necessários esforços para recuperar informações e dados antigos. Neste trabalho, são investigados os principais aspectos relacionados ao Datum Vertical Brasileiro (DVB), sua evolução temporal e a procura de alternativas para determinar esta evolução. Resultados baseados em dados maregráficos e de nivelamento, mostram uma elevação no NMM no Porto de Imbituba em torno de 2 mm/ano, na integração das séries temporais armazenadas no banco de dados do *Permanent Service for Mean Sea Level* e dados digitais recentes. Esses resultados concordam com as alterações globais do nível do mar. Outro estudo refere-se ao monitoramento da posição geocêntrica do marégrafo, que, no caso de Imbituba, foi efetivado por quatro campanhas GPS periódicas, que indicaram a subsidência da estação. Atualmente a Altimetria por Satélites é uma ferramenta eficaz no monitoramento do NMM, especialmente em regiões de mar aberto. Neste caso são apresentados alguns resultados sobre a comparação de dados da Altimetria por Satélites e longas séries maregráficas, como as disponíveis para os marégrafos de Cananéia e Ilha Fiscal, cujos coeficientes de correlação entre as séries são superiores a 0,8. Este estudo visa o desenvolvimento de métodos de análise aplicáveis à região do DVB.

Palavras-chave: Datum Vertical, Nível Médio do Mar, Altimetria por Satélites.

ABSTRACT

In Geodesy, the monitoring of sea level plays an important role in the realization of global reference systems and allows the integration of available data from classical vertical networks, whose Vertical Datum is defined by the Mean Sea Level (MSL), with different periods of observation and related to a specific epoch. The fact that each vertical datum is related to a defined epoch (the sea level is variable in space and time) associated with the leveling errors, produces significant differences in heights referred to different geodetic vertical nets. This is only one example among others that shows the importance of the sea level monitoring. Usually, efforts must be done to recover old information and data. In this work, the main aspects related to the Brazilian Vertical Datum (BVD), its time evolution and the search of alternatives to determine this evolution are presented. Results, based in tide gauge and leveling data, have shown an increasing of the MSL at Imbituba harbor of about 2mm/a, in the integration of time series stored at Permanent Service for Mean Sea Level with recent digital data. This agrees with results of global sea level changes. Other study refers to the tide gauge geocentric position monitoring. This monitoring in Imbituba was performed by four GPS campaigns, which indicated the subsidence of the station. Nowadays, Satellite Altimetry is an efficient way to monitor MSL variations, mainly in open ocean areas. In this case, it is presented some results related with the comparison of satellite altimetry data and longer tide gauge temporal series, as those for Cananéia and Ilha Fiscal tide gauges, whose correlation coefficients are better than 0.8 among the series. This study aims the establishment of analysis methods applicable to BVD region.

Key-words: Vertical Datum, Mean Sea Level, Satellite Altimetry.

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A realização dos *Data** verticais clássicos, ou seja das referências com altitude “zero” a partir das quais era efetivada a densificação de todo o controle vertical, era feita com a determinação do Nível Médio do Mar (NMM) em um local pela mediação dos valores do nível do mar após longa série temporal de observações num marégrafo e seu vínculo com uma Referência de Nível (RN). A determinação do NMM, que em primeira aproximação era considerado coincidente com o geóide, e sua ligação com uma ou mais Referências de Nível (RRNN) na região do marégrafo fornecia então os subsídios para o estabelecimento do Datum local (TAPLEY; KIM, 2001, p. 371), e para o estabelecimento das Redes Geodésicas Verticais (RGVs). (*Neste trabalho o termo *Data* será utilizado como plural de Datum).

Os *Data* verticais na América do Sul foram estabelecidos entre as décadas de 40 e 50. Posteriormente com a densificação das RGVs foi possível realizar a interligação entre diferentes marégrafos de um país e a interligação entre redes verticais de países vizinhos. Essa interligação apontou diferenças de altitudes niveladas para um mesmo ponto que não podem ser atribuídas apenas como erros nas operações de nivelamento; com isso a conexão entre diferentes redes verticais locais torna-se inconsistente. Essas diferenças de altitude em redes verticais de países vizinhos estão relacionadas ao próprio processo de nivelamento e também ao estabelecimento do nível de referência de cada um (NMM) e suas variações temporais e espaciais.

Com relação aos efeitos do processo de nivelamento nas diferenças de altitude, existem estudos sendo realizados visando aplicar as recomendações do Grupo de Trabalho III, GT III: Datum Vertical, do Projeto SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), principalmente no sentido de integrar informações de

gravidade às linhas niveladas, conectar as redes de nivelamento à Rede SIRGAS e calcular números geopotenciais. O GT III, estabelecido em 1997 durante a assembléia geral da IAG (*International Association of Geodesy*) no Rio de Janeiro, vem concentrando esforços no sentido de analisar os problemas que apresentam os sistemas verticais atuais na América do Sul e buscar uma solução ótima mediante o estabelecimento de um sistema vertical único para o continente, além da integração das redes verticais existentes buscando atender adequadamente ao referenciamento espacial dos dados. Com relação às variações do nível de referência (NMM), estas resultam de fenômenos com características as mais diversas, envolvendo diferentes áreas como Oceanografia, Geodésia, Geofísica, etc., caracterizando-se num estudo multidisciplinar.

Ressalta-se que, de fato, a realização do Datum vertical com o estabelecimento do NMM não é representativa para outros períodos de tempo, exceto àquele usado na sua determinação, nem coincide com uma superfície de referência global, o geóide (HECK; RUMMEL, 1990, p. 116; PAN; SJÖBERG, 1998, p. 64). A diferença entre o NMM com respeito a uma superfície equipotencial global é chamada de Topografia do Nível Médio do Mar (TNMM) (do inglês *Sea Surface Topography – SSTop*). Segundo HECK e RUMMEL (1990, p. 116, 126), FENOGLIO (1996, p. 7) e SEEBER (2003, p. 451), a TNMM pode alcançar valores de até dois metros. De acordo com BOSCH (2002a, p. 230), a TNMM é um parâmetro importante para o estabelecimento de uma referência altimétrica global.

Como os *Data* verticais locais foram estabelecidos em épocas diferentes e a TNMM não foi considerada, existem, então, diferenças entre redes verticais locais e componentes sistemáticas de deslocamento entre essas redes verticais e o geóide. A estimativa da evolução temporal do NMM pode auxiliar no processo de integração dessas redes, uma vez que para avaliar o efeito da TNMM na definição do nível de referência das RGVs é necessário estimar seu comportamento nas épocas de definição dos *Data* verticais. Associado ao monitoramento da evolução temporal do NMM, faz-

se necessário a estimativa de possíveis movimentos crustais na região do Datum vertical de forma a permitir a estimativa de variações absolutas do nível do mar.

Com base no exposto anteriormente é possível afirmar que o monitoramento das variações do NMM e a detecção de possíveis movimentos da crosta; são tarefas importantes visando uma futura integração das RGVs clássicas. A realização destas tarefas é possível com a integração de diferentes técnicas, tais como a Altimetria por Satélites e o uso de dados de marégrafos para o monitoramento das variações do NMM juntamente com o uso do GPS e nivelamento geodésico para a detecção de movimentos da crosta. Neste sentido vários estudos vêm sendo desenvolvidos mundialmente e uma série de atividades devem ser realizadas visando analisar as causas das diferenças entre RGVs.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Evidenciar os efeitos locais relacionados com a evolução do Nível Médio do Mar na região do Datum Vertical Brasileiro (DVB). Esta é uma tarefa importante no sentido de compreender as diferenças entre as redes geodésicas verticais na América do Sul.

1.2.2 Objetivos Específicos

Buscando a modelagem das diferenças encontradas entre marégrafos e entre diferentes redes geodésicas verticais, recuperando informações do DVB e incorporando novas mensurações, são previstos os seguintes objetivos específicos:

- a) Analisar as informações de nível d'água provenientes dos registros maregráficos e as informações de nivelamento quando da definição do DVB;

- b) Efetivar a conexão (interligação) das séries temporais de observações maregráficas do DVB;
- c) Verificar a tendência temporal do NMM no DVB por intermédio da análise dos dados maregráficos;
- d) Verificar o nivelamento das RRNN na região, efetivando quando necessário novas linhas de conexão;
- e) Realizar o monitoramento da posição geocêntrica do marégrafo, de forma a detectar possíveis variações na posição vertical do marégrafo;
- f) Realizar o processamento dos dados da Altimetria por Satélites e comparar com resultados obtidos a partir de observações maregráficas.

1.3 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento de tecnologias de posicionamento tridimensional, baseadas em grande parte no uso de satélites, já envolve o conceito de GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*). O emprego destas tecnologias trouxe uma série de vantagens, porém também introduziu novos problemas. Estes estão associados, principalmente, com o estabelecimento de relações entre os sistemas de referência das diferentes técnicas satelitais (JEKELI, 2000, p. 2).

Uma série de aplicações exige que a integração de dados espaciais, provenientes de diferentes fontes, se dê de forma que a referência das informações horizontais e verticais seja feita num sistema único, adequadamente definido e materializado (ALTAMINI et al., 2001, p. 273, 278, 279). O problema da unificação surgiu, principalmente, a partir da necessidade de estudos de âmbito regional e global (LEHMANN, 2000, p. 327), onde se faz necessário o intercâmbio de informações entre diferentes países e instituições. Como exemplos, podem-se citar: elaboração de modelos do geopotencial; estudos de mudanças globais, geodinâmica, oceanografia e variações do NMM; deformações; soerguimento e subsidência crustal; elaboração de projetos transnacionais de engenharia, como barragens; navegação marítima e aérea;

estudos ambientais; monitoramento de áreas sujeitas à inundação; verificação de áreas sujeitas à indenização no caso de construção de barragens; interligação de ilhas com a construção de pontes ou túneis (KHAFID, 1998, p. 7); necessidade do intercâmbio de informações georreferenciadas em escala nacional, continental ou global, visando a elaboração de projetos multilaterais de desenvolvimento como construção de redes de energia, oleodutos, exploração de aquíferos, etc; desenvolvimento de SIGs (Sistemas de Informação Geográfica) regionais sobre uma base de referência única; necessidade de administrar informações gráficas e numéricas de forma digital; armazenagem e validação de informações provenientes de satélites; entre outras necessidades.

Na Geodésia é evidente a necessidade de definir referências únicas para as redes verticais e horizontais, devido principalmente à difusão dos sistemas globais de posicionamento, como GPS (*Global Positioning System*), GLONASS (*Global Navigation Satellite System*) e futuramente o GALILEO – *European Satellite Navigation System*. Na América do Sul, o Projeto SIRGAS permitiu a materialização de uma rede de estações com posições geocêntricas e velocidades. A rede SIRGAS é considerada uma densificação do ITRF2000 (*International Terrestrial Reference Frame 2000*) na América do Sul e têm precisões compatíveis com as atuais técnicas de posicionamento. Porém, no caso das redes verticais clássicas o problema é mais complexo, as incompatibilidades ainda existem e, em alguns casos, as diferenças podem chegar a alguns decímetros (FREITAS et al., 2002b; HERNÁNDEZ et al., 2002).

A integração entre os sistemas de referência verticais e o estabelecimento de um Datum vertical unificado, entre muitas tarefas da Geodésia, tem adquirido, ultimamente, caráter prioritário. Como mais de uma centena de *Data* verticais são definidos no mundo e grandezas fundamentais para uma série de aplicações científicas e tecnológicas são a eles referidos, deve-se ter em mente que a integração de algumas grandezas em escala regional e global é problemática devido às diferentes referências verticais. É o que ocorre, por exemplo, com os dados de anomalia da gravidade, com

implicações na determinação de modelos do geopotencial. As bases de dados de anomalia da gravidade são seriamente afetadas por não homogeneidades nos *Data* verticais (DALAZOANA, 2003). A anomalia da gravidade (Δg) é dada por (GEMAEL, 1999, p. 134):

$$\Delta g = g_{\text{geóide}} - \gamma_{\text{elipsóide}} \quad (1)$$

Na equação acima $g_{\text{geóide}}$ é a gravidade real medida na superfície física e reduzida ao geóide (basicamente através do conhecimento da altitude nivelada do ponto considerado), e $\gamma_{\text{elipsóide}}$ é a gravidade teórica sobre a Terra normal ou gravidade normal sobre o elipsóide de referência (calculada através da “fórmula internacional” da gravidade normal que leva em consideração os parâmetros do elipsóide de referência, a velocidade angular de rotação da Terra e a latitude do ponto). No caso da anomalia *free-air*, pressupõe-se a caracterização cartográfica da estação: latitude para o cálculo da gravidade teórica e altitude para a correção do gradiente. A maior dificuldade encontra-se na etapa de redução, pois um erro de 1 m na altitude do ponto implica numa incerteza de 0,3 mGal na redução *free-air* (GEMAEL, 1999, p. 191). Esta incerteza é maior do que a precisão alcançada no estabelecimento de redes gravimétricas de referência e maior do que a precisão dos equipamentos: usualmente a precisão das redes gravimétricas de referência encontra-se no intervalo de 20 a 50 microgal; modernos gravímetros absolutos portáteis possuem precisão no intervalo de 1 a 10 microgal, e os gravímetros convencionais de mola podem interpolar valores de gravidade com uma precisão de 5 a 10 microgal. Salienta-se que as anomalias da gravidade se constituem na ferramenta básica da Geodésia, tanto na determinação das ondulações do geóide através da integral de Stokes, quanto na determinação das componentes do desvio da vertical através das fórmulas de Vening-Meinesz.

Como outro exemplo pode-se citar o trabalho realizado por SUBIZA (2000), que teve como objetivo a determinação de um modelo geoidal de precisão para o Uruguai. Para tanto foram utilizados dados gravimétricos do Uruguai, Argentina,

Brasil, Paraguai e Oceano Atlântico (SUBIZA, 2000, p. 40), além de dados topográficos. Estes dados apresentavam uma série de diferenças em relação aos sistemas de referência. Os dados de gravimetria estavam referidos a diferentes sistemas gravimétricos e os dados topográficos estavam referidos a diferentes sistemas verticais e não puderam na época ser compatibilizados (SUBIZA, 2000, p. 49-50), o que evidencia a necessidade de referência destes dados com respeito a um único sistema geodésico e gravimétrico, o que só é possível pela unificação dos referenciais verticais.

Problemas relacionados com os diferentes *Data* verticais e estudos visando a determinação do geóide e da TNMM, já foram tratados durante um simpósio da IAG, ocorrido nos dias 10 e 11 de agosto de 1989 em Edimburgo na Escócia (IAG SYMPOSIUM, 1989). Posteriormente, o simpósio da IAG sobre Sistemas de Referência Verticais, ocorrido em Cartagena na Colômbia, no período de 20 a 23 de fevereiro de 2001, salientou a necessidade urgente de integrar as diversas redes verticais regionais e nacionais de forma a estabelecer um sistema unificado com caráter global (VeReS, 2002, p. 352).

Como já indicado, as diferenças de altitude encontradas entre redes verticais de países vizinhos estão relacionadas à definição do nível de referência de cada uma (comumente o nível médio do mar) e suas variações temporais e espaciais aliada ao processo de nivelamento geodésico. Com relação às variações temporais e espaciais do nível de referência a partir de dados maregráficos, pressupõem-se que as variações do nível do mar estejam separadas de possíveis movimentos verticais da crosta ou da estrutura na qual o marégrafo encontra-se fixado. Esta separação só é possível se for realizado periodicamente o nivelamento das RRNN na área do Datum vertical e se a posição geocêntrica do marégrafo for determinada e monitorada ao longo do tempo. Justificam-se assim os estudos sobre o DVB, definido no porto de Imbituba, de forma a recuperar as séries históricas de observação do nível do mar e estimar a variação temporal da posição do marégrafo; sendo necessário o uso de dados provenientes de

técnicas terrestres e espaciais.

1.4 CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO

Tendo em vista os aspectos apresentados anteriormente, a principal contribuição deste trabalho de doutorado é a de evidenciar os efeitos vinculados com a evolução temporal do NMM na região do DVB, buscando o uso conjunto de dados maregráficos, rastreamento GPS, nivelamento geométrico e dados provenientes da Altimetria por Satélites.

O tópico de estudos é relevante, multidisciplinar e complexo. Realiza-se uma abordagem dentro do contexto das Ciências Geodésicas, mostrando o papel da Geodésia nos estudos relacionados com o tema da pesquisa. Como consequência abre-se um novo foco de pesquisas no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, tendo em vista a grande quantidade de dados disponibilizados por diferentes instituições, principalmente referente às missões da Altimetria por Satélites.

1.5 ESTRUTURA DA TESE

No Capítulo 2 são abordadas as diferenças encontradas na interligação das redes verticais dos países sul-americanos; os possíveis efeitos que geram estas diferenças e possibilidades de solução, também é feita uma revisão com respeito ao Projeto SIRGAS, principalmente no que se refere às redes verticais e algumas das recomendações do GT-III. No Capítulo 3 são apresentados os principais aspectos relacionados com o Datum Vertical Brasileiro. No Capítulo 4 são abordadas algumas das metodologias para o cálculo do NMM e causas das variações temporais, são apresentadas também noções gerais sobre a Altimetria por Satélites.

No Capítulo 5 são apresentadas as atividades desenvolvidas na região do DVB visando o acompanhamento temporal de sua posição. Estas atividades incluem: o nivelamento geométrico das RRNN; a verificação dos marégrafos; e o controle da

posição geocêntrica do marégrafo. No Capítulo 6 apresentam-se os estudos realizados visando o acompanhamento temporal da superfície de referência do DVB com base na interligação das séries temporais de observações do nível do mar em Imbituba.

No Capítulo 7 são apresentadas as potencialidades de integração de dados da Altimetria por Satélites com dados maregráficos e resultados da comparação entre séries temporais de dados maregráficos e da Altimetria por Satélites nos marégrafos de Cananéia e Ilha Fiscal. No capítulo 8 são apresentadas as conclusões, bem como recomendações e sugestões para trabalhos futuros.

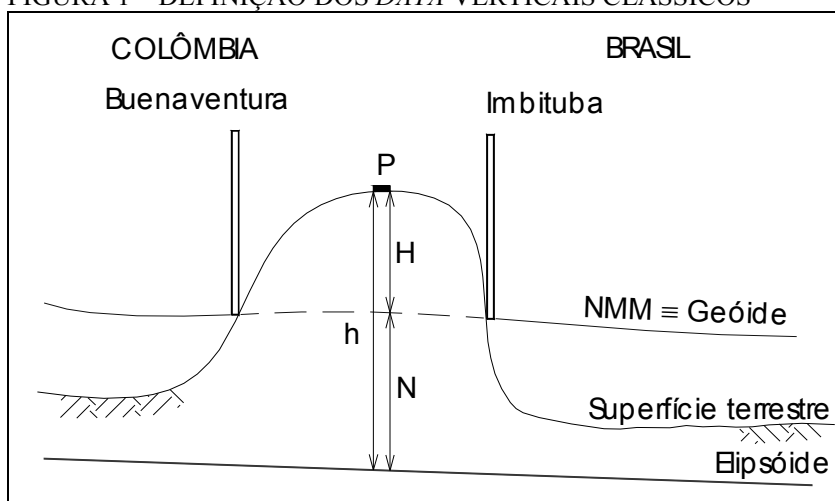
2 INTEGRAÇÃO DE REDES VERTICAIS E O PROJETO SIRGAS

2.1 INTEGRAÇÃO DE REDES VERTICAIS

Em geral, cada país possui um Datum vertical estabelecido da maneira clássica, ou seja, ligando o NMM obtido por longas séries de observação da maré a uma RN situada próxima do marégrafo. É usual a existência de várias RRNN na região do marégrafo, evitando assim possíveis transtornos quanto à destruição de alguma delas. De acordo com PUGH (1987, p. 305), para permitir a recuperação do Datum original e checar movimentos da crosta de caráter local nas vizinhanças da RN principal do marégrafo, é importante conectar o Datum a pelo menos três marcos auxiliares.

A partir do estabelecimento do Datum e sua conexão a uma ou mais RRNN na região do marégrafo são determinadas as altitudes das demais estações que materializam a rede geodésica vertical. As redes geodésicas verticais são estabelecidas, na sua maior parte, por nivelamento geométrico.

A maioria dos *Data* verticais na América do Sul foi definida entre os anos de 1940 e 1950, com a determinação do NMM e tendo por base um período de pelo menos nove anos de observações maregráficas. Na definição clássica para o estabelecimento de um Datum vertical considera-se o NMM coincidente com o geóide, como indicado na Figura 1. Nesta figura h é a altitude elipsoidal do ponto P; H é a altitude ortométrica desse ponto e N é a ondulação geoidal.

FIGURA 1 – DEFINIÇÃO DOS *DATA* VERTICAIS CLÁSSICOS

FONTE: adaptado de IBGE, 2002b

NOTA: Define-se geóide como a superfície equipotencial do campo da gravidade da Terra que mais se aproxima do nível médio dos mares (GEMAEL, 1999, p. 211). No entanto, como garantir que esta seja a mesma superfície como realizado em cada um dos *Data* verticais, uma vez que existe uma série de fenômenos locais que influem sobre as suas realizações?

Com a densificação das redes verticais foi possível realizar a interligação entre marégrafos e entre redes verticais de países vizinhos. Desta interligação verificaram-se diferenças nas altitudes de estações que não são explicadas apenas com os erros inerentes às operações de nivelamento. A Tabela 1 ilustra as diferenças encontradas entre o NMM medido em alguns marégrafos ao longo da costa brasileira e a rede vertical brasileira estabelecida com relação ao marégrafo de Imbituba. Estes valores são derivados da diferença entre o NMM local, observado nos diferentes marégrafos, e a altitude transportada por nivelamento a partir de Imbituba.

TABELA 1 – DIFERENÇAS DO NMM NO BRASIL COM RELAÇÃO AO MARÉGRAFO DE IMBITUBA

ESTAÇÃO MAREGRÁFICA	DISTÂNCIA NIVELADA A PARTIR DE IMBITUBA (km)	DISCREPÂNCIA DO NMM COM RELAÇÃO A IMBITUBA (m)
Torres	200	+0,0584
Itajaí	160	+0,1399
Vitória	1.400	+0,2840
Fortaleza	3.650	+0,2923
Belém	4.850	+0,8808
Rio de Janeiro	850	-0,1237
Paranaguá	300	+0,0010

FONTE: ALENCAR, 1990, p. 71; adaptado de FREITAS et al., 2002b, p. 320

NOTA: O sinal positivo indica que o plano do nível do mar registrado nos marégrafos locais é mais alto do que o registrado em Imbituba e transportado pelo nivelamento.

A Tabela 2 indica algumas discrepâncias existentes entre redes verticais de países da América do Sul e a rede vertical brasileira. Os valores são derivados da diferença de altitude em pontos onde foi realizada a interligação entre as redes verticais dos países vizinhos.

TABELA 2 – DIFERENÇAS EM PONTOS DE CONEXÃO DAS REDES VERTICAIS DE PAÍSES SUL-AMERICANOS COM RELAÇÃO AO MARÉGRAFO DE IMBITUBA

PAÍS	DISCREPÂNCIA (m)
Argentina e Brasil	0,1937
Brasil e Paraguai	-0,6547
Brasil e Uruguai	0,5584

FONTE: FREITAS et al., 2002b, p. 321

A conexão entre a rede vertical do Equador e a da Colômbia indicou que a rede colombiana é elevada aproximadamente 0,08 m com relação à rede equatoriana; entre a rede venezuelana e a colombiana existe uma discrepância de -0,32 m na região dos Andes e +0,32 m na região da costa (SÁNCHEZ; MARTÍNEZ, 2002, p. 29; SÁNCHEZ, 2002, p. 84). Outros estudos indicam uma discrepância de aproximadamente 3,45 m entre a rede da Venezuela e a parte norte da rede vertical brasileira (HERNÁNDEZ et al., 2002, p. 324).

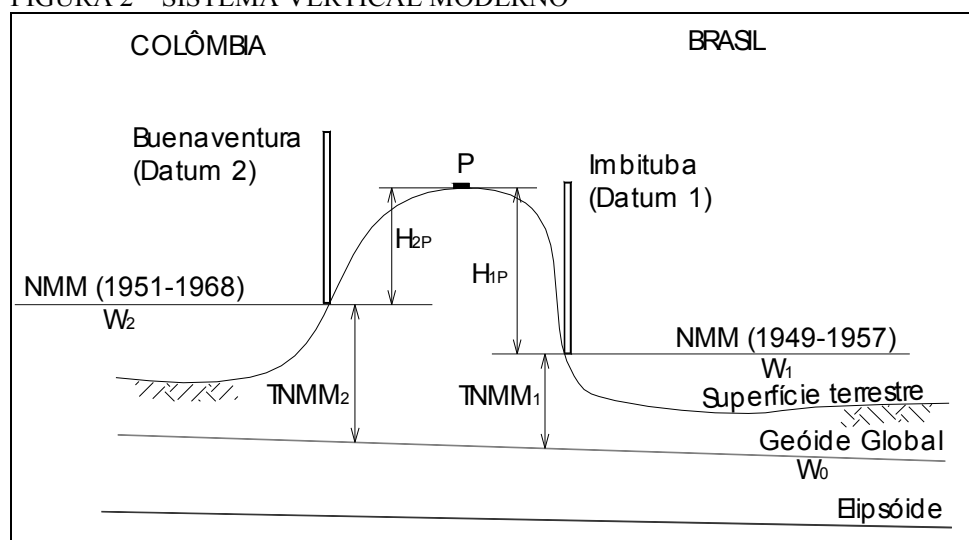
Como indicado anteriormente, estas diferenças originam-se: do próprio processo de nivelamento, que possui erros instrumentais, operacionais e principalmente erros advindos da não consideração dos efeitos devidos à gravidade cujas magnitudes dependem do tipo de relevo e composição da crosta; e do estabelecimento do nível de referência (NMM), e suas variações temporais e espaciais. O NMM, adotado como nível de referência, é definido numa estação maregráfica após certo período de observações, porém vale para aquele local e para uma dada época, pois varia de um ponto para outro e no mesmo ponto em função do tempo (GEMAEL, 1999, p. 211). Com isso cada Datum vertical está vinculado a um nível de referência e a uma época de definição particular.

As variações temporais e espaciais do NMM devem-se à dinâmica oceânica e aos movimentos verticais da crosta. As variações temporais são causadas por

variações na pressão atmosférica, temperatura, etc. As espaciais são causadas por correntes, variações na densidade e temperatura da água, etc. SÁNCHEZ (2002, p. 85), apresenta exemplos da variação temporal e espacial do NMM: em Buenaventura (Colômbia), para o período de 1941 a 1999, a variação é de 6,6 mm/ano \pm 0,2 mm/ano; em La Guaira (Venezuela), para o período de 1953 a 1997, a variação é de 1,4 mm/ano \pm 0,2 mm/ano; em La Libertad (Equador), para o período de 1948 a 1994, a variação é de -1,0 mm/ano \pm 0,2 mm/ano.

O uso do NMM como superfície de referência para as altitudes já foi amplamente aceito, porém atualmente é reconhecido que o NMM local observado nos marégrafos não pode ser considerado coincidente com um geóide global (PAN; SJÖBERG, 1998, p. 64). Ou seja, cada Datum vertical é referido a uma superfície equipotencial particular (com potencial W_i) associada ao NMM no marégrafo numa determinada época, a qual geralmente não coincide com o geóide global (com potencial W_0). A Figura 2 ilustra esta abordagem mais atual, onde o ponto P possui uma altitude nivelada com relação ao Datum 1 (de potencial W_1) indicada por H_{1P} e uma altitude nivelada com relação ao Datum 2 (de potencial W_2) indicada por H_{2P} .

FIGURA 2 – SISTEMA VERTICAL MODERNO



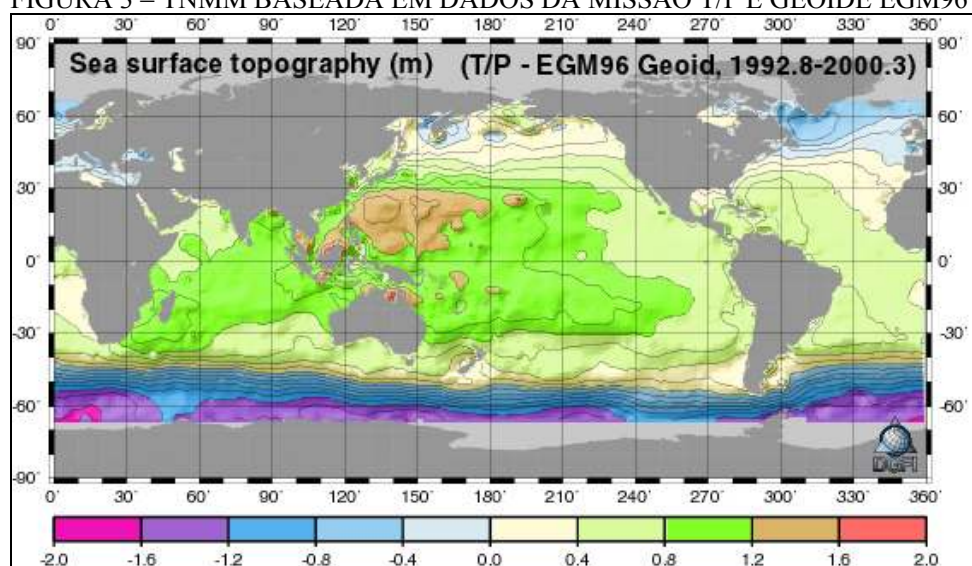
FONTE: adaptado de IBGE, 2002b

A diferença entre o NMM e o geóide global, chamada de Topografia do Nível Médio do Mar, é causada por variações na pressão atmosférica, correntes, entre outros fatores (SEEBER, 2003, p. 451). Como esse efeito pode alcançar valores de até dois metros (HECK; RUMMEL, 1990, p. 116, 126; FENOGLIO, 1996, p. 7; SEEBER, 2003, p. 451), o uso da aproximação do geóide pelo NMM não é válido se uma resolução global melhor do que esta for necessária (ver Figura 3).

2.2 ESTIMATIVA DA TNMM

A relação entre os *Data* verticais clássicos pode ser feita com o conhecimento da TNMM ou com o conhecimento da relação ($\Delta W = W_0 - W_i$). Desta forma, pode-se considerar que a estimativa da TNMM é um aspecto de fundamental importância no processo de integração entre diferentes redes verticais e diferentes marégrafos (FREITAS et al., 2002b, p. 321). A Figura 3 ilustra a estrutura em larga escala da TNMM, estimada com base em oito anos de observação do nível do mar pelo satélite Topex-Poseidon (T/P) menos o geóide EGM96.

FIGURA 3 – TNMM BASEADA EM DADOS DA MISSÃO T/P E GEÓIDE EGM96

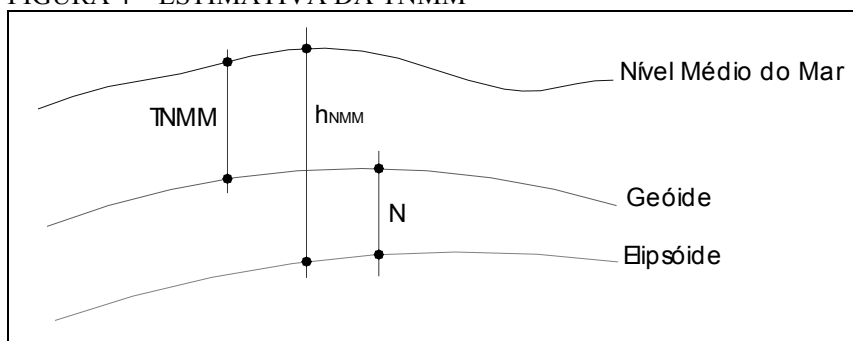


FONTE: DGFI, 2004

A TNMM em escala global pode ser estimada a partir das diferenças entre: a altura do nível médio do mar com relação a um elipsóide de referência (h_{NMM}) derivada da Altimetria por Satélites; e a ondulação geoidal (N) obtida de um modelo geoidal global, como indicado na equação (2) e na Figura 4:

$$TNMM = h_{NMM} - N \quad (2)$$

FIGURA 4 – ESTIMATIVA DA TNMM



De acordo com BOSCH (2002a, p. 226), a equação (2) requer algumas considerações, dentre elas:

- tanto h_{NMM} quanto N devem possuir resoluções similares;
- as ondulações geoidais, provenientes do modelo global, devem ser dadas num sistema de marés consistente com o usado no cálculo de h_{NMM} ;
- o sistema de referência no qual baseia-se o modelo do geopotencial geralmente não é idêntico ao utilizado pela Altimetria por Satélites. Com isso é necessária a transformação para um sistema de referência comum.

Esta estimativa da TNMM (NMM - geóide) é baseada numa aproximação puramente geométrica. A princípio, pode-se obter do EGM96, o qual tem sido base para diversos estudos de validação de novos modelos do geopotencial, um modelo geoidal global. Já a altura do NMM pode ser derivada dos dados de uma missão da Altimetria por Satélites ou da combinação de dados de diferentes missões com diferentes resoluções espaciais e temporais.

Esta forma de abordagem, visando estimar a TNMM, pode ser vista em FENOGLIO e BELIKOV (1994), que utilizam: observações da Altimetria por

Satélites e de marégrafos vinculados a um sistema de referência geocêntrico, para obter a altura do nível do mar com relação a um elipsóide de referência; e um modelo geoidal global. Além disso, utilizam anomalias do ar-livre sobre o oceano para validar o modelo geoidal na região de estudo.

2.2.1 Conhecimento acerca do Geóide

Os erros na estimativa da TNMM são provenientes, na sua maioria, dos erros do modelo geoidal, assim a estimativa está limitada pelos erros no conhecimento do campo da gravidade (BOSCH, 2002a, p. 227; BOSCH, 2003, p. 9). Entretanto, existem possibilidades de melhoria no desenvolvimento de modelos globais do geopotencial com os resultados das missões espaciais desenvolvidas especificamente para a determinação do campo da gravidade da Terra, como as missões CHAMP, GRACE e GOCE (DREWES, 2003; SEEBER, 2003, p. 464). A grande vantagem em utilizar os resultados destas missões é o fato destes dependerem dos referenciais verticais clássicos. Com estas novas missões, espera-se uma melhor modelagem dos longos comprimentos de onda, servindo como referência para a elaboração de modelos com melhor resolução. Uma estimativa da precisão destas novas missões pode ser vista em CHAO (2003). No entanto, para os menores comprimentos de onda, visando obter uma estrutura mais fina do campo da gravidade, continuam sendo necessários dados de altimetria sobre os oceanos e densificação gravimétrica nos continentes, sendo que a densificação pode ser facilitada com os desenvolvimentos da gravimetria terrestre e aérea (DALAZOANA, 2003, p. 24).

Uma outra possibilidade é a determinação de anomalias locais do geopotencial ou a melhoria da qualidade do modelo global na região de estudo, para tanto existem diferentes dados que podem ser integrados, por exemplo:

- a) densificação com posicionamento GPS e gravimetria na região de estudo;
- b) utilização de dados topográficos (relevo). De forma geral estes dados são provenientes de cartas topográficas, porém, atualmente é possível obter

dados de relevo de grande parte da superfície continental terrestre via *internet*, de forma gratuita, como exemplos podem-se citar: o modelo GTOPO30; e os dados da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). No GTOPO30, as elevações formam um *grid* regular de 30'' (aproximadamente 1 km). O modelo cobre 100% da área continental terrestre (USGS, 2003a). A missão SRTM obteve, em 2000, por interferometria, dados topográficos digitais tridimensionais de cerca de 80% da superfície continental terrestre. Os dados foram coletados a cada 1'', formando um *grid* de aproximadamente 30 m em latitude e longitude (JPL, 2003; USGS, 2003b). Para a América do Sul, os dados estão disponibilizados com uma resolução espacial de 90 m;

- c) dados de anomalias do ar-livre sobre o oceano. Como exemplo pode-se citar o KMS 2002 *Global Marine Free-air Gravity Field* desenvolvido por O. B. Andersen e P. Knudsen, utilizando observações das missões GEOSAT e ERS-1 e baseando-se nos métodos descritos em ANDERSEN e KNUDSEN (1998).

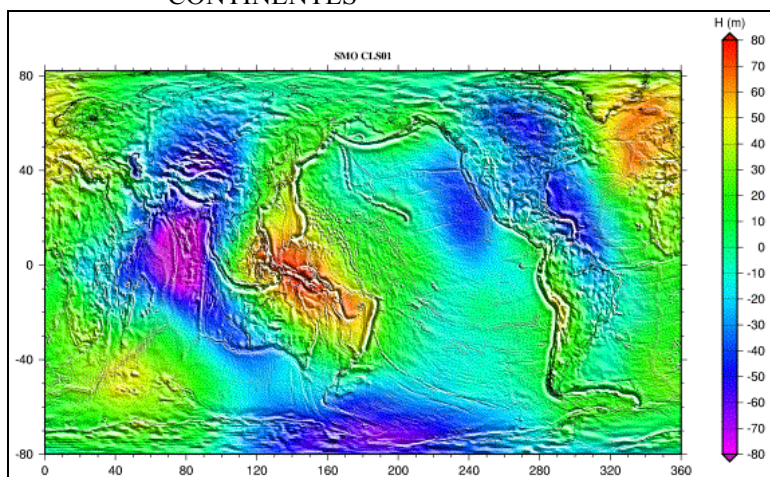
2.2.2 Conhecimento acerca da Superfície do Mar

O conhecimento da superfície do mar em escala global tornou-se possível com o uso dos dados advindos da Altimetria por Satélites. Esta técnica possibilita uma representação detalhada da superfície do mar com alta resolução espacial e temporal. Tanto a resolução espacial quanto a temporal são dependentes das características de cada missão uma vez que tanto a inclinação do satélite quanto o ciclo orbital determinam como o oceano é amostrado pelo satélite.

A estimativa da altura do nível médio do mar (h_{NMM}) a partir dos dados da Altimetria por Satélites gera modelos de superfície para o NMM, como o modelo CLS01 (Figura 5), por exemplo. Este modelo é uma combinação do NMM com o EGM96 nos continentes. Neste caso, o NMM foi calculado com base nos dados das

missões ERS-1/2, GEOSAT e T/P. O modelo abrange as latitudes 80°S a 82°N com uma resolução espacial de 2'. Nos continentes foi utilizado o modelo EGM96, sendo que a conexão entre os dois modelos foi feita de forma a ter-se um gradiente suavizado nas regiões costeiras, zonas de transição oceano/terra (HERNANDEZ; SCHAEFFER, 2001, p. 4; BOSCH, 2003, p. 5).

FIGURA 5 – CLS01 - MODELO GLOBAL DA SUPERFÍCIE MÉDIA DO MAR + EGM96 NOS CONTINENTES



FONTE: HERNANDEZ; SCHAEFFER, 2001, p. 4

Na geração de modelos globais da superfície média do mar a partir de dados da Altimetria por Satélites; modelos estes de extrema importância na estimativa da TNMM; podem ser utilizados dados de um determinado número de ciclos de uma missão, de todo o período de uma missão, ou a partir da combinação de dados de diferentes missões. A combinação destes dados permite aumentar a resolução temporal e espacial com a qual a superfície do mar é mapeada. Seja qual for o período ou combinação de dados utilizada para estimar a superfície média do mar, é importante salientar que esta superfície estará vinculada a uma determinada época, relacionada com o período de tempo das observações utilizadas no cálculo. No caso do satélite T/P, esta época não poderá ser anterior ao ano de 1992, ano de lançamento do satélite. Porém, a época de definição dos *Data* verticais na América do Sul é mais antiga e é diferente para cada país.

Como já indicado, para avaliar o efeito da TNMM na definição do nível de

referência das RGVs faz-se necessário estimar seu comportamento nas épocas de definição dos *Data* verticais. Desta forma, associado à estimativa da TNMM é preciso realizar o monitoramento da evolução temporal do NMM, uma vez que o NMM atual não coincide com o determinado na época de realização do Datum vertical. Além destes, outro aspecto importante nos estudos relacionados à evolução do NMM é a detecção de movimentos verticais da crosta, uma vez que estes podem contaminar as observações de nível d'água tomadas a partir de marégrafos. A detecção de movimentos verticais da crosta é feita de forma a permitir a estimativa de variações absolutas do nível do mar. Cabe ressaltar que se existe um propósito de conexão de RGVs, cada um dos *Data* verticais deve ter como um dos parâmetros associados a sua época de realização e como ele evolui no tempo.

2.3 ESTIMATIVA DA DIFERENÇA DE POTENCIAL - ΔW

Outra abordagem que objetiva a integração entre diferentes *Data* verticais é discutida nos trabalhos de BURSA et al. (1999, 2001, 2002), entre outros. Nestes trabalhos são utilizadas observações provenientes da Altimetria por Satélites, modelo do geopotencial, dados de rastreamento GPS e nivelamento, de forma que as diferenças entre os *Data* verticais locais pode ser estimada pela relação entre $(W_0 - W_i)$ e a gravidade normal. O valor de W_i representa o potencial do i -ésimo Datum vertical local e pode ser determinado por um modelo geopotencial ou melhoria do modelo com posicionamento preciso tri-dimensional e nivelamento na área ao redor do Datum (BURSA et al., 2002, p. 292). O valor de W_0 , que representa um valor de referência para o geopotencial e ao qual os *Data* verticais locais devem ser relacionados, pode ser adotado como, por exemplo, o valor derivado a partir das observações do satélite T/P ou adotar um dos valores de W_i como sendo o valor de referência (BURSA et al., 2002, p. 291).

Nessa mesma linha de pesquisa, pode-se citar o trabalho de KHAFID et al. (1994), que utilizam: diferenças de potencial provenientes de nivelamento e

gravimetria e altitudes elipsoidais de pontos em terra; diferenças de potencial derivadas de nivelamento estérico e/ou geostrófico e altitudes elipsoidais derivadas da Altimetria por Satélites para pontos no oceano, com o objetivo de estimar diferenças de potencial entre *Data* verticais locais. O efeito estérico é uma variação do NMM local como consequência da variação da densidade da água em função da temperatura. O efeito geostrófico é uma variação do NMM devido a aspectos dinâmicos do oceano, como correntes, ventos, entre outros.

Sistemas de altitudes, baseados no número geopotencial (C), podem ser derivados das operações de nivelamento e gravimetria. A partir daí, diferentes sistemas de altitudes podem ser definidos, estando estes relacionados apenas com diferenças de potencial, não sendo feito o uso de valores absolutos (HECK, 2002b). No estabelecimento de sistemas de referência verticais regionais apenas diferenças de potencial são relevantes, o valor do potencial W_0 na superfície equipotencial de referência não é necessário. HECK (2002b), indica que para o estabelecimento de um Datum vertical global não é necessário fixar um valor para W_0 ; pode-se estabelecer diferenças de potencial entre *Data* regionais. Porém, um Datum vertical global “absoluto” deve estar vinculado a uma superfície de referência que pode ser selecionada com a fixação de um valor para W_0 . O estabelecimento de um consenso visando a estimativa de W_0 não é uma tarefa das mais triviais. HECK (2002a), apresenta duas questões a serem levantadas:

- a) é necessário definir um valor para W_0 ?
- b) no caso da resposta da questão a) ser afirmativa, qual seria o valor de referência (W_0) a ser adotado?

De acordo com SÁNCHEZ (2004) a proposição, no âmbito do Grupo de Trabalho III (GT-III): Datum Vertical do Projeto SIRGAS, é a de adotar um valor de referência para W_0 e determinar as diferenças de potencial entre W_0 e cada realização local (W_i). O objetivo de unificar os sistemas verticais clássicos na América do Sul

requer necessariamente a adoção de uma superfície de referência (W_0) única para todos os países. Como indicado, a adoção de um valor de referência W_0 pode ser feita a partir do valor do potencial em um marégrafo específico, ou pela média dos valores em vários marégrafos, entre outras opções. Segundo SÁNCHEZ (2005, p. 6) e SÁNCHEZ (2006) estas abordagens resolvem o problema da unificação a nível regional, valendo apenas para a América do Sul; a melhor opção seria a adoção de um valor de referência absoluto que possa ser utilizado a nível global e que permita que as altitudes físicas a serem adotadas na América do Sul sejam compatíveis com as derivadas de métodos de posicionamento satelitais em combinação com modelos geoidais das missões CHAMP, GRACE e GOCE, por exemplo. Mais informações quanto as atividades que vem sendo desenvolvidas no contexto do GTIII, visando a determinação de um valor de referência W_0 , podem ser vistas em SÁNCHEZ (2005) e SÁNCHEZ (2006).

2.4 O PROJETO SIRGAS

O Projeto SIRGAS surgiu visando definir, materializar e manter um sistema de referência geocêntrico tridimensional na América do Sul (IBGE, 1997, p. 1; IBGE, 2003a). A definição de um Sistema Geodésico de Referência (SGR) caracteriza-se por um conjunto de parâmetros e convenções junto a um elipsóide ajustado às dimensões da Terra e devidamente orientado; por realização ou materialização entende-se um conjunto de pontos implantados sobre a superfície física da Terra com coordenadas e precisões conhecidas e associadas a uma época particular, sendo que estas coordenadas podem vir acompanhadas de suas respectivas velocidades e precisões (DALAZOANA, 2001, p. 7, p. 15); a manutenção do SGR dá-se pelo acompanhamento temporal das coordenadas e velocidades dos pontos.

Na América do Sul, o Projeto SIRGAS permitiu compatibilizar as redes horizontais clássicas, com a adoção de uma rede de caráter único e compatível com o ITRF. O status referente à integração das redes geodésicas nacionais ao SIRGAS por

parte dos países sul americanos é apresentado na Tabela 3 (FORTES, 2005, p. 23), onde é possível observar que a escolha com relação à realização e época de referência das coordenadas difere entre os países.

TABELA 3 – STATUS REFERENTE À ADOÇÃO DO SIRGAS NA AMÉRICA DO SUL

PAÍS	NOME DO SISTEMA	SGR	ÉPOCA DE REFERÊNCIA	Irá adotar o SIRGAS?
Argentina	POSGAR 94	WGS 84	1993,8	Sim
Brasil	SIRGAS 2000	SIRGAS 2000	2000,4	Adotou
Chile	SIRGAS/CHILE	SIRGAS 2000	2002,0	Adotou
Colômbia	MAGNA/SIRGAS	SIRGAS 95	1995,4	Adotou
Uruguai	SIRGAS ROU 98	SIRGAS 95	1995,4	Adotou
Venezuela	SIRGAS/REGVEN	SIRGAS 95	1995,4	Adotou

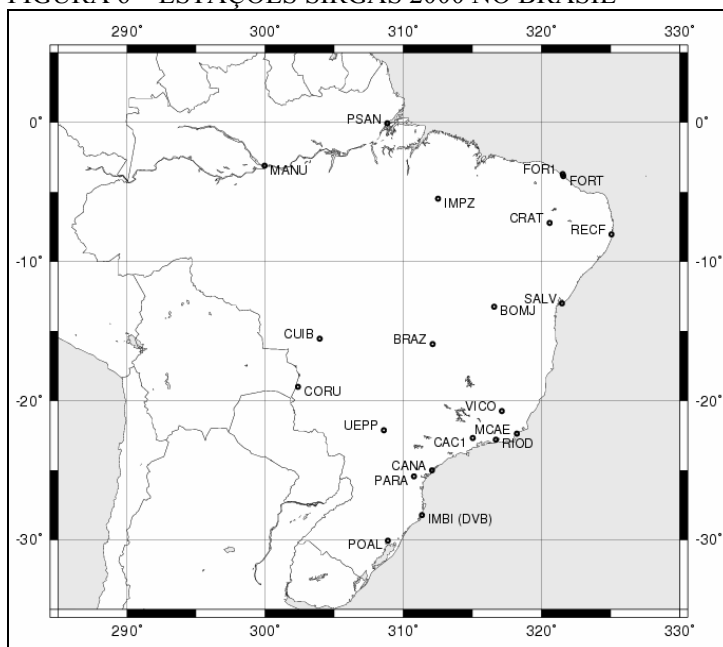
FONTE: adaptado de FORTES, 2005, p. 23

A adoção oficial do SIRGAS como novo SGR para os trabalhos geodésicos e cartográficos em território brasileiro deu-se com o decreto número 5334/2005 assinado em 06/01/2005 e publicado em 07/01/2005 no Diário Oficial da União e com a Resolução do Presidente do IBGE número 1/2005 onde:

“fica estabelecido como novo sistema de referência geodésico para o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN) o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua realização do ano de 2000 (SIRGAS2000). Para o SGB, o SIRGAS2000 poderá ser utilizado em concomitância com o sistema SAD 69. Para o SCN, o SIRGAS2000 também poderá ser utilizado em concomitância com os sistemas SAD 69 e Córrego Alegre, conforme os parâmetros definidos nesta Resolução. A coexistência entre estes sistemas tem por finalidade oferecer à sociedade um período de transição antes da adoção do SIRGAS2000 em caráter exclusivo. Neste período de transição, não superior a dez anos, os usuários deverão adequar e ajustar suas bases de dados, métodos e procedimentos ao novo sistema.” (IBGE, 2005, p. 1).

Esta mesma resolução traz as coordenadas das 21 estações que materializam o sistema SIRGAS 2000 em território nacional (Figura 6), e indica que para aplicações de alta precisão deve-se utilizar o campo de velocidades disponibilizado para a América do Sul. O uso deste campo de velocidades, que está disponível no endereço eletrônico <<http://www.ibge.gov.br/sirgas>>, permite atualizar as coordenadas de uma estação da época de referência (2000,4) para outra época qualquer (IBGE, 2005, p. 4).

FIGURA 6 – ESTAÇÕES SIRGAS 2000 NO BRASIL



Dadas as realizações obtidas pelo Projeto SIRGAS, a 7ª Conferência Cartográfica Regional das Nações Unidas para as Américas, realizada em Nova Iorque no período de 22 a 26 de janeiro de 2001, recomenda que os países americanos (ONU, 2001):

- a) integrem seus sistemas geodésicos de referência nacionais a um sistema de referência compatível com o SIRGAS;
- b) forneçam ao Projeto SIRGAS dados gravimétricos, para determinação da superfície de referência para o sistema vertical,
- c) conduzam suas operações de nivelamento juntamente com observações gravimétricas, de forma a calcular números geopotenciais e que conectem suas redes de nivelamento às redes dos países vizinhos, disponibilizando estas informações ao Projeto SIRGAS.

Essas recomendações foram reforçadas com a Resolução VII adotada na 8ª Conferência Cartográfica Regional das Nações Unidas para as Américas, realizada em Nova Iorque no período de 27 de junho a 1 de julho de 2005, e que pode ser encontrada no endereço <<http://unstats.un.org/unsd/geoinfo/8unrccaresolutions.pdf>>.

O objetivo do Projeto SIRGAS (definir, materializar e manter) engloba, também, a definição e materialização de um sistema de referência vertical único, com alturas geométricas e físicas consistentes, e a determinação da variação temporal da rede de referência. A determinação de um sistema de referência vertical, que satisfaça não só a necessidade da representação cartográfica, mas também do controle geodésico e da homogeneidade de dados, inclui quatro aspectos fundamentais (DREWES et al., 2002, p. 297; SÁNCHEZ; MARTÍNEZ, 2002, p. 31; DREWES, 2003):

- a) definição do tipo de altitude a ser utilizado;
- b) determinação da superfície de referência para as altitudes;
- c) materialização por meio de uma rede de referência, e
- d) verificação da variação temporal da coordenada vertical pelo monitoramento periódico das estações que materializam a rede visando, por exemplo, o controle dos movimentos verticais da crosta terrestre. Aspecto este, viável apenas nas estações que contam com receptores GPS operando continuamente.

A tarefa de definir um sistema unificado de alturas e coordenar seu estabelecimento e manutenção é do GT-III: Datum Vertical (IBGE, 2003a). O GT-III foi criado durante reunião do Projeto SIRGAS no Rio de Janeiro em 6 de setembro de 1997 (IBGE, 1998, p. 8), sua primeira reunião ocorreu de 11 a 13 de agosto de 1998 em Santiago, no Chile, durante o V Congresso Internacional de Ciências da Terra (IBGE, 1998, p. 9). Desta reunião originaram-se, entre outras, as seguintes resoluções:

- a) adotar um sistema de referência vertical baseado em alturas elipsoidais e outra derivada de números geopotenciais;
- b) realizar o sistema por meio de estações que tenham nivelamento, medições gravimétricas e coordenadas SIRGAS, incluindo os marégrafos que definem o Datum vertical clássico em cada país, e
- c) organizar os dados gravimétricos e calcular números geopotenciais (IBGE, 1998, p. 11).

De acordo com DREWES et al. (2002, p. 301) e SÁNCHEZ (2005, p. 3), o sistema proposto é baseado em altitudes elipsoidais caracterizando a componente geométrica. Estas são definidas com precisão e facilmente calculadas a partir das coordenadas tridimensionais X, Y e Z (obtidas, por exemplo, por rastreamento GPS) e dos parâmetros do elipsóide de referência (por exemplo, semi-eixo maior e excentricidade). A superfície de referência correspondente é o elipsóide associado ao SIRGAS (neste caso o elipsóide do GRS 80 – *Geodetic Reference System 1980*).

Como as altitudes elipsoidais têm caráter geométrico, devem ser associadas com altitudes possuidoras de caráter físico a fim de atender às necessidades de ordem prática. No caso do SIRGAS, a proposição é a de adotar altitudes normais baseadas em números geopotenciais e tendo o quasi-geóide como superfície de referência associada. A componente geométrica de referência vertical é resolvida a partir do momento em que se adota o SIRGAS como sistema de referência nos países. Já a componente física requer uma série de esforços para sua realização e que vêm sendo feitos pelos diferentes países sul-americanos, como indicado, por exemplo, em LUZ (2005) e SÁNCHEZ (2005).

Em julho de 1999 os membros do Projeto reuniram-se em Birmingham, Inglaterra, durante a 22ª Assembléia Geral da União Geodésica e Geofísica Internacional, quando foi planejada a realização da campanha SIRGAS 2000 (IBGE, 2002a, p. 8), visando atender também a componente altimétrica do projeto. Esta campanha foi realizada de 10 a 19 de maio de 2000, quando foram reocupadas as estações da campanha de 1995, ocupadas estações próximas aos marégrafos que definem o referencial vertical em cada país e ocupadas estações próximas às fronteiras entre os países (Tabela 4), totalizando 184 estações situadas em todo o continente americano (IBGE, 2001). Com a campanha SIRGAS 2000 foram determinadas as posições geocêntricas da maioria dos marégrafos que definem os *Data* verticais dos países sul-americanos (FREITAS et al., 2002b, p. 319).

TABELA 4 – ESTAÇÕES SIRGAS 2000

PAÍS	ESTAÇÕES SIRGAS 95	NOVAS ESTAÇÕES	MARÉGRAFOS	TOTAL
Antártica	1	-	-	1
Argentina	10	7	3	20
Bermuda	-	-	1	1
Bolívia	6	3	-	9
Brasil	11	5	5	21
Canadá	-	10	3	13
Chile	7	8	5	20
Colômbia	5	2	1	8
Equador	3	3	1	7
Guiana Francesa	1	-	-	1
Guatemala	-	3	1	4
Guiana	-	2	-	2
Honduras	-	1	-	1
Jamaica	-	1	-	1
México	-	13	2	15
Nicarágua	-	2	-	2
Paraguai	1	-	-	1
Porto Rico	-	1	-	1
Saint Croix	-	-	1	1
Peru	4	3	3	10
Trinidad e Tobago	-	2	-	2
Uruguai	2	4	2	8
USA	-	12	12	24
Venezuela	5	3	3	11
Total	56	85	43	184

FONTE: IBGE, 2002a, p. 12; LUZ et al., 2002b, p. 303; DREWES, 2003

Quanto à realização do referencial vertical, o GT-III estabeleceu como tarefa importante o cálculo de números geopotenciais onde existe observação gravimétrica sobre pontos fundamentais da rede vertical (FREITAS et al., 2001, p. 21; FREITAS et al., 2002b, p. 320). De acordo com FREITAS et al. (2001, p. 21), o ajuste em escala continental deverá ser o dos números geopotenciais, pois a partir destes será possível recuperar as altitudes niveladas e estabelecer conversão para outros sistemas de interesse. O número geopotencial possui significado físico na definição da altitude de um ponto, o que já não acontece com o desnível medido. O número geopotencial em um ponto P (C_p) representa a diferença de potencial entre o geóide (W_0) e a superfície equipotencial que passa pelo ponto em questão (W_p). Na prática é derivado do nivelamento associado à gravimetria (FREITAS; BLITZKOW, 1999, p. 51; GEMAEL, 1999, p. 214):

$$C_p = W_0 - W_p = \int_0^p g dH \cong \sum g_m \Delta H^{\text{obs}} \quad (3)$$

Nessa expressão, g_m é a gravidade média observada numa seção de nivelamento e ΔH^{obs} é o respectivo desnível observado. A razão do número geopotencial por um valor convencional de gravidade é expressa em unidades de comprimento. Com isso, a altitude de um ponto P (H_p) é derivada da relação entre o número geopotencial (C_p) e um valor particular da gravidade (g):

$$H_p = \frac{C_p}{g} \quad (4)$$

Na prática, o valor da gravidade (g) é determinado com base em algum modelo ou convenção, gerando assim um Sistema de Altitudes. O tipo de altitude ou o Sistema de Altitude depende apenas do valor de gravidade adotado. Para altitudes normais (H^N), por exemplo, adota-se o valor médio da gravidade normal (γ_m) entre a estação de interesse e a superfície de referência (FREITAS; BLITZKOW, 1999, p. 53, p. 57):

$$H^N = \frac{C}{\gamma_m} \quad (5)$$

Detalhes quanto ao cálculo da gravidade normal (γ_m) podem ser vistos em FREITAS e BLITZKOW (1999) e GEMAEL (1999).

3 O DATUM VERTICAL BRASILEIRO

3.1 DATA VERTICAIS NA AMÉRICA DO SUL

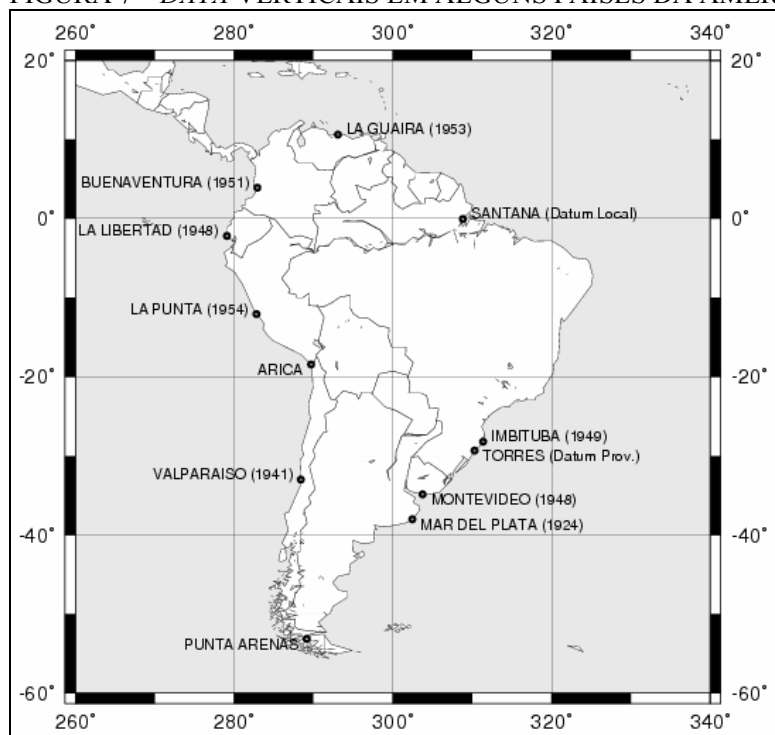
O Datum vertical na Argentina, de acordo com LAURÍA et al. (2002, p. 14), foi estabelecido em 1924 no marégrafo de Mar Del Plata; em 1949 a origem da rede de nivelamento foi movida para Tandil onde foram encontradas condições geológicas mais estáveis. Segundo SÁNCHEZ e MARTÍNEZ (2002, p. 27, 28), na Colômbia o Datum vertical foi estabelecido com base em 18 anos (1951-1968) de observações maregráficas em Buenaventura.

No Uruguai o Datum vertical foi definido oficialmente em 1948 com base nas observações do porto de Montevideu (PIÑA et al., 2002, p. 170). Na Venezuela o Datum vertical foi estabelecido com base nas observações maregráficas em La Guaira (HERNÁNDEZ et al., 2002, p. 324), realizadas entre os anos de 1953 e 1971. No Equador o Datum vertical foi definido no marégrafo de La Libertad e no Peru no marégrafo de La Punta (SÁNCHEZ, 2005).

A Bolívia usa como marégrafo de referência o de Arica no Chile, porém não se tem informação sobre o período das observações usadas para a definição do NMM (SÁNCHEZ, 2005, p. 20). O Chile tem como marégrafo principal o de Valparaíso, porém devido a extensão da costa possui outros marégrafos de referência como Arica, Antofagasta, San Antonio, Talcahuano, Puerto Montt e Punta Arenas (SÁNCHEZ, 2005, p. 22).

No Brasil, o Datum vertical do SGB é definido pelas observações maregráficas tomadas no Porto de Imbituba, no litoral do estado de Santa Catarina. O DVB foi estabelecido em 1958, com base nas observações maregráficas tomadas entre os anos de 1949 e 1957. A Figura 7 ilustra a localização dos marégrafos usados na definição do Datum vertical de alguns países na América do Sul.

FIGURA 7 – DATA VERTICAIS EM ALGUNS PAÍSES DA AMÉRICA DO SUL



3.2 O DATUM VERTICAL BRASILEIRO

A implantação da Rede Vertical Brasileira iniciou-se em 1945, em Santa Catarina, por meio de nivelamento geométrico. Nesta época o país ainda não possuía oficialmente um Datum vertical. A conexão da rede de nivelamento com o marégrafo de Torres (Figura 7) no Rio Grande do Sul, em 1946, possibilitou o cálculo de altitudes provisórias para as RRNN implantadas nessa época.

O Datum de Torres teve caráter provisório, uma vez que foi definido com apenas um ano de observações do nível do mar (1919 - 1920), sendo substituído pelo Datum de Imbituba em 1958 que contava com uma série temporal de observações do nível do mar mais longa (ALENCAR, 1990, p. 69, 70). Desta forma, o DVB foi definido pelas observações do nível do mar entre os anos de 1949 e 1957 (9 anos), no porto de Imbituba em Santa Catarina. O NMM local foi definido como o valor médio das médias anuais das observações maregráficas indicadas na Tabela 5.

TABELA 5 – MÉDIAS ANUAIS EM IMBITUBA PARA O PERÍODO 1949 - 1957

ANO	MÉDIA (m)
1949	2,2616
1950	2,2770
1951	2,2587
1952	2,2860
1953	2,2555
1954	2,3044
1955	2,2831
1956	2,2738
1957	2,2587
Valor Médio	2,2732

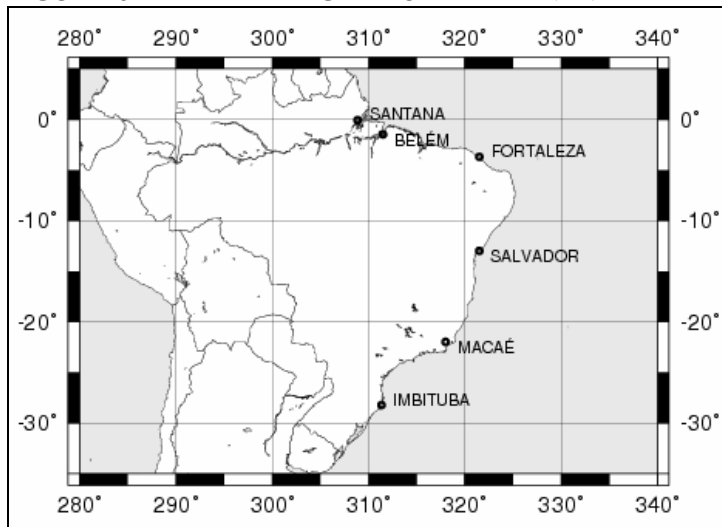
FONTE: ALENCAR, 1990, p. 70; PSMSL, 2002

Ao NMM, determinado da forma explicitada para Imbituba, foram referidas as altitudes das RRNN da estação maregráfica e todas as outras RRNN da rede vertical do SGB (LUZ, 1996, p. 4). Convém mencionar a existência da rede de nivelamento localizada ao norte do rio Amazonas, no estado do Amapá, que não está referenciada ao Datum de Imbituba. Devido a largura do rio, não foi possível transportar as altitudes via nivelamento geométrico. Nesta rede as altitudes estão vinculadas ao Datum local definido no porto de Santana. Assim, a ligação entre o Datum de Imbituba e o de Santana pode ser considerado um importante campo de estudos relacionados com a conexão de redes verticais. Buscando uma metodologia para a solução deste e outros problemas decorrentes da não unicidade dos *Data* verticais e das operações de nivelamento, podem contribuir: a integração de dados de Altimetria por Satélites; a associação de observações gravimétricas; a Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG) e um modelo hidrodinâmico regional no caso de Santana (DALAZOANA et al., 2004a).

A RMPG (Figura 8) foi proposta em 1997 buscando a transição para o Datum Vertical SIRGAS e a correlação entre o Datum de Imbituba e outras referências altimétricas existentes ao longo da costa brasileira. Equipamentos para registros digitais nas estações de Macaé (RJ) e Imbituba estão em operação desde 2001. Existem também observações convencionais (registros gráficos, sendo digitalizados) desde 1994 para Macaé e desde 1998 para Imbituba (LUZ et al., 2002a). A estação de Salvador foi instalada com sensores de maré (digital e convencional) em dezembro de

2002. Está planejada a instalação de equipamentos GPS para rastreamento contínuo em algumas das estações da RMPG que estão em operação.

FIGURA 8 – REDE MAREGRÁFICA PERMANENTE PARA GEODÉSIA



3.3 DISPONIBILIDADE DE DADOS DO NÍVEL DO MAR NA COSTA

O *Inter American Geodetic Survey* (IAGS) foi responsável pela manutenção e coleta de dados de várias estações maregráficas na costa brasileira entre as décadas de 40 e 60, incluindo Imbituba (SC), Rio de Janeiro (RJ), Canavieiras (BA), Salvador (BA), Recife (PE), Fortaleza (CE), Salinópolis (PA) e Belém (PA) (ALENCAR, 1990, p. 70). De acordo com CALDWELL (2004) e CAVALCANTE (2005, p. 3), as observações do nível do mar iniciaram-se de forma sistemática no Brasil em 1940. Desde então existiram no país mais de 300 estações onde foram realizadas observações do nível do mar, embora a grande maioria por curtos períodos de tempo, sendo que em muitos lugares não eram feitas leituras numa régua maregráfica nem nivelamento geodésico regular. A maioria das estações serviu apenas para finalidades portuárias, de navegação ou de engenharia; como na elaboração de tábuas de maré, por exemplo. Pode-se ter acesso, no endereço eletrônico da Fundação de Estudos do Mar (FEMAR - www.femar.com.br), ao Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras que apresenta informações gerais acerca de 281 estações maregráficas que existiram ou ainda

existem na costa do país.

Com relação à disponibilidade de dados do nível do mar na costa brasileira:

- a) podem ser obtidas médias mensais, referentes a algumas estações maregráficas, no banco de dados do *Permanent Service for Mean Sea Level* (PSMSL). O PSMSL é um serviço internacional com a missão de coletar, publicar, analisar e interpretar valores médios mensais e anuais do nível do mar em qualquer marégrafo do mundo, desde que as autoridades responsáveis repassem estas informações. A Tabela 6 fornece uma visão geral das informações existentes no banco de dados do PSMSL e a Figura 9 mostra a localização das estações na costa brasileira.

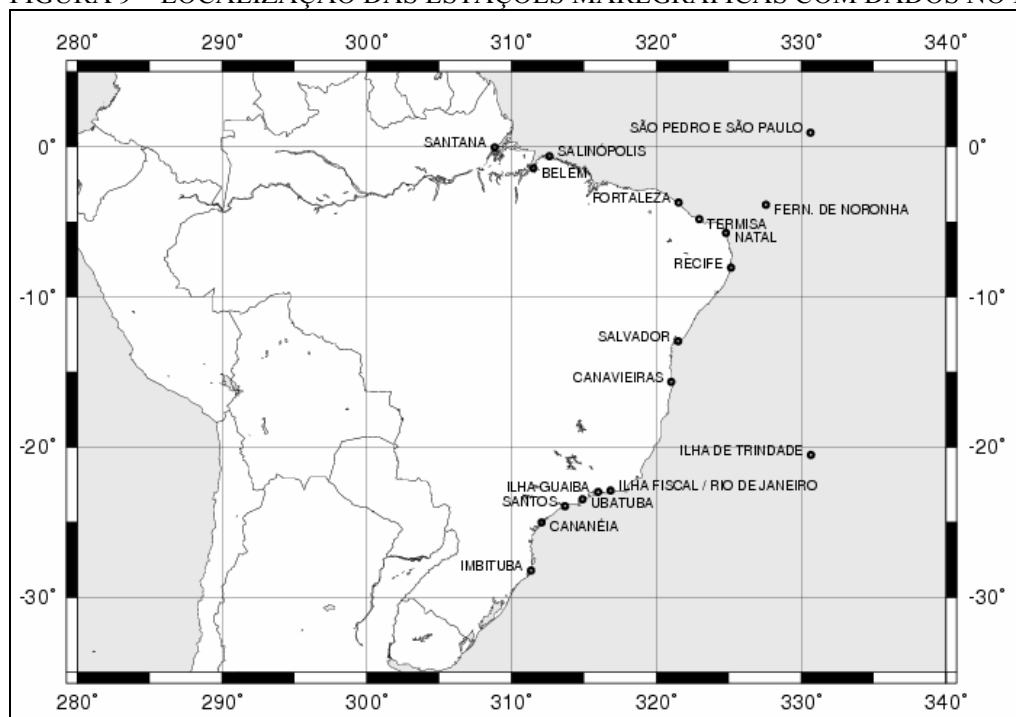
TABELA 6 – ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS COM DADOS NO PSMSL

ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	PERÍODO DE DADOS
Imbituba	28° 14' S	48° 39' W	1948 a 1968
Cananéia	25° 01' S	47° 56' W	1954 a 2000
Santos	23° 57' S	46° 19' W	1944 a 1990
Ubatuba ⁽¹⁾	23° 30' S	45° 07' W	1954 a 1993
Ilha Guaíba	23° 00' S	44° 02' W	1980 a 1980
Rio de Janeiro	22° 56' S	43° 08' W	1949 a 1968
Ilha Fiscal	22° 54' S	43° 10' W	1963 a 1991
Ilha de Trindade	20° 30' S	29° 19' W	1974 a 1975
Ilha de Trindade	20° 32' S	29° 19' W	1983 a 1983
Canavieiras	15° 40' S	38° 58' W	1952 a 1963
Salvador	12° 58' S	38° 31' W	1949 a 1968
Recife	08° 03' S	34° 52' W	1948 a 1968
Natal A	05° 45' S	35° 12' W	1982 a 1983
Natal B	05° 45' S	35° 12' W	1983 a 1984
Natal C	05° 45' S	35° 12' W	1984 a 1985
Fernando de Noronha	03° 52' S	32° 26' W	1972 a 1972
Fernando de Noronha A	03° 50' S	32° 24' W	1982 a 1983
Fernando de Noronha B	03° 50' S	32° 24' W	1984 a 1985
Fernando de Noronha C	03° 50' S	32° 24' W	1992 a 1993
São Pedro e São Paulo	00° 55' N	29° 21' W	1982 a 1985
Termisa	04° 49' S	37° 03' W	1993 a 1995
Fortaleza	03° 43' S	38° 29' W	1948 a 1968
Salinópolis	00° 39' S	47° 23' W	1949 a 1956
Belém	01° 27' S	48° 30' W	1949 a 1968
Santana	00° 03' S	51° 10' W	1984 a 1984

FONTE: PSMSL, 2002

(1) Os dados referentes a estação Ubatuba não estão mais disponíveis no site.

FIGURA 9 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS COM DADOS NO PSMSL



b) dados horários, médias diárias e mensais podem ser encontrados no banco de dados do Centro de estudos do Nível do Mar da Universidade do Hawaii (*University of Hawaii Sea Level Center (UHSLC) Research Quality Database*). A Tabela 7 apresenta os dados disponíveis no banco de dados do UHSLC e a Figura 10 a localização das estações.

TABELA 7 – ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS COM DADOS NO UHSLC

continua				
ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	PERÍODO DE DADOS ⁽¹⁾	CONTRIBUIÇÃO
São Pedro e São Paulo	00° 55' N	29° 21' W	1982 a 1985	⁽⁴⁾ ORSTOM
Natal A	05° 45' S	35° 12' W	1982 a 1983	ORSTOM
Natal B	05° 45' S	35° 12' W	1983 a 1984	ORSTOM
Natal C	05° 45' S	35° 12' W	1984 a 1985	ORSTOM
Fernando de Noronha A	03° 50' S	32° 24' W	1982 a 1983	ORSTOM
Fernando de Noronha B	03° 50' S	32° 24' W	1984 a 1985	ORSTOM
Fernando de Noronha C	03° 50' S	32° 24' W	1985 a 1986	⁽⁵⁾ LPAO/INPE
Ilha de Trindade	20° 30' S	29° 19' W	1983 a 1983	ORSTOM
Belém	01° 27' S	48° 30' W	1955 a 1968	National Ocean Service
Rio de Janeiro (Ilha Fiscal)	22° 54' S	43° 10' W	⁽²⁾ 1963 a 2004	⁽⁶⁾ DHN
Cananéia	25° 01' S	47° 56' W	⁽³⁾ 1954 a 2004	⁽⁷⁾ IO-USP
Fortaleza A	03° 43' S	38° 29' W	1955 a 1968	National Ocean Service
Fortaleza B	03° 43' S	38° 28' W	1995 a 1998	LPAO/INPE
Termisa	04° 49' S	37° 03' W	1993 a 1995	LPAO/INPE

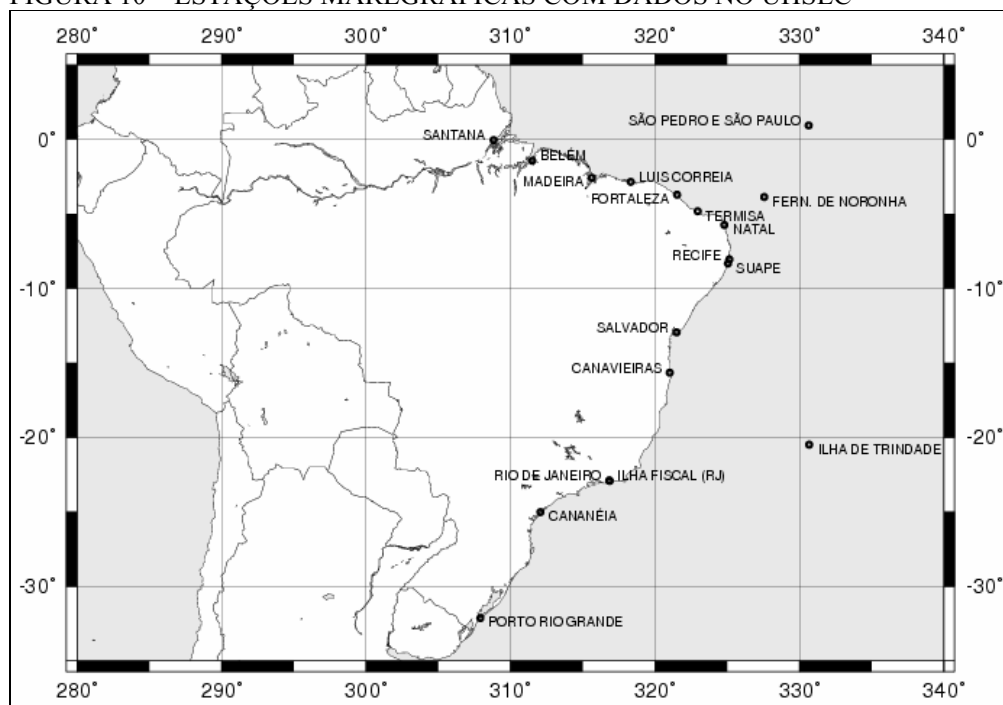
conclusão

ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	PERÍODO DE DADOS ⁽¹⁾	CONTRIBUIÇÃO
Canavieiras	15° 40' S	38° 58' W	1956 a 1961	National Ocean Service
Salvador	12° 58' S	38° 31' W	1955 a 1964	National Ocean Service
Rio de Janeiro (USCGS)	22° 56' S	43° 08' W	1955 a 1968	National Ocean Service
Suape	08° 21' S	34° 57' W	1982 a 1984	LPAO/INPE
Luis Correia	02° 52' S	41° 40' W	1984 a 1985	LPAO/INPE
Recife (USCGS)	08° 03' S	34° 52' W	1955 a 1968	National Ocean Service
Porto Rio Grande	32° 08' S	52° 06' W	1981 a 2003	DHN
Madeira	02° 34' S	44° 23' W	1988 a 2003	DHN
Santana A	00° 03' S	51° 11' W	1970 a 1972	DHN
Santana B	00° 03' S	51° 11' W	1975 a 1976	DHN
Santana C	00° 03' S	51° 11' W	1984 a 1985	DHN
Santana D	00° 03' S	51° 11' W	1996 a 1997	DHN
Santana SSN-A	00° 04' S	51° 10' W	1994 a 1995	DHN
Santana SSN-A	00° 04' S	51° 10' W	1999 a 2000	DHN

FONTE: UHSLC, 2004

- (1) O período de dados refere-se aos anos em que os dados receberam controle de qualidade.
(2) Período atualizado em 28/03/2005.
(3) Período atualizado em 24/03/2005.
(4) Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement em Coopération, atual IRD – Institut de Recherche pour le Développement.
(5) Laboratório de Pesquisas Atmosféricas e Oceânicas/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
(6) Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil.
(7) Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.

FIGURA 10 – ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS COM DADOS NO UHSLC



A Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil, em colaboração com as autoridades portuárias brasileiras é a principal responsável pela manutenção das observações de nível do mar no país, fornecendo previsões de maré para os principais portos do país. O Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO-USP) mantém duas estações, Ubatuba e Cananéia, sendo Cananéia uma estação do *Global Sea Level Observing System* (GLOSS). Segundo CALDWELL (2004), Cananéia é uma estação maregráfica de boa qualidade, algumas considerações devem ser feitas devido à sua localização estuarina, podendo ser influenciada pelo regime dos rios. Porém, apesar de sua localização, a estação recebe os sinais oceânicos com frequências que vão desde marés a variações de longo período (CALDWELL, 2004). O IBGE, conforme mencionado anteriormente, é o responsável pela RMPG. Além dessas instituições, existem companhias particulares que realizam observações do nível do mar com propósitos particulares relacionados a atividades portuárias ou de engenharia.

3.4 DISPONIBILIDADE DE DADOS DO NÍVEL DO MAR E EQUIPAMENTOS EM IMBITUBA

Durante o período em que a estação maregráfica de Imbituba foi operada e mantida pelo IAGS, até o final de 1968, os dados eram digitalizados e enviados ao PSMSL. Atualmente, é possível somente a obtenção de médias mensais e anuais para o período de 1948 a 1968 no banco de dados do PSMSL, porém dados horários não estão disponíveis. Após 1969, a operação da estação ficou sob responsabilidade das autoridades portuárias brasileiras, e, aparentemente, o envio de dados para o PSMSL foi interrompido. Registros gráficos (maregramas) para este período, até o ano de 1986, provavelmente existem mas ainda não foram localizados. Foram recuperados, por técnicos do IBGE, os maregramas referentes ao período de 1986 a 1992, cuja digitalização está sendo realizada no Laboratório de Instrumentação Geodésica (LaIG) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). A operação da estação maregráfica parece

ter sido interrompida de 1992 a 1998. O controle operacional do marégrafo em Imbituba foi recuperado em 1998 e os registros gráficos têm sido digitalizados pela Coordenação de Geodésia do IBGE (DALAZOANA, 2003; DALAZOANA et al., 2003).

Em 2001 foram instalados, no porto, sensores maregráficos e meteorológicos digitais, com uma taxa de coleta de cinco minutos (LUZ et al., 2002a). A estação meteorológica digital fornece arquivos diários com as seguintes informações: data e horário da observação; quantidade de chuva; umidade e temperatura do ar; direção e velocidade do vento; pressão; carga da bateria que mantém o sistema; entre outras informações auxiliares. A Figura 11 mostra a estação meteorológica localizada próxima à entrada principal do porto de Imbituba. Esta estação é mantida em funcionamento por uma bateria que é alimentada por um painel solar.

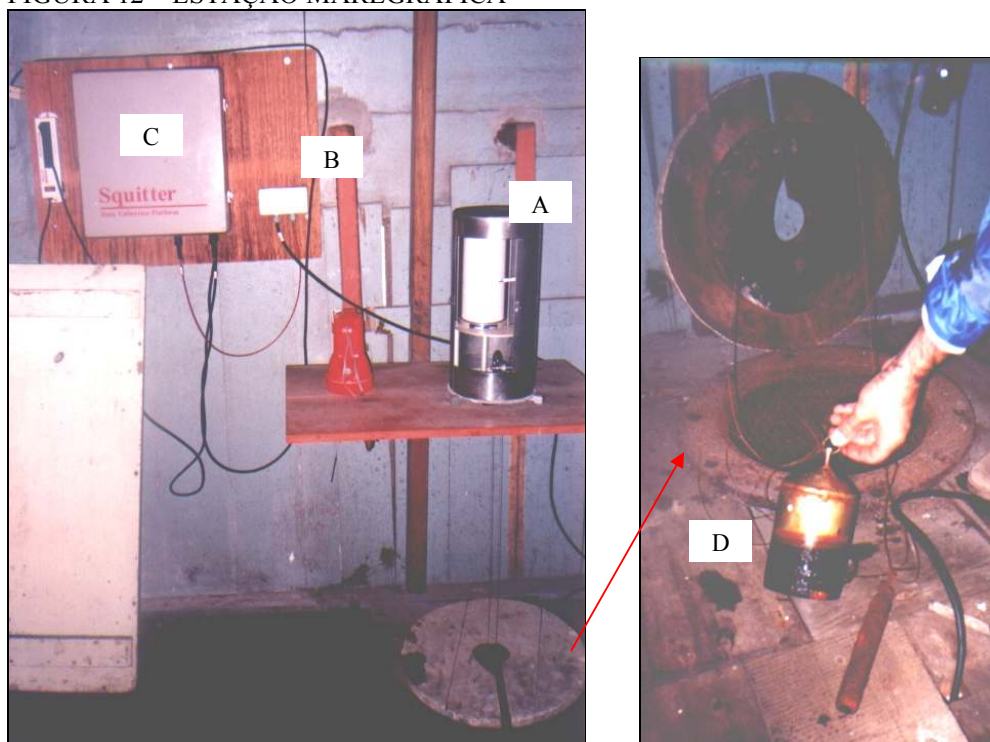
FIGURA 11 – ESTAÇÃO METEOROLÓGICA



NOTA: De modo geral a estação meteorológica é composta por: A – anemômetro, que mede a direção e a velocidade do vento. B - painel solar, que alimenta os sensores cuja finalidade é carregar a bateria. C - sensor de temperatura e umidade. D - sensor de pressão atmosférica. E – pluviômetro. F – painel de controle.

A estação maregráfica digital também fornece arquivos diários com as seguintes informações: data e horário da observação; nível d'água, densidade e temperatura da água; carga da bateria que mantém o sistema; entre outras informações adicionais. As Figuras 12 e 13 mostram parte dos equipamentos e instalações que compõem a estação maregráfica, localizada sob o cais principal do porto.

FIGURA 12 – ESTAÇÃO MAREGRÁFICA



NOTA: A - marégrafo convencional. B - desumidificador do sensor digital de nível d'água. C - painel de controle. D - bóia do marégrafo convencional.

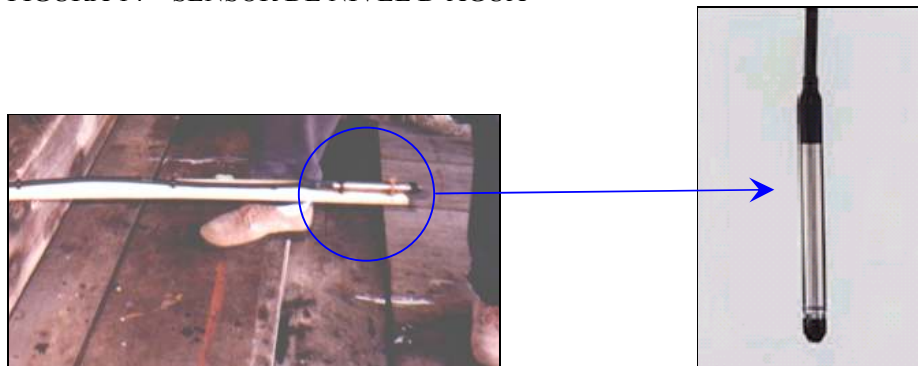
FIGURA 13 – ABRIGO E EXTERIOR DOS TUBOS



NOTA: A - abrigo dos equipamentos. B - tubo do marégrafo digital. C - tubo do marégrafo convencional.

A Figura 14 mostra o sensor digital de nível d'água da estação maregráfica. A Figura 15 mostra a régua maregráfica antiga e a Figura 16 mostra a régua instalada pelo IBGE em 2002, ambas estão apoiadas sobre a mesma estrutura, porém em lados opostos da passarela de madeira localizada sob o cais.

FIGURA 14 – SENSOR DE NÍVEL D'ÁGUA



FONTE: SQUITTER, 2004

FIGURA 15 – RÉGUA MAREGRÁFICA ANTIGA



FIGURA 16 – RÉGUA MAREGRÁFICA ATUAL



4 ESTIMATIVA DO NÍVEL MÉDIO DO MAR E USO DA ALTIMETRIA POR SATÉLITES

4.1 ESTIMATIVA DO NÍVEL MÉDIO DO MAR

Usualmente a estimativa do NMM e sua variação é feita a partir da análise de dados maregráficos registrados de forma gráfica (maregramas) ou em meio digital (maregramas digitalizados ou dados coletados por sensores digitais). De acordo com a *Intergovernmental Oceanographic Commission* (IOC) (1985, p. 7) e PUGH (1987, p. 302), é de prática normal, por parte das autoridades responsáveis, o cálculo de valores médios mensais e anuais para o nível do mar. O NMM é calculado a partir de valores observados de nível d'água com diferentes taxas de amostragem, sendo a horária a mais comumente encontrada. Geralmente a digitalização de maregramas gráficos é realizada de forma a extrair valores horários de nível d'água, já dados de nível d'água provenientes de sensores digitais podem possuir uma amostragem maior, uma vez que o intervalo entre as observações pode ser escolhido levando-se em conta as características instrumentais e a finalidade dos dados.

O método mais simples visando a estimativa do valor do NMM é pela média aritmética dos valores de nível d'água observados. Mas existem métodos mais elaborados que incluem a aplicação de filtros passa-baixa visando eliminar as frequências mais altas, como marés e ondas, antes do cálculo da média. Segundo a IOC (1985, p. 55) e PUGH (1987, p. 302-304), valores diários do nível do mar podem ser calculados por meio:

- a) da média das leituras horárias;
- b) de um filtro que trata leituras realizadas a cada 3 horas;
- c) de filtros passa-baixa, como o Filtro de Doodson que trata leituras horárias.

De acordo com PUGH (1987, p. 303), as médias mensais calculadas após o

uso do Filtro de Doodson, diferem insignificamente das médias calculadas após a aplicação de filtros mais longos, como os de 72 ou 168 horas.

Várias organizações desenvolveram *softwares* próprios para o processamento de dados maregráficos, sendo que alguns deles podem ser obtidos livremente via *internet*. Um exemplo é o aplicativo SLPR2, desenvolvido e documentado pelo *Joint Archive for Sea Level*, uma colaboração entre a *University of Hawaii Sea Level Center* e o *US National Oceanographic Data Center*. Este aplicativo foi desenvolvido para computadores do tipo PC e opera em ambiente DOS. Inclui rotinas para análise e predição de marés; controle de qualidade e filtragem. O programa de análise utiliza como entrada dados maregráficos horários de um determinado período de tempo e fornece como saída um conjunto de constantes harmônicas (amplitude e fase), as quais se tornam dados de entrada para uma função de predição de marés (CALDWELL, 2002, p. 12, 13). Após a determinação das constantes harmônicas é possível realizar predições de maré para o mesmo local. Da comparação dos dados preditos com os dados observados é possível gerar gráficos de resíduos (onde o valor do resíduo é igual ao valor do dado observado menos o valor do dado predito). A análise visual dos gráficos de resíduos indica possíveis problemas com os dados observados ou com a própria predição.

Outra tarefa do aplicativo é a realização de filtragem visando a geração de valores diários e mensais do nível do mar. Os valores diários são obtidos usando uma operação de filtragem em dois passos. No primeiro as componentes diurnas e semi diurnas são removidas, no segundo passo um filtro de 119 pontos, centrado ao meio dia e com comprimento de cinco dias é aplicado para remover a energia de alta frequência restante (CALDWELL, 2002, p. 25, 26). Os valores mensais são obtidos pela média simples dos valores diários.

A IOC (2002, p. 39, 40) indica que a escolha entre: a) filtrar os dados para obter valores diários e então obter médias mensais e b) utilizar média simples para obter dados mensais; não é crítica. Porém, o primeiro é um procedimento matemático

mais rigoroso, sendo então o procedimento recomendado. Maiores detalhes com respeito ao cálculo do NMM podem ser encontrados em IOC (1985), PUGH (1987) e IOC (2002), entre outros.

4.2 VARIAÇÕES TEMPORAIS DO NÍVEL MÉDIO DO MAR

A necessidade do monitoramento do nível do mar tem sido um tópico de grande discussão e interesse. Na atualidade, a Geodésia utiliza dados provenientes do monitoramento do nível do mar num sentido muito mais amplo do que a tradicional realização da referência para as redes verticais clássicas. Exemplos vão desde estudos relacionados com a influência das marés na rotação da Terra até melhorias nos modelos geopotenciais e integração de redes verticais, uma vez que cada Datum vertical está vinculado a uma época de definição. O monitoramento temporal do nível do mar também tem despertado grande interesse em outras áreas, principalmente em estudos relacionados com efeitos climáticos e implicações em áreas costeiras. Como exemplos de aplicações podem-se citar: elaboração de tábuas de maré; prevenção de desastres causados por fenômenos climáticos; melhoria na compreensão dos efeitos relacionados com a interação oceano/clima; e impactos da variação do nível do mar em regiões costeiras, como alagamento e erosão em áreas litorâneas e praias.

Nas últimas décadas as variações do nível do mar têm sido estimadas a partir de observações tomadas em marégrafos. De acordo com CAZENAVE (1999, p. 458), estas observações indicam que o NMM global tem sofrido uma elevação de aproximadamente $1,9 \text{ mm/ano} \pm 0,1 \text{ mm/ano}$. AARUP (2003) e WOODWORTH (2003) indicam que o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), em 2001, concluiu que houve uma elevação global no nível do mar de aproximadamente 10 a 20 cm nos últimos 100 anos, com uma projeção de 50 cm em média para os próximos 100 anos. Análises feitas com base em dados da Altimetria por Satélites da missão T/P indicam uma elevação de $2,99 \text{ mm/ano} \pm 0,1 \text{ mm/ano}$ para o período de 1993-2003 (CAZENAVE et al., 2003, p. 24; HOLGATE; WOODWORTH, 2004, p.1), sugerindo

uma aceleração na elevação do NMM.

Porém, existem três problemas relacionados com o uso de dados provenientes de marégrafos: o primeiro é a pobre distribuição geográfica de marégrafos com longo período de observações; o segundo deve-se ao fato da série temporal de dados não ser contínua pois provêm de diferentes equipamentos ao longo do tempo; o terceiro é o de que o marégrafo mede o nível do mar com relação à estrutura na qual se encontra instalado, ou seja, as observações podem estar contaminadas por movimentos da crosta (CAZENAVE, 1999, p. 458, CAZENAVE et al., 2003, p. 25) ou por alterações estruturais locais, que estariam sendo assumidas como variações do nível absoluto do mar. Assim, o estudo de variações temporais do nível do mar depende também do conhecimento acerca das deformações da crosta terrestre, em especial dos movimentos verticais e de como estes movimentos afetam as observações maregráficas.

As variações absolutas do nível do mar só podem ser determinadas se o marégrafo estiver vinculado a um SGR geocêntrico. A determinação e o monitoramento temporal da posição do marégrafo num SGR geocêntrico tornaram-se possíveis com o desenvolvimento das modernas técnicas de posicionamento geodésico, como o GPS, por exemplo. O monitoramento contínuo da posição geocêntrica do marégrafo ou a realização periódica de campanhas de rastreamento podem permitir a detecção de possíveis soerguimentos ou subsidências crustais. Uma vez monitoradas variações crustais e do nível do mar, é possível remover as variações verticais da posição do marégrafo das variações do NMM, de forma a estabelecer variações absolutas do NMM ou variações do NMM relacionadas com efeitos climáticos (IOC, 2002, p. 35).

Neste contexto existem diferentes projetos de pesquisa sendo desenvolvidos em todo o mundo, pode-se citar como exemplos:

- a) o projeto EVAMARIA no Atlântico Norte que tem como um de seus objetivos, a separação entre variações do nível do mar (a partir de dados

de marégrafos) e movimentos verticais da crosta usando GPS (BOSCH et al., 2002; HÄFELE et al., 2002);

- b) o projeto de cooperação entre Argentina e Alemanha SIRVEMAS (*Sistema de Referencia Vertical en Argentina por Mareógrafos y Altimetria Satelital*) que visa determinar alterações do nível do mar com marégrafos, GPS e Altimetria por Satélites, além de estimar a TNMM (NATALI et al., 2002), e
- c) o projeto TIGA (*GPS Tide Gauge Benchmark Monitoring – Pilot Project*), idealizado pelo *International GNSS Service* (IGS), visando estimar movimentos verticais em estações distribuídas globalmente, localizadas nas proximidades de marégrafos e ocupadas continuamente por receptores GPS. Outras informações podem ser encontradas no endereço eletrônico <http://adsc.gfz-potsdam.de/tiga/index_TIGA.html>.

Alterações globais no nível do mar, em escalas de tempo de décadas a séculos, são produzidas basicamente por dois tipos de processos: as variações de volume podem ser produzidas por variações na temperatura e salinidade dos oceanos, ou ainda as variações podem ser resultantes da troca de água com outros reservatórios como a atmosfera e geleiras continentais (CAZENAVE, 1999, p. 467, CAZENAVE et al., 2003, p. 23). AARUP (2003), também cita as alterações do regime costeiro e de rios e variações na circulação oceânica como exemplos de fatores que alteram o nível do mar.

Como exemplos de fatores que provocam movimentos da crosta podem-se citar: soerguimento pós-glacial; deformações de origem sísmica e tectônica; deformações associadas com erupções vulcânicas; subsidência de bacias sedimentares; deformações causadas por variações na carga atmosférica e na umidade do solo; subsidências de origem antrópica causadas pela extração de água subterrânea, gás, petróleo, etc. (CAZENAVE, 1999, p. 459; WOODWORTH, 2003).

Nas últimas décadas vários estudos têm sido desenvolvidos com base em dados da Altimetria por Satélites para avaliar alterações do nível do mar, entre outros estudos. A análise destes dados pode proporcionar o conhecimento da variação do nível do mar em escala global e regional. Uma das vantagens é a de que os dados provenientes das missões de Altimetria por Satélites, em princípio, não estão contaminados por possíveis movimentos da crosta.

4.3 ALTIMETRIA POR SATÉLITES – ASPECTOS GERAIS

A Altimetria por Satélites é uma técnica de sensoriamento remoto com importantes aplicações na Geodésia, Oceanografia e áreas correlatas. Tem sido uma ferramenta eficaz no monitoramento da superfície do mar, e mais recentemente no monitoramento de lagos, rios, camadas de gelo e até mesmo da superfície terrestre (BOSCH, 2005a). Os dados produzidos pelas diferentes missões são utilizados por diferentes grupos de pessoas envolvidas em atividades relacionadas com navegação; estudos relacionados com o equilíbrio, mecanismos e variabilidade do sistema oceânico; e em pesquisas climáticas, uma vez que o oceano é um elemento regulador fundamental para o sistema climático; entre inúmeras outras atividades. Mas esta técnica não se restringe apenas a melhorar os conhecimentos acerca da dinâmica dos oceanos, ela também tem impacto na Geodésia, contribuindo para o mapeamento da figura da Terra, na melhoria do conhecimento do campo da gravidade e assim na elaboração de modelos geopotenciais, no fornecimento de subsídios para a conexão de redes verticais, entre outros.

Esta técnica utiliza-se de um satélite como plataforma para um sensor (chamado de radar altímetro) que transmite à superfície terrestre, pulsos de energia na frequência das microondas e recebe o sinal de retorno após este ser refletido pela superfície. Geralmente o radar altímetro trabalha com uma frequência de aproximadamente 13,5 GHz (Banda Ku), o que corresponde a um comprimento de onda (λ) de aproximadamente 2,2 cm (SEEBER, 2003, p. 443). A Tabela 8 fornece

alguns detalhes típicos da Altimetria por Satélites.

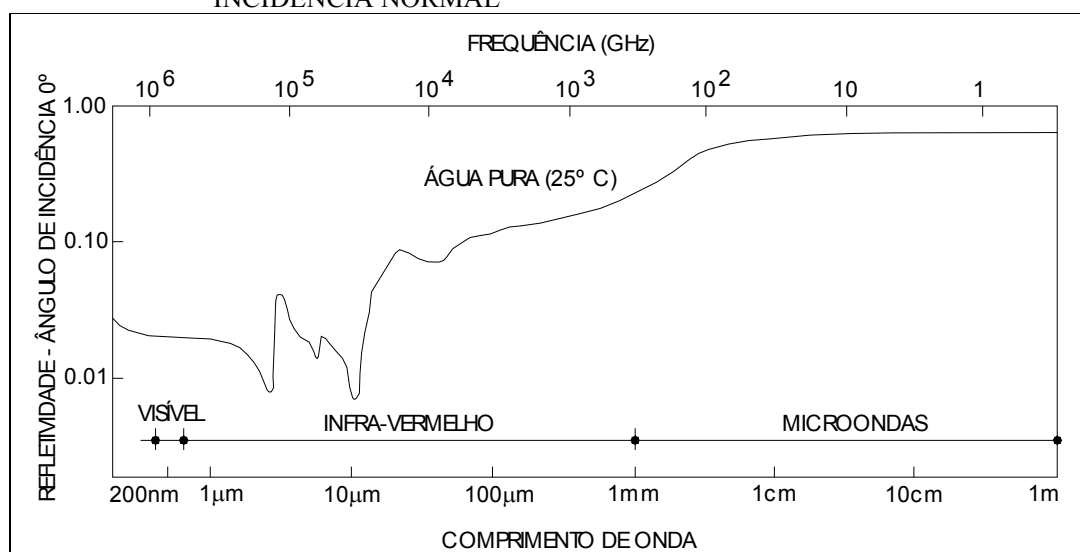
TABELA 8 – DETALHES TÍPICOS DA ALTIMETRIA POR SATÉLITES

PARÂMETRO	VALOR
Frequência	13,5 GHz
Duração do pulso	12,5 nano-segundos
Tempo do duplo percurso do sinal	5 mili segundos
Raio de abertura da antena	1,6°
Frequência de repetição do pulso	1000 Hz
Raio do <i>footprint</i>	2 a 11 km
Velocidade média ao longo da trilha	6,7 km/s

FONTE: BOSCH, 2005^a

Devido às propriedades reflectivas favoráveis da água, este método é especialmente adequado sobre os oceanos (SEEBER, 2003, p. 443). O sinal de retorno para ângulos de incidência pequenos depende da refletividade da água do mar e da frequência utilizada pelo radar altímetro. A refletividade da água pura (a uma temperatura de 25° C, com um ângulo de incidência normal, considerando uma superfície lisa) em função da frequência e do correspondente comprimento de onda da radiação eletromagnética, é mostrada na Figura 17 (CHELTON et al., 2001, p. 6). Nesta figura é possível observar que a refletividade da água é bastante alta para as frequências localizadas na faixa das microondas.

FIGURA 17 – REFLETIVIDADE DA ÁGUA PURA À 25° C PARA UM ÂNGULO DE INCIDÊNCIA NORMAL



FONTE: adaptado de CHELTON et al., 2001, p. 6

O sinal de retorno é amostrado e ajustado a uma resposta teórica, com a determinação de três parâmetros fundamentais (BOSCH, 2005a):

- a) tempo de percurso do sinal, do qual são derivados valores da altitude do nível do mar com relação a um elipsóide de referência;
- b) forma do sinal de retorno, do qual são derivados valores da altura significativa das ondas,
- c) potência do sinal de retorno, do qual são derivados valores para o coeficiente de espalhamento e velocidade do vento, uma vez que a rugosidade da superfície do mar é altamente correlacionada com os ventos (CHELTON et al., 2001, p. 3).

É importante ressaltar que a medida do radar não é uma medida pontual, mas sim um valor médio do chamado *footprint* que é a parte da superfície do mar da qual o sensor recebe o sinal de retorno após sua reflexão (BOSCH, 2003, p. 4). Porém, nas regiões costeiras, quando o satélite se aproxima da linha de costa, existe a probabilidade de que o sinal refletido pela superfície do mar seja contaminado por ruídos derivados do estado da superfície do mar, que tende a ser mais rugosa nesta região do que em mar aberto, e pela superfície da Terra que reflete de forma especular uma parte do sinal emitido pelo sensor. Como exemplo pode-se citar o estudo desenvolvido por DENG et al. (2002), que mostrou que na costa australiana são verificados sinais contaminados a uma distância de 8 a 10 km da linha de costa. Os autores recomendam que as observações contaminadas devem ser detectadas e corrigidas antes de serem incluídas em estudos geodésicos e oceanográficos em áreas costeiras. Uma forma de reduzir estes erros seria o reproprocessamento dos dados brutos usando um algoritmo de *retracking* (DENG et al., 2002, p. 543).

A altitude (R_s) do satélite sobre a superfície instantânea do mar é estimada pelo tempo de percurso do sinal emitido pelo radar (Δt):

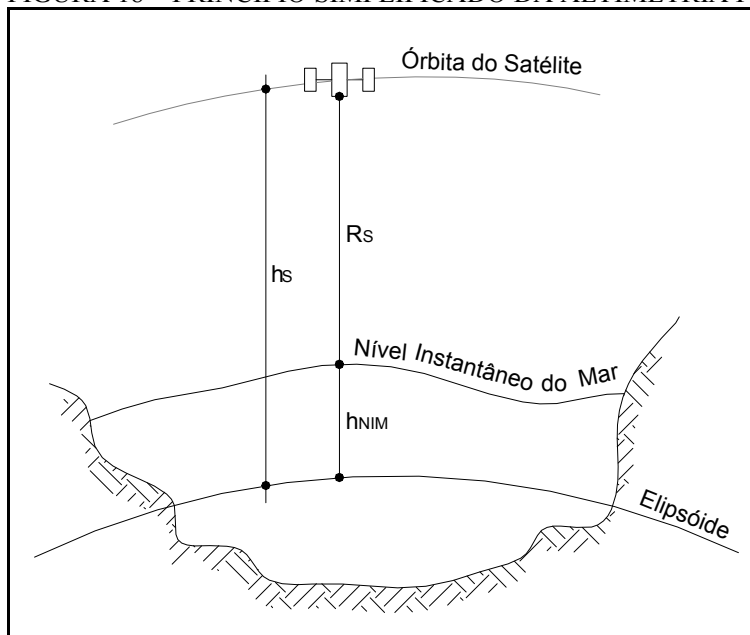
$$R_s = c \frac{\Delta t}{2} \quad (6)$$

Nesta equação c é a velocidade de propagação da luz no vácuo (CHELTON et al., 2001, p. 1; SEEBER, 2003, p. 443). Detalhes quanto a estimativa do tempo de percurso do sinal do radar (Δt) podem ser vistos em CHELTON et al. (2001).

Uma vez que a órbita do satélite é conhecida, a altitude do satélite sobre um elipsóide de referência (h_s) também é conhecida (Figura 18), pode-se então determinar a altitude da superfície instantânea do mar em relação ao elipsóide de referência (h_{NIM}), pela expressão:

$$h_{NIM} = h_s - R_s \quad (7)$$

FIGURA 18 – PRINCÍPIO SIMPLIFICADO DA ALTIMETRIA POR SATÉLITES



FONTE: adaptado de SEEBER, 2003, p. 144

Tanto h_s quanto R_s contêm erros; logo a conversão das medidas do altímetro em altitudes da superfície do mar (SSH – do inglês *Sea Surface Heights*) requer uma série de correções, como por exemplo: influências instrumentais e atmosféricas, estado

da superfície do oceano (devido às marés, ondas, vento, entre outros) e correções das órbitas dos satélites altímetros, entre outras (SEEBER, 2003, p. 453).

As principais influências instrumentais referem-se a distância entre o centro de fase da antena do radar e o centro de massa do satélite e erros no sistema de medida. Os erros na propagação do sinal devem-se à influência da ionosfera e da troposfera na velocidade de propagação do sinal (SEEBER, 2003, p. 457). Os erros nas órbitas representam a diferença entre a órbita real do satélite e a órbita calculada e são causados principalmente: pela limitação de resolução e precisão do modelo do campo da gravidade terrestre usado no cálculo da órbita; erros nas coordenadas das estações de rastreamento; erros e limitações dos sistemas de rastreamento (Doppler, laser), entre outros (SEEBER, 2003, p. 455). Detalhes quanto aos erros que influenciam as medidas do radar altímetro bem como suas magnitudes e métodos para sua estimativa podem ser encontrados em CHELTON et al. (2001) e SEEBER (2003).

A distância corrigida (R) entre o satélite e o NMM é expressa por (CHELTON et al., 2001, p. 1):

$$R = R_s - \sum_j \Delta R_j \quad (8)$$

O somatório envolve as diversas correções necessárias. Nesta convenção, todas as correções são positivas, uma vez que o termo (R_s) da equação (8) tende a superestimar a distância (CHELTON et al., 2001, p. 1). Isto se deve ao fato de que a distância R_s é calculada assumindo que o sinal do radar propaga-se com a velocidade da luz, porém na realidade a velocidade de propagação do sinal na atmosfera se vê reduzida, resultando numa superestimação da distância.

Assim, a altitude da superfície do mar em relação ao elipsóide de referência (SSH) é derivada da diferença entre a componente radial da órbita (h_s) e a distância corrigida (R) entre o satélite e o NMM:

$$SSH = h_s - R \quad (9)$$

A SSH pode ser dividida numa componente estacionária e numa componente variável com o tempo. A componente estacionária pode ser derivada de um modelo global do NMM. A componente variável no tempo é derivada da SSH instantânea com relação a um modelo global do NMM. Esta componente variável é denominada na literatura internacional de *Sea Surface Height Anomaly* (SSHA) ou *Sea Level Anomaly* (SLA).

A técnica da altimetria satelital foi testada pela primeira vez durante as missões SKYLAB, entre os anos de 1973 e 1974, sendo que a precisão conseguida com o altímetro foi de 1 a 2 m (SEEBER, 2003, p. 444). Posteriormente, novas e melhoradas versões de altímetros voaram com os satélites GEOS-3 (1975), SEASAT-1 (1978), GEOSAT (1985), ERS-1 (1991), ERS-2 (1995), T/P (1992), Jason-1 (2001), entre outros, sendo que em muitos destes satélites a precisão do altímetro é melhor do que 3 cm. A Tabela 9 apresenta as características de alguns satélites altímetros.

TABELA 9 – CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS SATÉLITES ALTÍMETROS

MISSÃO						continua
	SKYLAB	GEOS-3	SEASAT-1	GEOSAT	ERS-1	
Lançamento (mês / ano)	1973	1975	1978	03/1985	07/1991	
Término da missão	1973	1978	1978	09/1989	03/1996	
Duração (meses)	Dias	44	4	54	57	
Altitude média (km)	435	840	800	800,6	781,1	
Inclinação (°)		115	108	108	98,54	
Área de recobrimento em latitude (°)		± 65	± 72	± 72	± 81,46	
Ciclo orbital (dias)				17,05	⁽²⁾ 3/35/168	
Separação entre as linhas de observação (km) ⁽¹⁾				165	929/80/16	
Frequência (GHz)				13,5	13,5	
Ruído do altímetro (cm)	> 100	60	10	7	5	
Radiômetro / Número de frequências			Sim	Não	Sim/2	
Determinação da órbita		SLR, Doppler	Doppler	Doppler	⁽³⁾ SLR, (PRARE)	
Operado por				US-NAVY	ESA	

MISSÃO	T/P	conclusão			
		ERS-2	GFO	JASON-1	ENVISAT-1
Lançamento (mês / ano)	09/1992	04/1995	02/1998	12/2001	03/2002
Término da missão	10/2005	em operação	em operação	em operação	em operação
Duração (meses)		101			
Altitude média (km)	1336	781,1	784,2	1336	781,1
Inclinação (°)	66,04	98,54	108,04	66,04	98,55
Área de recobrimento em latitude (°)	± 66,04	± 81,46	± 71,96	± 66,04	± 81,45
Ciclo orbital (dias)	9,9156	35	17	9,9156	35
Separação entre as linhas de observação (km) ⁽¹⁾	315	80	165	315	80
Frequência (GHz)	13,6 / 5,3	13,5	13,5	13,575 / 5,3	13,575 / 3,2
Ruído do altímetro (cm)	2	3	3,5	1,5	2
Radiômetro / Número de frequências	Sim/2	Sim/3	Sim/2	Sim/3	Sim/2
Determinação da órbita	SLR, GPS, DORIS	SLR, PRARE	⁽³⁾ SLR, (GPS)	SLR, GPS, DORIS	SLR, DORIS
Operado por	CNES e NASA	ESA	US-NAVY	CNES e NASA	ESA

FONTE: adaptado de BOSCH, 2002b, p. 61; SEEBER, 2003, p. 450

(1) A indicação de separação entre linhas de observação refere-se a separação, no Equador, entre as projeções do plano orbital do satélite sobre a superfície terrestre.

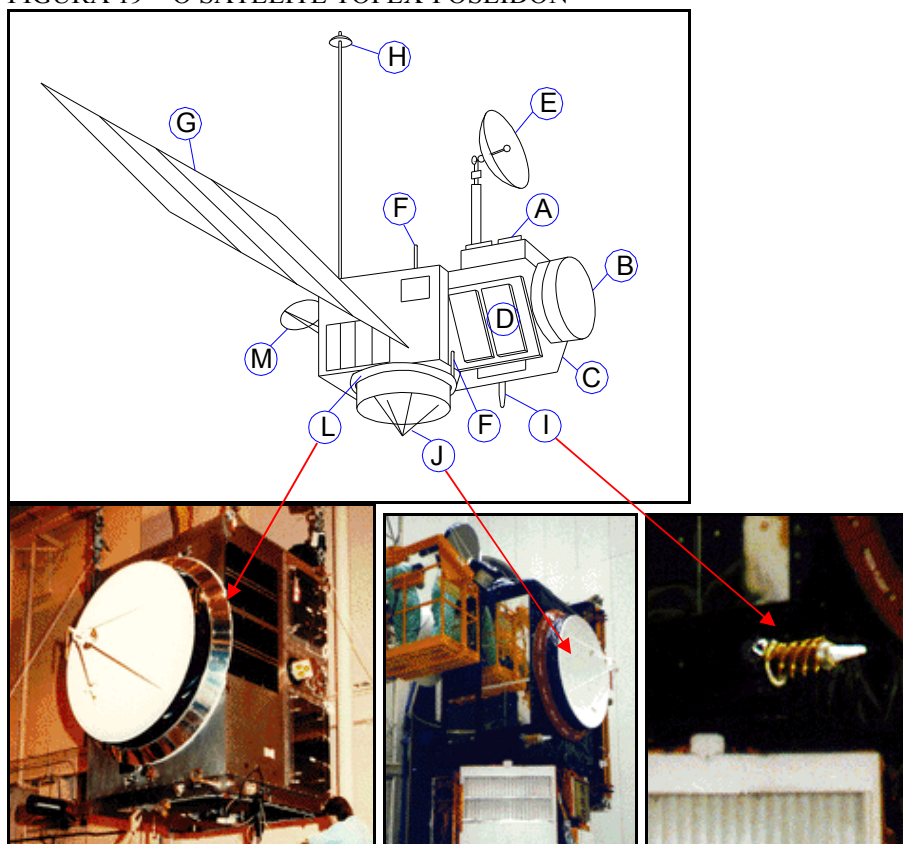
(2) Em algumas missões a duração do ciclo orbital e em consequência a separação entre as linhas de observação foram alteradas diversas vezes de maneira a satisfazer necessidades multidisciplinares das missões.

(3) As técnicas de determinação de órbita dos satélites altímetros que estão entre parêntesis não foram utilizadas durante todo o período das missões devido às falhas em seus sistemas.

A missão T/P foi conduzida pela agência espacial norte americana (NASA - *National Aeronautics and Space Administration*), e pela agência espacial francesa (CNES – *Centre National d’Etudes Spatiales*). Lançado em 10 de agosto de 1992, inclui dois altímetros, o primeiro instrumento é um altímetro de duas frequências, operando a 13,6 GHz (Banda Ku) e 5,3 GHz (Banda C), o segundo é um altímetro de frequência simples que opera a 13,65 GHz (FU et al., 1994, p. 24369-24381; SEEBER, 2003, p. 447, 448). Este satélite (Figura 19) coletou dados desde 23 de setembro de 1992 até o início de outubro de 2005, a uma altitude de 1336 km com inclinação de 66°, realizando medidas da superfície do mar sobre a mesma trajetória (linha) ± 1 km a cada 9,9156 dias, nominalmente referido como 10 dias. Este ciclo orbital resulta numa separação, entre duas passagens, de 315 km no Equador. Foi projetado para operar por pelo menos 3 anos com sobrevida de mais 3, mas possuiu

mais de 13 anos de vida útil (FU et al., 1994, p. 24369 – 24381). Uma revisão completa com resultados referentes ao início da missão T/P pode ser encontrada no *Journal of Geophysical Research*, V. 99, N° C12 de dezembro de 1994.

FIGURA 19 – O SATÉLITE TOPEX-POSEIDON



FONTE: adaptado de FU et al., 1994, p. 24370

NOTA: As letras indicam os principais módulos e equipamentos a bordo do satélite. A - Módulo de controle da atitude: controla a atitude do satélite. B - Módulo de propulsão: realiza manobras para ajuste da órbita. C - Módulo de energia: fornece energia aos sistemas a partir do painel solar e de baterias. D - Módulo de comando: controla os subsistemas e sensores do satélite. E e F - Antena de alto ganho e antenas omnidirecionais (nadir e zênite): atuam na telecomunicação para envio e recebimento dos dados. G - Painel solar. H - Antena GPS: para determinação precisa da órbita. I - Antena DORIS: para determinação precisa da órbita. J - Antena do altímetro. L - Retrorefletor laser: usado em conjunto com uma rede de estações SLR para determinação precisa da órbita. M - Radiômetro de microondas: usado para estimar a quantidade de vapor d'água na atmosfera.

Com o lançamento do Jason-1, ambos os satélites (T/P e Jason-1) sobrevoavam as mesmas trilhas. O termo trilha neste trabalho é adotado como uma tradução do termo inglês *ground track* e significa a projeção da órbita do satélite na superfície da Terra, onde o satélite realiza as observações. Em 15 de agosto de 2002

(durante o ciclo 365, passe 111) o satélite T/P começou uma fase de desvio da rota (do inglês *drift phase*) que durou até 16 de setembro de 2002 (ciclo 368, passe 171). Os dados referentes ao ciclo 368, passe 172 e posteriores, referem-se às novas trilhas do T/P que estão localizadas entre as trilhas do satélite Jason-1, permitindo o dobro da cobertura espacial. Esta nova fase da missão é denominada de T/P *Extended Mission* (T/P EM).

Os dados do satélite T/P são processados pela NASA em Pasadena na Califórnia e pelo CNES em Toulouse na França. Estes dados são disponibilizados à comunidade científica internacional via uma rede de distribuição, como exemplo o *Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data* (AVISO) do CNES (no endereço eletrônico www.aviso.oceanobs.com). Nestes casos, os dados brutos, obtidos pelo radar, são reamostrados para 1 Hz, o que corresponde a aproximadamente uma observação a cada 7 km ao longo da trilha do satélite (AVISO, 1998, p. 5).

A determinação da órbita dos satélites altímetros consiste na determinação da posição tridimensional do centro de massa do satélite a intervalos regulares de tempo, com relação a um sistema de referência. Deve-se destacar que as órbitas das missões mais antigas puderam ser melhoradas retroativamente, via ajustamentos posteriores usando valores melhores determinados de parâmetros físicos, principalmente do campo da gravidade e também da melhoria na definição e realização de referenciais específicos. De forma geral, diversas aplicações da Altimetria por Satélites têm sido beneficiadas por melhorias a posteriori das séries temporais adquiridas. Na Tabela 10 apresentam-se as precisões da medida dos altímetros, as precisões orbitais na época de cada missão e as determinadas retroativamente para os principais satélites altímetros.

TABELA 10 – PRECISÕES DE ALGUMAS MISSÕES ALTIMÉTRICAS

SATÉLITE	PERÍODO DA MISSÃO	PRECISÃO DA MEDIDA (cm)	PRECISÃO DA ÓRBITA (cm)	PRECISÃO ATUAL DA ÓRBITA (cm)
GEOS-3	04/75 a 12/78	25	≈ 500	
SEASAT	07/78 a 10/78	5	≈ 100	20
GEOSAT	03/85 a 12/89	4	30 – 50	10 a 20
ERS-1	07/91 a 05/96	3	8 – 15	5
TOPEX/POSEIDON	10/92 até o presente	2	2 – 3	
ERS-2	08/95 até o presente	3	7 - 8	5 ou melhor

FONTE: adaptado de CHELTON et al., 2001, p. 2

Observações precisas do movimento do satélite são necessárias para determinação precisa de sua órbita. Vários tipos de sistemas de rastreo são empregados para obter essas observações, cada um com diferentes características de medida, cobertura temporal e espacial, e níveis de precisão. Os principais sistemas de rastreo que dão suporte às missões da Altimetria por Satélites são apresentados na Tabela 11 (CHELTON et al., 2001, p. 73).

TABELA 11 – SISTEMAS DE RASTREIO DE SATÉLITES ALTÍMETROS E PRECISÃO APROXIMADA

TÉCNICA	MEDIDA	PRECISÃO	MISSÕES
SLR	Distância	0,5 – 5 cm	Todas menos GEOSAT
DORIS	Taxa de variação da distância	0,5 mm/s	T/P, JASON-1, ENVISAT-1
PRARE ⁽¹⁾	Distância, Taxa de variação da distância	2,5 cm ; 0,25 mm/s	ERS-2
GPS	Fase	0,2 – 0,5 cm	T/P, JASON-1
TRANET/OPNET	Taxa de variação da distância	2 – 10 mm/s	SEASAT, GEOSAT
TDRSS ⁽²⁾	Taxa de variação da distância	0,3 mm/s	T/P
ALTÍMETRO	Altitude nos pontos de <i>crossover</i>	5 cm	Todas

FONTE: adaptado de CHELTON et al. ,2001, p.73

(1) O rastreo com o sistema PRARE (*Precise Range And Range-rate Equipment*) consiste na emissão de dois sinais com diferentes frequências do satélite para uma estação terrestre, um desses sinais é retransmitido ao satélite com a frequência alterada e o tempo de percurso do sinal é determinado por um processo de correlação fornecendo a distância entre o satélite e a estação terrestre. A velocidade relativa entre o satélite e a estação terrestre também pode ser estimada (SEEBER, 2003, p. 155).

(2) O TDRSS consiste num conjunto de satélites que fornecem suporte à comunicação e rastreo de outros satélites (LEMOINE et al., 1998, p. 6-60). Segundo CHELTON et al. (2001, p. 73), não é regularmente usado para determinação precisa da órbita de satélites altímetros. Maiores detalhes ver LEMOINE et al. (1998).

Para a maior parte dos satélites um conjunto de retro-refletores laser situado no satélite suporta o rastreo com o sistema *Satellite Laser Ranging* (SLR). Para o GEOSAT, o rastreo foi realizado com a Rede TRANET (*U.S. Defense Mapping*

Agency's Transit Network) e da Rede OPNET (*U.S. Navy Operational Tracking Network*). O satélite T/P foi o primeiro a carregar um receptor DORIS (*Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite*), bem como um receptor GPS experimental. Os dados provenientes da Altimetria por Satélites nos pontos de cruzamento entre uma órbita ascendente e outra descendente (chamados pontos de *crossover*) podem ser usados como suporte à determinação da órbita nos casos onde o rastreamento for inadequado.

Dados das missões de altimetria por radar bem como produtos derivados estão disponíveis aos usuários por meio de centros de dados sob o controle das agências espaciais responsáveis, como ESA (*European Space Agency*), CNES e NASA. Vantagens podem ser obtidas com o uso de dados de duas ou mais missões com diferentes padrões orbitais, como o ERS e T/P, ENVISAT e JASON-1 (BOSCH, 2002b, p. 60; SEEBER, 2003, p. 454).

Alguns desenvolvimentos visando à harmonização dos dados de diferentes missões podem ser citados, como o AVISO, por exemplo. Esta harmonização tem por objetivo a resolução de problemas quanto a formatação dos dados das diferentes missões. Este esforço visa aproveitar todas as vantagens das missões altimétricas e sinergias entre missões com diferentes amostragens espaço-temporais (BOSCH, 2000, p. 59). Vale a pena ressaltar que desde 2003, existe um grupo de pesquisadores trabalhando no sentido de avaliar a possibilidade e necessidade de um serviço internacional coordenado voltado à Altimetria por Satélites (*International Altimeter Service - IAS*), como indicado em BOSCH (2005b).

5 ACOMPANHAMENTO DO DATUM VERTICAL BRASILEIRO - CONTROLE VERTICAL DAS RRNN E DA POSIÇÃO GEOCÊNTRICA DO MARÉGRAFO

5.1 ASPECTOS GERAIS

A referência vertical do marégrafo é materializada por um conjunto de marcos físicos, as RRNN. Estas possuem papel de extrema importância, pois auxiliam na reconstrução de longas séries temporais de dados do nível do mar, mesmo que partes das séries sejam derivadas de diferentes marégrafos instalados num mesmo local ao longo do tempo. Assim, as observações maregráficas de um mesmo local provenientes de diferentes equipamentos podem ser reduzidas a uma única referência vertical se as RRNN forem conectadas aos diferentes marégrafos ou sensores instalados ao longo do tempo.

As RRNN, implantadas nas proximidades do marégrafo e conectadas a ele, são a única garantia de coerência das observações a longo período, pois dificilmente têm-se observações de nível do mar derivadas de um único instrumento durante todo o período de operação de qualquer estação maregráfica existente. A reconstrução das séries temporais auxilia na estimativa das variações temporais do nível do mar.

A determinação das coordenadas geocêntricas e velocidades de uma estação nas proximidades do marégrafo de forma que possa ser relacionada a este por nivelamento geométrico, permite definir o NMM num SGR geocêntrico. Como consequência, obtém-se valores absolutos do nível do mar e não relativos à estrutura na qual o marégrafo encontra-se fixo. Isto possibilita, também, a determinação do nível do mar no mesmo sistema de referência usado pela Altimetria por Satélites, podendo, com isso, ser diretamente comparado aos valores de nível do mar obtidos por esta técnica.

A UFPR já realizou no porto de Imbituba diferentes campanhas de levantamentos geodésicos, as duas primeiras em 1997 e 2000 conforme será visto na seqüência. No contexto deste trabalho, buscando dar continuidade a esses levantamentos e visando realizar o controle vertical das RRNN e da posição geocêntrica do marégrafo foram realizadas duas novas campanhas na área do porto durante o ano de 2005. A primeira delas foi conduzida no período de 9 a 19 de fevereiro de 2005, os principais objetivos foram:

- a) verificação dos marégrafos (de bóia e digital);
- b) rastreamento GPS contínuo na estação IMBI (Imbituba - também denominada de SAT 91854), usada para materializar a posição geocêntrica do marégrafo e pertencente à Rede SIRGAS;
- c) nivelamento geométrico das RRNN localizadas na área do porto.

A segunda campanha foi realizada de 7 a 16 de julho de 2005, quando foram re-niveladas algumas seções e a estação IMBI foi reocupada com GPS.

5.2 ÁREA DE ESTUDO E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

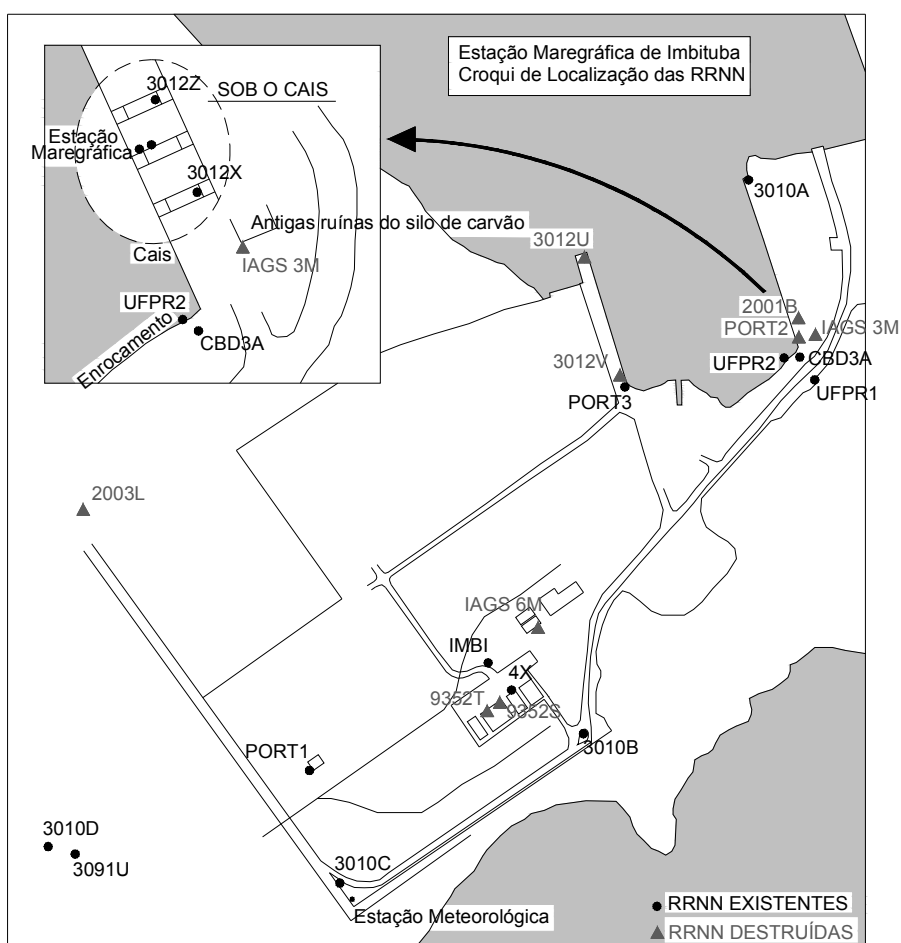
Os levantamentos foram realizados na área do porto de Imbituba (SC), localizado aproximadamente a 390 km de Curitiba e 90 km de Florianópolis. A Figura 20 indica a localização das RRNN situadas dentro da área do porto, bem como sua nomenclatura. Os pontos em preto indicam as RRNN existentes (situação verificada durante a campanha de julho de 2005) e os triângulos em cinza indicam algumas das que já foram destruídas.

Convém salientar que durante a etapa de verificação dos nivelamentos já realizados no porto, observou-se que maioria das RRNN possui mais de um nome de identificação, o que pode acarretar alguma dúvida, assim as denominações encontradas para as RRNN do porto encontram-se na Tabela 12.

TABELA 12 – NOMENCLATURA DAS RRNN DO PORTO

NOME INDICADO NA FIGURA 22	OUTRAS DENOMINAÇÕES
3012U	CBD40
PORT2	9302R
IAGS 3M	3M, M3, 9302X
CBD3A	3A, 9352M
3012V	CBD30, 9352N
PORT3	9302S
IAGS 6M	6M, M6, 9311C
IMBI	SAT 91854, 3087J
9352T	SACS2
9352S	CDI3
PORT1	3012T, 9302T

FIGURA 20 - CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DAS RRNN NA ÁREA DO PORTO DE IMBITUBA



As operações de nivelamento geométrico foram realizadas com equipamentos de alta precisão, pertencentes ao LaIG, vinculado ao Departamento de Geomática da Universidade Federal do Paraná, dentre os quais:

- a) nível ótico Wild N3 com placa plano paralela que permite o ajuste micrométrico das leituras e com precisão nominal de 0,25 mm/km;
- b) duas miras verticais de ínvar centimétricas com 3m de comprimento;
- c) nível eletrônico Leica NA 3003 com precisão nominal de 0,4 mm/km;
- d) duas miras verticais de ínvar graduadas com código de barras;
- e) duas sapatas;
- f) quatro balizas;
- g) tripé;
- h) equipamentos auxiliares tais como guarda-sol, cones de sinalização e rádios.

O rastreo GPS contou com os seguintes equipamentos:

- a) receptor de dupla frequência Ashtec Z-XII com antena geodésica pertencente ao Laboratório de Geodésia Espacial (LAGE) da UFPR, na campanha de fevereiro de 2005;
- b) receptor de dupla frequência Trimble 4000 SSI, também pertencente ao LAGE, na campanha de julho de 2005;
- c) *notebook* para descarga automática dos dados;
- d) equipamentos auxiliares tais como cabos, baterias e *nobreak*.

5.3 PRECISÕES REQUERIDAS

De acordo com IOC (2002, p. 37), estudos relacionados com o monitoramento absoluto do nível do mar e da área ao redor do marégrafo exigem determinadas precisões no rastreo GPS e discrepâncias admissíveis no fechamento de linhas de nivelamento. Estas precisões e discrepâncias estão indicadas na Tabela 13. É importante destacar que existe uma série de dificuldades na obtenção de dados que satisfaçam a tais precisões, principalmente quando são utilizados dados coletados ao longo do tempo e cuja finalidade não era o monitoramento do nível do mar para fins

geodésicos.

TABELA 13 – VALORES DE DISCREPÂNCIAS ADMISSÍVEIS NO FECHAMENTO DE LINHAS DE NIVELAMENTO E PRECISÕES SUGERIDAS NO POSICIONAMENTO GPS NA REGIÃO DO MARÉGRAFO

TÉCNICA	DISTÂNCIA / PRECISÃO ou DISCREPÂNCIA
Nivelamento local	0 a 1 km / < 1 mm
Nivelamento em área maior	1 a 10 km / < 1 cm
GPS em estações nas proximidades do marégrafo	< 1 cm

FONTE: adaptado de IOC, 2002, p. 37

No Brasil, segundo as Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos (PR 22/83), a precisão preconizada na execução de nivelamentos de alta precisão pode ser controlada pelas diferenças entre nivelamento e contranivelamento, cujo valor limite é de $3mm\sqrt{k}$, onde k é a média da distância nivelada e contra nivelada em quilômetros. A precisão adotada nas operações de nivelamento no Brasil não atende a precisão sugerida para a realização de nivelamento na região do marégrafo, como indicado na Tabela 13, o que prejudica o uso de dados históricos de nivelamento.

De acordo com MEDEIROS (1999, p. 2), existem algumas variáveis que interferem na melhoria da precisão da rede como: condições micro-climáticas ao longo das linhas de visada; efeitos geodinâmicos devido principalmente às marés terrestres e efeitos indiretos do oceano; instabilidade do solo; instabilidade dos apoios intermediários (sapatas); procedimentos adotados nas operações de campo; e controle instrumental. MEDEIROS (1999) recomenda que para atender a um erro de fechamento melhor do que $1mm\sqrt{k}$ é necessário: verificar, retificar e calibrar todo o equipamento; realizar o nivelamento em horários específicos visando minimizar os efeitos atmosféricos; diminuir o comprimento das linhas de visada; diminuir a diferença das distâncias entre visadas de ré e vante; tomar cuidados adicionais na movimentação das sapatas nas estações intermediárias; entre outros.

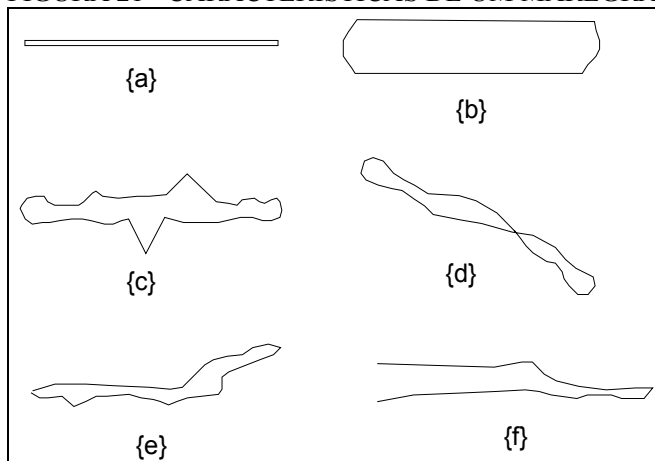
Quanto ao controle vertical da posição do marégrafo por meio de técnicas espaciais; WOODWORTH (1997, p. 5), indica que a precisão necessária na determinação da taxa de variação dos movimentos verticais visando o

desenvolvimento de estudos relacionados com o nível do mar é de 1 a 2 mm/ano em intervalos de 5 anos e 0,3 a 0,5 mm/ano em intervalos de poucas décadas. É claro que existe uma série de aspectos relacionados com a precisão e a repetibilidade dos resultados, tais como: equipamentos utilizados; metodologia e *softwares* empregados no processamento; receptores permanentes ou várias campanhas, sistema de referência, entre outros (DALAZOANA et al., 2005).

BEVIS et al. (2002, p. 88), destacam que o posicionamento de um marégrafo com uma acurácia vertical (não apenas precisão) de 1 cm com respeito a um SGR global é uma tarefa difícil, mas viável com o uso de dados de vários anos de uma estação GPS contínua. Destacam, também, que a estimativa da velocidade vertical do marégrafo com uma precisão melhor do que 1 mm/ano, mesmo com uma década de dados GPS contínuos, ainda é um problema desafiador. Porém, as técnicas de processamento e as redes de referência melhoram a cada dia. Assim, de acordo com BEVIS et al., 2002, p. 98, os dados coletados hoje podem ser re-processados no futuro, fornecendo resultados melhores.

5.4 VERIFICAÇÃO DOS MARÉGRAFOS – TESTE *VAN DE CASTEELE*

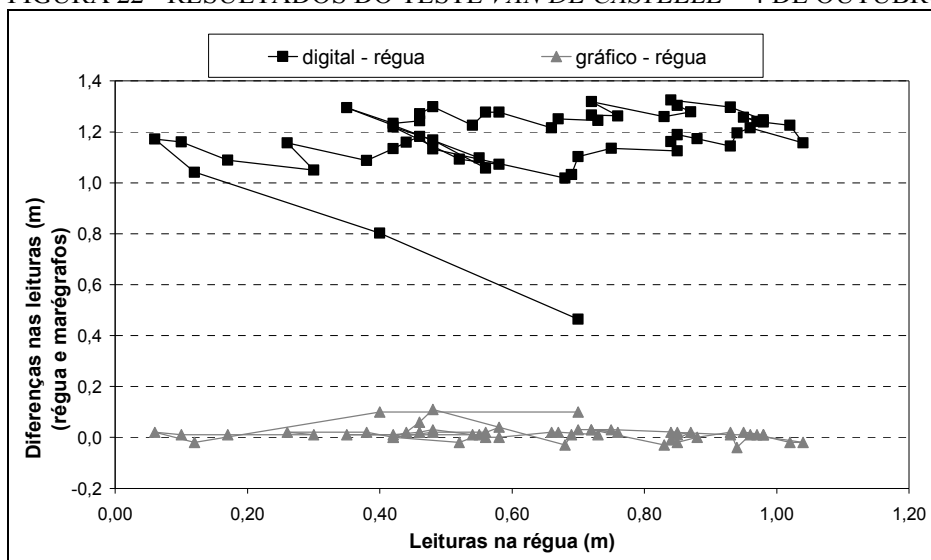
O teste *Van de Castele* foi desenvolvido por *Charles de Van de Castele*, em 1962, para verificar a qualidade de um marégrafo de maneira experimental. O teste apóia-se na comparação, durante um ciclo completo de maré, entre leituras realizadas simultaneamente a cada quinze minutos no marégrafo e em um dispositivo de medida independente, como a régua maregráfica por exemplo (SHOM, 2004). A IOC (1985, p. 26) indica que a diferença entre as duas leituras (régua – marégrafo) deve permanecer constante no tempo para o caso do marégrafo estar funcionando adequadamente. Da análise da plotagem do diagrama com os resultados é possível detectar certas imperfeições e falhas do marégrafo. A Figura 21 indica algumas situações possíveis quando da plotagem do diagrama.

FIGURA 21 - CARACTERÍSTICAS DE UM MARÉGRAFO NO TESTE *VAN DE CASTEELE*

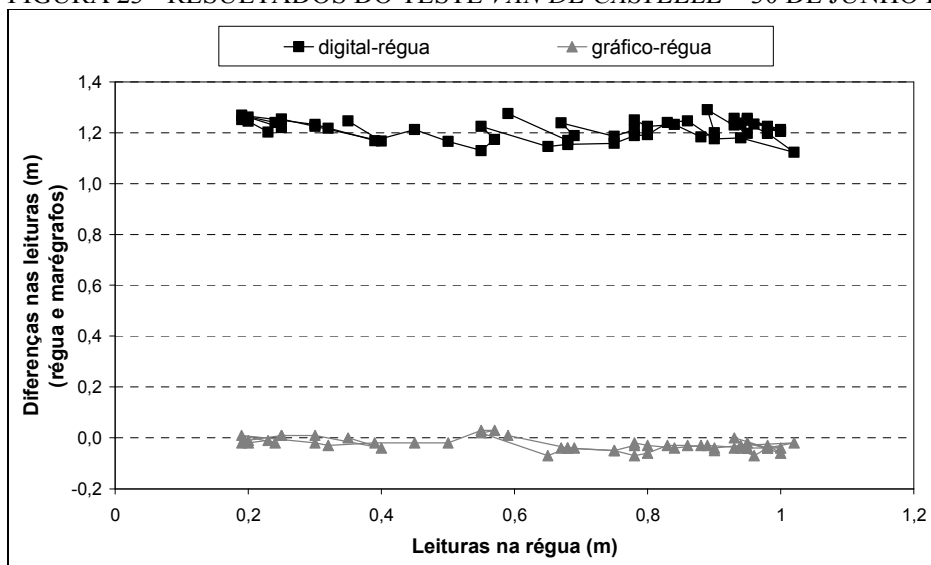
FONTE: adaptado de IOC, 1985, p. 28

NOTA: A figura apresenta as seguintes situações: {a} indica que o marégrafo está perfeito; {b} indica um atraso na resposta do marégrafo, este atraso pode estar sendo causado por problemas no mecanismo de medida ou por obstruções no orifício do tubo do sensor ou mau dimensionamento; {c} fricção mecânica no mecanismo do marégrafo ou da bóia no tubo; {d} erro de escala que pode estar sendo causado por um mau dimensionamento das engrenagens, do papel registrador, do diâmetro do fio da bóia, entre outros; {e} erro de escala em parte do registro; {f} deslizamentos ou saltos no mecanismo do marégrafo.

Além disso, o teste *Van de Castele* permite determinar a relação entre os diferentes referenciais instrumentais (“zeros” da régua e dos marégrafos) (DALAZOANA et al., 2005), uma vez que as diferenças entre as leituras de diferentes instrumentos fornecem também a diferença na referência destas leituras. Este teste já foi realizado pela equipe de maregrafia do IBGE em Imbituba em 4 de outubro de 2002 e em 30 de junho de 2003, e por ocasião da primeira campanha de 2005 em 10 de fevereiro. Os testes foram sempre realizados nos dias ou próximos dos dias de mudança na fase da lua, na Lua Nova ou na Lua Cheia, quando ocorrem as chamadas marés de sizígia, onde as preamares são muito altas e as baixa-mares são muito baixas. Nestas situações ocorrem as maiores variações da maré (diferenças entre as alturas de consecutivas marés altas e baixas), facilitando a realização das leituras. As Figuras 22 e 23 mostram os resultados obtidos nos testes realizados em outubro de 2002 e junho de 2003, respectivamente.

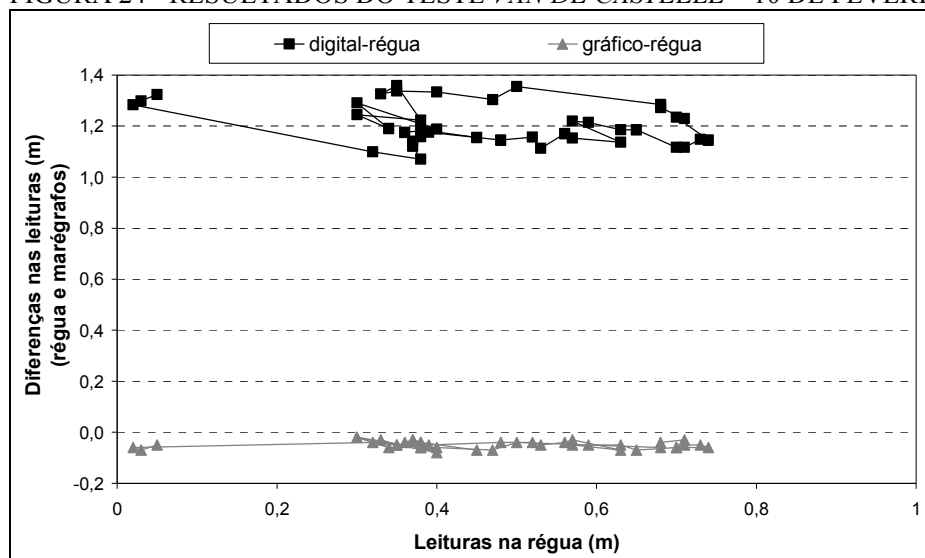
FIGURA 22 - RESULTADOS DO TESTE *VAN DE CASTEELE* – 4 DE OUTUBRO DE 2002

NOTA: Dados cedidos por R. T. LUZ (IBGE).

FIGURA 23 - RESULTADOS DO TESTE *VAN DE CASTEELE* – 30 DE JUNHO DE 2003

NOTA: Dados cedidos por R. T. LUZ (IBGE).

A Figura 24 mostra os resultados obtidos em fevereiro de 2005, onde é possível observar a boa qualidade do marégrafo convencional e um problema com o marégrafo digital. Este problema pode estar relacionado com uma possível obstrução do tubo de proteção dos sensores, fato este verificado no local.

FIGURA 24 - RESULTADOS DO TESTE *VAN DE CASTEELE* – 10 DE FEVEREIRO DE 2005

Dos resultados obtidos com o teste realizado em 2003, uma vez que foi o teste que indicou a melhor situação para o marégrafo digital, foi estabelecida a relação entre os diferentes referenciais instrumentais, ou seja, foi estabelecida a diferença entre o “zero” da régua maregráfica e o “zero” de cada um dos marégrafos. O conhecimento acerca da diferença entre a referência de cada instrumento auxilia na interligação das séries temporais de observação do nível do mar derivadas de cada instrumento. Este tópico será abordado com maior detalhamento no Capítulo 6.

5.5 CONTROLE VERTICAL DAS RRNN

As altitudes das RRNN localizadas na região do marégrafo definem a referência da rede vertical, proporcionando um possível resgate do Datum vertical (“referência zero”), materializado pelo NMM de um determinado período reduzido a uma determinada época. O conjunto de RRNN implantadas na área do marégrafo tem dois objetivos principais (BEVIS et al., 2002, p. 90):

- a) vincular o nível do mar ao solo firme, e
- b) referenciar os registros de nível do mar à um sistema de referência externo ao marégrafo, uma vez que o marégrafo pode ser destruído

durante uma tempestade ou acidente no porto, ou ser substituído por outro marégrafo devido ao desenvolvimento do porto, por exemplo.

O monitoramento das RRNN na região, por meio de nivelamento geométrico de precisão, permite a verificação da estabilidade das mesmas. A IOC (2002, p. 29), sugere a existência de no mínimo cinco RRNN num raio de 100 m ou de no máximo 1 km de distância do marégrafo, para a verificação da estabilidade na área ao redor do Datum. É claro que a área do porto pode apresentar movimentos verticais com relação a uma região mais ampla, porém isto só pode ser avaliado com nivelamento geométrico de grande escala ou levantamento GPS.

5.5.1 Campanhas de Nivelamento já Realizadas na Área do Porto de Imbituba

Existem informações de nivelamentos realizados em 1948, quando o *United States Coast and Geodetic Survey* (USCGS) divulgou os primeiros resultados referentes ao nivelamento de alguns pontos na região do DVB, e até o ano de 1971. Estes nivelamentos foram realizados tanto pelo USCGS quanto pelo IAGS. O IBGE realizou operações de nivelamento na região do Datum em 1946 (antes da instalação do marégrafo), 1980, 1986, 1995, e anualmente a partir de 2001 (quando foi instalado o sensor digital na estação maregráfica).

A Figura 25 ilustra a posição do marégrafo (*tide gauge*), da régua maregráfica (*tide staff*) e das RRNN que foram implantadas nas décadas de 40 e 50, quando se iniciaram os trabalhos de monitoramento do nível do mar em Imbituba visando a realização do DVB. A Tabela 14 fornece uma breve descrição destas RRNN, obtidas a partir dos relatórios históricos do IAGS. Convém salientar que destas RRNN apresentadas, a única que não havia sido destruída (até o dia 15 de julho de 2005), que permanecia em sua posição original e que foi localizada durante as campanhas de 2005 era a RN BM 3 (IAGS 3M).

FIGURA 25 – LOCALIZAÇÃO DO MARÉGRAFO E DAS RRNN NA ÉPOCA DE DEFINIÇÃO DO DVB

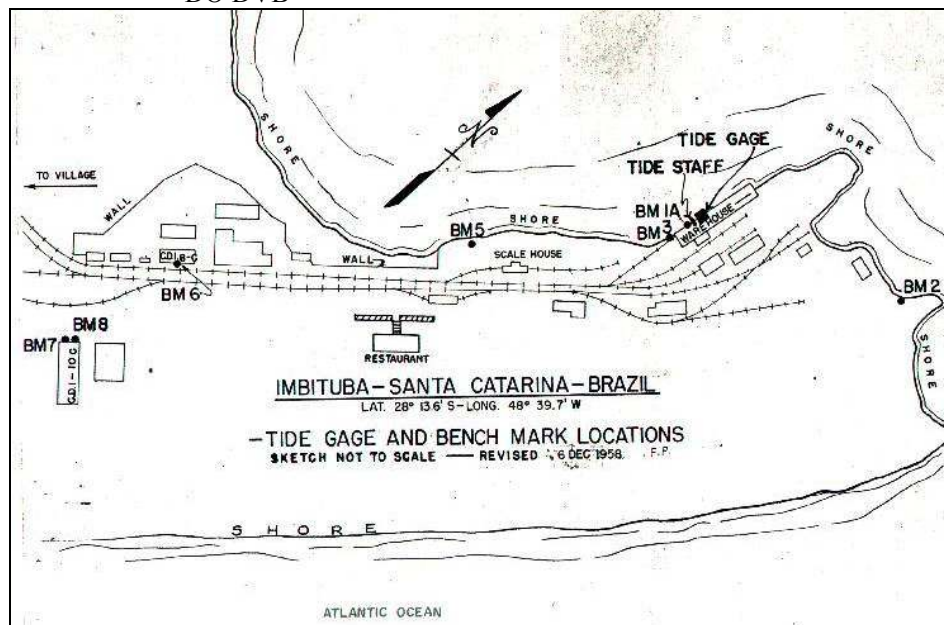


TABELA 14 – DESCRIÇÃO DAS RRNN IMPLANTADAS NA ÉPOCA DE DEFINIÇÃO DO DVB

RN	IMPLANTAÇÃO	DESCRIÇÃO
BM 1	1948 pelo IAGS	Topo da viga de concreto situada 4m abaixo do <i>deck</i> do pier. Primeira viga ao sul da viga onde está instalado o marégrafo. Mesma estrutura onde está instalada a régua. Segundo o relatório do IAGS de 6/12/1958 a RN foi encontrada solta e por isso removida em 5/12/1958.
BM 1A	05/12/1958 pelo IAGS	Topo da viga de concreto situada 4m abaixo do <i>deck</i> do pier. Primeira viga ao sul da viga onde está instalado o marégrafo. Instalada em 5/12/1958.
BM 2	1948 pelo IAGS	Cimentada no topo de uma rocha de granito ao longo da linha de costa, quase nivelada com o topo do <i>deck</i> do pier. De acordo com o relatório de 07/1971 a RN encontra-se cerca de 90cm abaixo do solo pois a área foi aterrada.
BM 3	1948 pelo IAGS	Concretada no canto SW do antigo silo de carvão, no extremo sul do cais, logo acima do marégrafo. As ruínas do silo vinham sendo conservadas visando manter a integridade desta RN, porém foram destruídas em julho de 2005.
BM 5	1948 pelo IAGS	Concretada em uma rocha de granito ao longo da linha de costa.
BM 6	1948 pelo IAGS	Cimentada junto ao prédio CDI-5 (CDI-8C)
BM 7	Aproximadamente em 1946 pelo Conselho Nacional de Geografia (CNG - atual IBGE)	Denominada de RN de segurança, monumento de concreto situado 2m a leste do canto SE do prédio CDI-9 (CDI-10C), enterrado 30cm.
BM 8	Aproximadamente em 1946 pelo Conselho Nacional de Geografia (CNG - atual IBGE)	Próxima do prédio CDI-10C, segundo o relatório de 03/55 esta não corresponde a localização original da RN como estabelecida pelo CNG. E de acordo com o relatório de 07/1971, a RN BM 8 é a antiga 4X movida para a atual localização em 1952.

As Figuras 26, 27, 28, 29 e 30 mostram a repetibilidade dos desníveis ao longo do tempo para seções de nivelamento geométrico realizadas entre as RRNN indicadas na tabela acima. A escala de tempo varia de agosto de 1948 a novembro de 1986. A repetibilidade foi calculada comparando cada valor de desnível com relação ao primeiro desnível obtido para a seção considerada.

FIGURA 26 – REPETIBILIDADE DOS DESNÍVEIS ENTRE AS RRNN M1-M3 E M3-M2

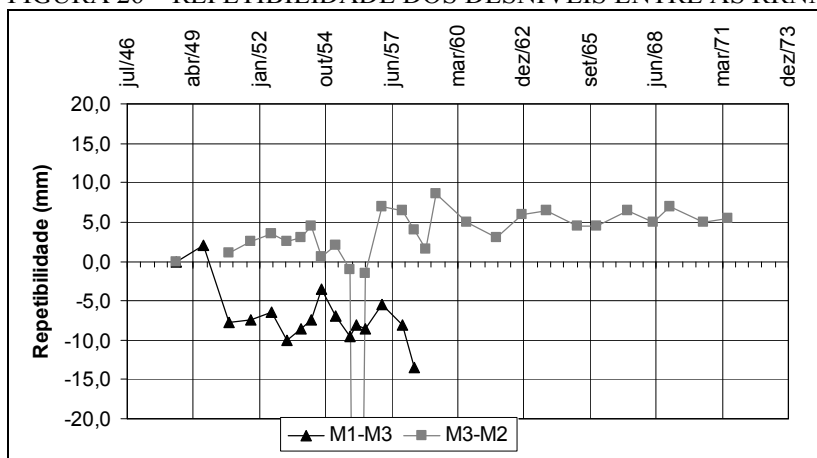


FIGURA 27 – REPETIBILIDADE DOS DESNÍVEIS ENTRE AS RRNN M6-M7 E M6-M8

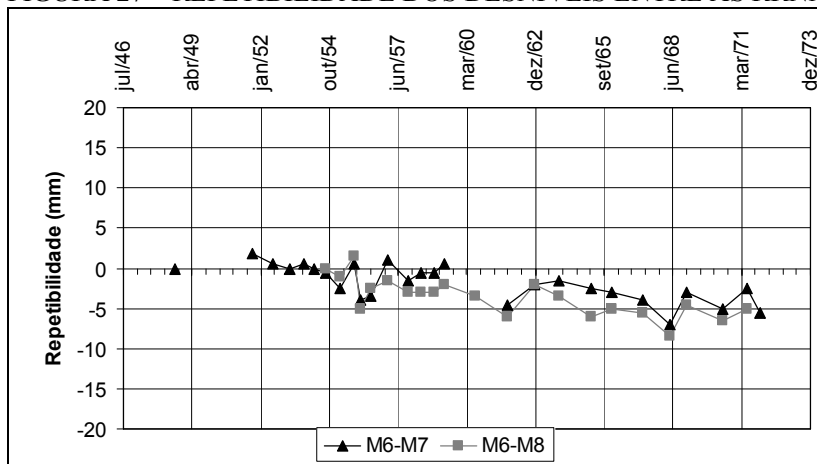


FIGURA 28 – REPETIBILIDADE DOS DESNÍVEIS ENTRE AS RRNN M1-M5 E M5-M3

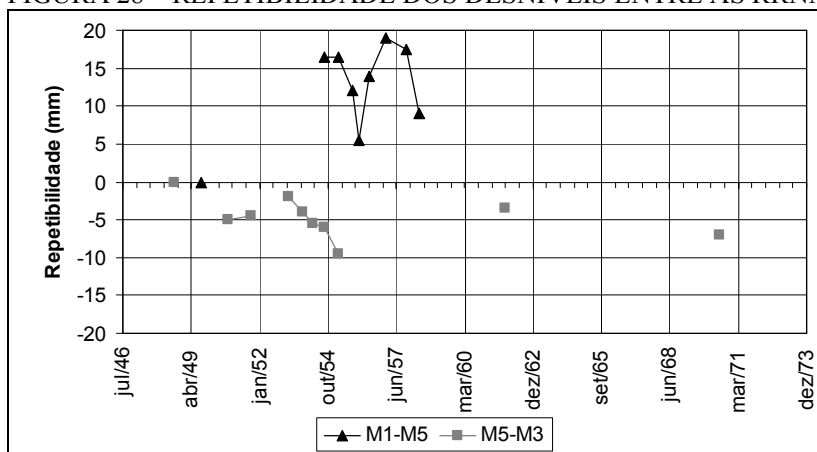


FIGURA 29 – REPETIBILIDADE DOS DESNÍVEIS ENTRE AS RRNN M5-M6 E M3-M6

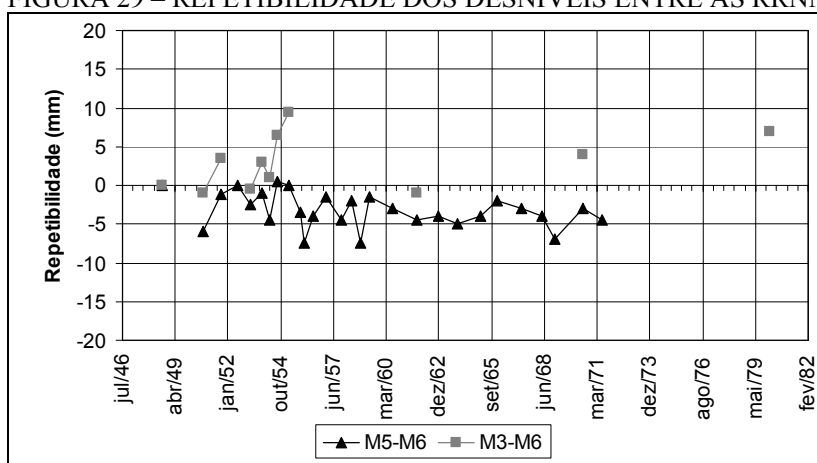
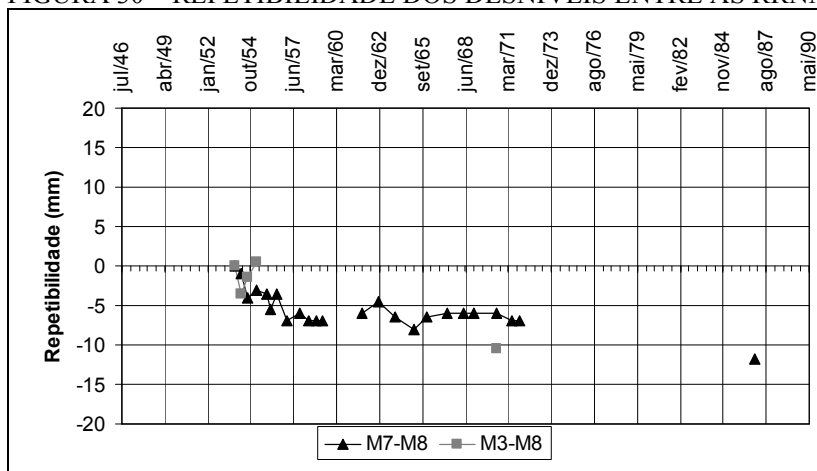


FIGURA 30 – REPETIBILIDADE DOS DESNÍVEIS ENTRE AS RRNN M7-M8 E M3-M8



Observa-se que a maioria dos desníveis tem uma variação menor do que 10 mm ao longo do tempo. A dificuldade em checar a consistência destes nivelamentos

atualmente é o fato de que quase todas estas RRNN já foram destruídas ou soterradas. Uma exceção era a RN M3 (IAGS 3M), concretada na base de um antigo silo de carvão (Figura 31), cujas ruínas estavam sendo preservadas visando manter a RN. Infelizmente, devido à modernização do porto, as ruínas, e com elas a RN IAGS 3M, foram destruídas no dia 15 de julho de 2005 (Figura 32).

FIGURA 31 – LOCALIZAÇÃO DA RN IAGS 3M



FIGURA 32 – DEMOLIÇÃO DAS RUÍNAS DO SILO DE CARVÃO



Em outubro de 2005 a equipe de altimetria da Coordenação de Geodésia do IBGE realizou o controle geodésico da estação maregráfica de Imbituba. Após solicitar autorização para quebra da calçada frontal ao prédio da administração da Cia. Portuária de Imbituba, a equipe localizou a RN IAGS 7 que se encontrava enterrada a cerca de 45 cm e sem medições altimétricas ao longo do tempo (CASTRO, 2005).

As Tabelas 15 e 16 fornecem um resumo dos nivelamentos realizados na área do porto durante o período de 1948 até 2005. Os desníveis referem-se à RN IAGS 3M. Um detalhe importante é a escassez nas repetições de seções de nivelamento a partir de 1971. Isto se deve: ao fato de que muitas das RRNN materializadas na época de definição do Datum foram destruídas devido ao desenvolvimento e modernização do porto; e à implantação de novas RRNN ao longo do tempo.

TABELA 15 – NIVELAMENTOS REALIZADOS NA ÁREA DO PORTO – 1948 A 2005

DATA	IAGS 1M/1A	IAGS 2M	IAGS 3M ⁽¹⁾	IAGS 5M	IAGS 6M	IAGS 7	IAGS 8	4X
ago-48	-4,5250	-0,2240	8,8300	-1,8260	1,9710	1,5860		2,0800
set-49	-4,5275		8,8335	-1,8425				
out-50	-4,5178	-0,2230	8,8253	-1,8215	1,9695			2,0795
set-51	-4,5180	-0,2215	8,8285	-1,8220	1,9739	1,5902		2,2910
jul-52	-4,5190	-0,2205	8,8295	-1,8205	1,9765	1,5915		destruída
mar-53	-4,5155	-0,2215	8,8245	-1,8245	1,9700	1,5845		
out-53	-4,5170	-0,2210	8,8280	-1,8225	1,9735	1,5885	2,1005	
mar-54	-4,5180	-0,2195	8,8285	-1,8210	1,9715	1,5860	2,0970	
ago-54	-4,5220	-0,2235	8,8305	-1,8205	1,9770	1,5910	2,0990	
mar-55	-4,5185	-0,2220	8,8287	-1,8170	1,9800	1,5920	2,1010	
out-55	-4,5160	-0,2250	8,8285	-1,8190	1,9745	1,5895	2,0980	
jan-56	-4,5175	-0,2310	8,8295	-1,8270	1,9625	1,5730	2,0795	
jun-56	-4,5170	-0,2255	8,8295	-1,8180	1,9750	1,5860	2,0945	
fev-57	-4,5200	-0,2170	8,8325	-1,8160	1,9795	1,5950	2,1000	
dez-57	-4,5175	-0,2175	8,8225	-1,8150	1,9775	1,5905	2,0965	
jun-58	-4,5120	-0,2200	8,8200	-1,8180	1,9770	1,5910	2,0960	
dez-58	-4,5070	-0,2225	8,8210	-1,8195	1,9700	1,5840	2,0890	
mai-59	⁽²⁾ -4,5625	-0,2155	8,8355	-1,8215	1,9740	1,5890	2,0940	
ago-60	-4,5635	-0,2190	8,8365	-1,8225	1,9715	1,5850	2,0900	
nov-61	-4,5640	-0,2210	8,8370	-1,8230	1,9695	1,5795	2,0855	
dez-62	-4,5665	-0,2180	8,8395	-1,8195	1,9735	1,5860	2,0935	
dez-63	-4,5660	-0,2175	⁽³⁾ 8,4580	-1,8215	1,9705	1,5835	2,0890	
mar-65	-4,5680	-0,2195	8,4620	-1,8195	1,9735	1,5855	2,0895	
fev-66	-4,5650	-0,2195	8,4600	-1,8175	1,9775	1,5890	2,0945	
abr-67	-4,5605	-0,2175	8,4565	-1,8185	1,9755	1,5860	2,0920	
mai-68	-4,5595	-0,2190	8,4565	-1,8225	1,9705	1,5780	2,0840	
jan-69	-4,5605	-0,2170	8,4475	-1,8270	1,9630	1,5745	2,0805	
jun-70	-4,5635	-0,2190	8,4505	-1,8195	1,9745	1,5840	2,0900	

continua

DATA								conclusão
	IAGS 1M/1A	IAGS 2M	IAGS 3M ⁽¹⁾	IAGS 5M	IAGS 6M	IAGS 7	IAGS 8	4X
jun-71	-4,5630	-0,2185	8,4490	-1,8180	1,9745	1,5865	2,0915	
dez-71	-4,5600		8,4480	-1,8085	1,9730	1,5820	2,0870	
mar-80					1,9774			
nov-86						1,5859	2,0862	
nov-95								2,0859
1997								
ago-01								2,0870
mar-02			⁽³⁾ 7,0517					
jun-03			7,0519					
2005								2,0867

NOTA: Os desníveis estão indicados em metros e são referidos à RN IAGS 3M.

(1) Desnível da RN IAGS 3M com relação ao zero da régua.

(2) A alteração nos valores dos desníveis deve-se à remoção da RN IAGS 1M e implantação da RN IAGS 1A.

(3) As alterações nos valores dos desníveis da RN IAGS 3M com relação ao zero da régua devem-se as diferentes substituições da régua maregráfica realizadas ao longo do tempo.

TABELA 16 – NIVELAMENTOS REALIZADOS NA ÁREA DO PORTO – 1986 A 2005

DATA	3010A	3010B	3010C	3012X	3012Z	PORT1	PORT2
nov-86						4,7276	-0,2764
nov-95	-0,4027	2,9234	-1,5053	-4,5514	-4,4611	4,7270	
1997							
ago-01	-0,3976	2,9252	-1,5057	-4,5489	-4,4597	4,7276	
mar-02							
jun-03							
2005	-0,3954	2,9243		-4,5472	-4,4575		
DATA	PORT3	IMBI	CBD3A	3012V	9352S	9352T	3012U
nov-86	-0,5107		-0,3935	-0,5364	1,8531	1,9802	
nov-95				-0,5239			-0,5016
1997		3,9530					
ago-01		3,9625	-0,4103	-0,5296			-0,4985
mar-02							
jun-03							
2005	-0,5307	3,9530	-0,4148				
DATA	3010D	TOPO RÉGUA	TUBO ANTIGO ⁽¹⁾	TUBO NOVO ⁽²⁾	UFPR1	UFPR2	
nov-86							
nov-95	7,2228						
1997							
ago-01		⁽³⁾ -4,9438		-4,1856			
mar-02		⁽⁴⁾ -5,0517					
jun-03							
2005		⁽⁴⁾ -5,0517		-4,1823	-4,2804	0,3338 -4,7261	

NOTA: Os desníveis estão indicados em metros e são referidos à RN IAGS 3M.

(1) Tubo do marégrafo de bóia.

(2) Tubo do sensor digital.

(3) Desnível para o topo da régua antiga.

(4) Desnível para o topo da nova régua, instalada em 2002.

O nivelamento entre a estação IMBI e a RN IAGS 3M, de 1997, foi realizado por ocasião dos trabalhos apresentados em CORDINI (1998). O desnível encontrado da RN IAGS 3M para a estação IMBI foi de 3,9530 m, com um erro de fechamento de 1,98 mm equivalente a $2,12\text{mm}\sqrt{k}$ com $k = 0,8674 \text{ km}$ (CORDINI, 1998, p. 109).

A Tabela 17 indica os desníveis dos elementos localizados sob o pier: RRNN 3012Z e 3012X, topo da régua maregráfica, borda do tubo do marégrafo de bóia (tubo antigo) e borda do tubo do sensor digital (tubo novo); uma vez que nem sempre foi possível realizar a conexão destes elementos com as RRNN externas ao pier.

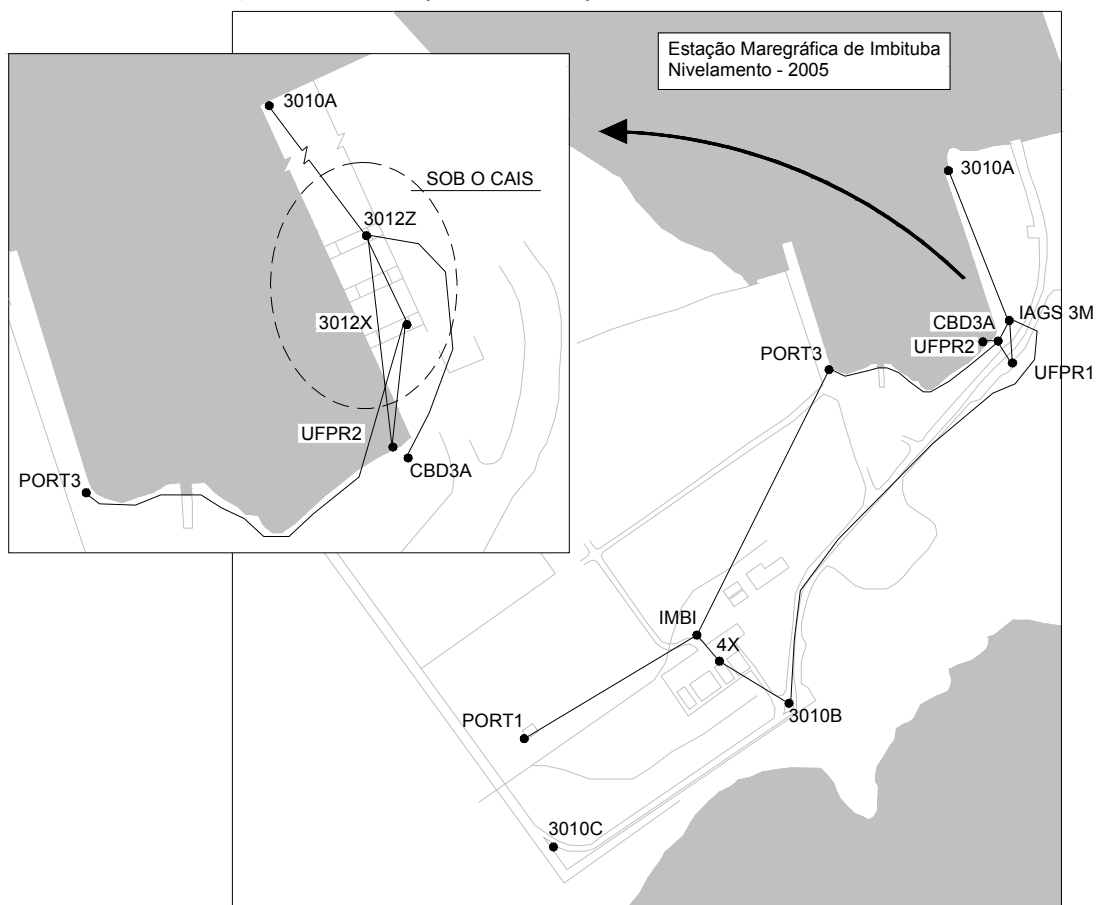
TABELA 17 – NIVELAMENTO DOS ELEMENTOS LOCALIZADOS SOB O PIER

DE - PARA	nov-95	ago-01	mar-02	jun-03	2005
3012X - 3012Z	0,0903	0,0898	0,0902	0,0896	0,0897
3012X - topo da régua			-0,5027	-0,5030	-0,5045
3012X - borda do tubo antigo		0,3633			0,3649
3012X – borda do tubo novo				0,2760	0,2668

5.5.2 Metodologia Adotada nas Campanhas de Nivelamento de 2005

Nestas campanhas foram niveladas, na medida da disponibilidade de tempo, as RRNN existentes na área do porto com exceção da RN 3010C, localizada na portaria do acesso principal ao porto, e da RN PORT1. As seções foram niveladas de maneira a formarem pequenos circuitos (Figura 33) visando o ajustamento dos desníveis.

FIGURA 33 – CROQUI DE INDICAÇÃO DAS SEÇÕES NIVELADAS EM 2005



Como indicado na Figura 33, foram niveladas as RRNN 3012Z e 3012X situadas sob o cais, estabelecendo seu vínculo com algumas RRNN situadas sobre o cais. As RRNN 3012Z e 3012X constituem-se em chapas do IBGE cravadas em vigas e situadas nas proximidades do marégrafo, conforme o croqui apresentado na Figura 34. Nesta ocasião também foram niveladas as bordas dos tubos que abrigam os sensores de maré (sensor digital e o de bóia) bem como a régua maregráfica.

As RRNN UFPR1 (Figura 35) e UFPR2 (Figura 36) foram implantadas durante a campanha de julho de 2005 e conectadas à RN IAGS 3M, tendo em vista a destruição desta última.

FIGURA 34 – CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DAS RRNN JUNTO AO MARÉGRAFO

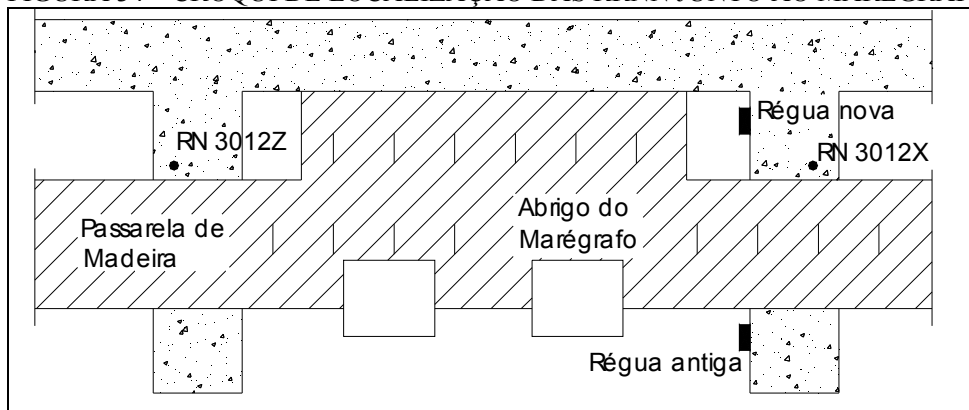


FIGURA 35 – LOCALIZAÇÃO DA RN UFPR1

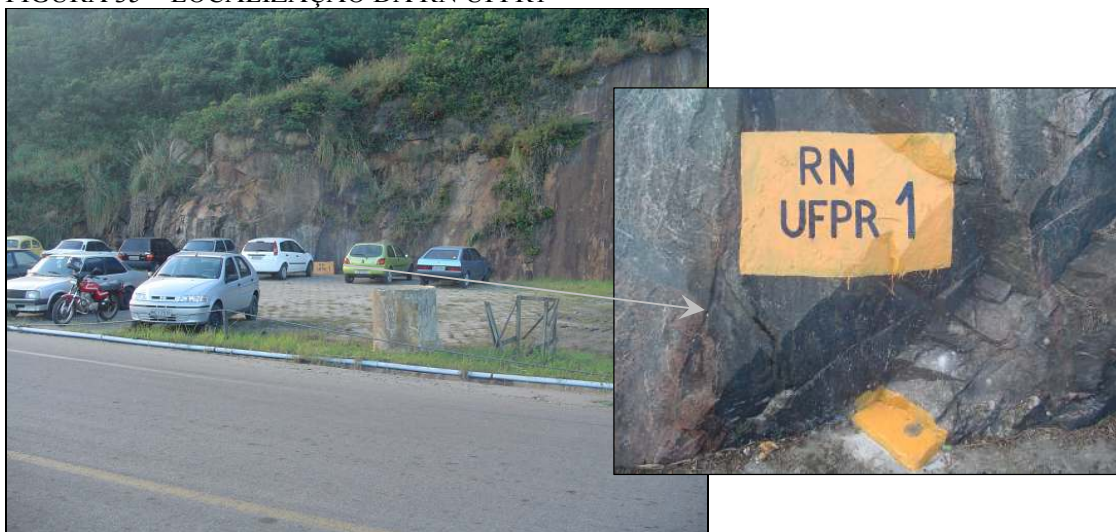


FIGURA 36 – LOCALIZAÇÃO DA RN UFPR2



Na realização do nivelamento geométrico foram seguidas as especificações usuais para nivelamento geométrico de alta precisão, visando evitar ou minimizar erros e efeitos sistemáticos, como: erro de índice da mira (distância entre a base inferior da mira e a primeira graduação da escala); curvatura da Terra; refração atmosférica, entre outros. Para tanto foram tomados vários cuidados, entre eles:

- a) uso da mesma mira no início e final de cada lance;
- b) os lances foram nivelados e contra nivelados, permitindo aceitar ou rejeitar o desnível obtido pela verificação do erro de fechamento;
- c) quando necessário o nível foi protegido com o guarda-sol;
- d) o intervalo adotado para a constante da mira foi respeitado. No caso das miras centimétricas o valor da constante é de 301,550 e o intervalo adotado é de 301,525 a 301,575;
- e) procurou-se adotar comprimentos menores do que 30m para as linhas de visada, facilitando a tangência do traço da mira;
- f) procurou-se adotar as mesmas distâncias entre ré e vante, minimizando assim os efeitos devido a refração atmosférica, colimação vertical do nível e efeito da curvatura da Terra. Foi adotado o valor de 2m como diferença máxima de distância entre visadas de ré e vante. Porém em algumas ocasiões isso não foi possível devido à localização do marégrafo e a própria infra-estrutura portuária existente.

5.5.3 Resumo dos Resultados do Nivelamento

A configuração do nivelamento realizado na área do porto permite que seja realizado o ajustamento dos desníveis observados. Este pode ser realizado de duas maneiras: os desníveis observados são ajustados pelo método dos correlatos que fornece os desníveis ajustados, com estes desníveis ajustados calculam-se as altitudes das RRNN niveladas. A segunda opção é a de obter diretamente altitudes ajustadas pelo método paramétrico. Detalhes com respeito a estes métodos de ajustamento

podem ser encontrados em GEMAEL (1994). A Tabela 18 mostra os desníveis medidos durante as campanhas de nivelamento em 2005.

TABELA 18 – DESNÍVEIS MEDIDOS EM 2005

SEÇÃO		Nível	Desnível Medido (m)	Distância Nivelada (m)	Diferença entre Nivelamento e Contra (mm)	Erro de Fechamento ($mm\sqrt{k}$)
RN Partida	RN Chegada					
3010B	IAGS 3M	N3	-2,92432	904,475	0,64	0,7
4X	3010B	N3	0,83761	202,145	0,22	0,5
IMBI	4X	N3	-1,86628	83,665	0,24	0,8
PORT3	IMBI	N3	4,48378	706,515	0,14	0,2
CBD3A	PORT3	N3	-0,11601	476,405	0,51	0,7
IAGS 3M	CBD3A	N3	-0,41485	20,200	0,11	0,8
UFPR2	CBD3A	NA3003	4,31066	165,680	0,06	0,1
UFPR2	3012X	NA3003	0,179102	54,465	0,06	0,3
3012X	3012Z	N3	0,08988	40,250	0,12	0,6
3012Z	CBD3A	N3	4,04480	341,635	1,01	1,7
IAGS 3M	UFPR1	NA3003	0,33382	91,630	0,16	0,5
CBD3A	UFPR1	NA3003	0,74860	82,990	0,39	1,3
UFPR2	3012Z	NA3003	0,26859	79,635	0,44	1,5
PORT3	3012X	N3	-4,01655	438,474	1,41	2,1
3012Z	3010A	N3	4,06107	414,985	0,07	0,1
3010A	IAGS 3M	N3	0,39461	345,365	0,16	0,3

De acordo com os registros de nivelamento do IAGS, havia uma diferença de nível de 8,8285 m do zero da régua para a RN IAGS 3M. Esta diferença de nível foi calculada considerando os desníveis obtidos para a RN IAGS 3M (indicados na Tabela 15) com relação ao zero da régua no período de 1949 a 1957, mesmo período utilizado para a definição do NMM em Imbituba. Como o valor do NMM para este período é de 2,2732 m em relação ao zero da régua (ver Tabela 5 no Capítulo 3), conclui-se que a altitude da RN IAGS 3M é de 6,5553 m. Considerando este valor como conhecido, foram ajustadas, pelo método paramétrico, as altitudes das demais RRNN bem como os desníveis observados. Uma descrição detalhada do ajustamento encontra-se no Anexo 1.

A Tabela 19 indica os valores dos desníveis após a realização do ajustamento e o respectivo desvio padrão. A Tabela 20 mostra as altitudes ajustadas para as RRNN niveladas em 2005 e o respectivo desvio padrão.

TABELA 19 – DESNÍVEIS AJUSTADOS – CAMPANHA 2005

SEÇÃO		Desnível Ajustado (m)	Desvio Padrão do Desnível Ajustado (mm)
RN Partida	RN Chegada		
3010B	IAGS 3M	-2,92434	1,37
4X	3010B	0,83760	0,81
IMBI	4X	-1,86628	0,54
PORT3	IMBI	4,48376	1,30
CBD3A	PORT3	-0,11595	0,90
IAGS 3M	CBD3A	-0,41479	0,25
UFPR2	CBD3A	4,31131	0,58
UFPR2	3012X	0,17888	0,35
3012X	3012Z	0,08972	0,32
3012Z	CBD3A	4,04270	0,60
IAGS 3M	UFPR1	0,33381	0,42
CBD3A	UFPR1	0,74861	0,41
UFPR2	3012Z	0,26860	0,37
PORT3	3012X	-4,01648	0,91
3012Z	3010A	4,06206	0,89
3010A	IAGS 3M	0,39544	0,87

TABELA 20 – ALTITUDES AJUSTADAS – CAMPANHA 2005

RN	Altitude Ajustada (m)	Desvio Padrão da Altitude Ajustada (mm)
IAGS 3M	⁽¹⁾ 6,5553	-
UFPR2	1,82919	0,62
3012Z	2,09780	0,63
3010A	6,15986	0,87
CBD3A	6,14050	0,25
3010B	9,47964	1,37
4X	8,64204	1,39
IMBI	10,50832	1,38
PORT3	6,02456	0,92
3012X	2,00808	0,65
UFPR1	6,88911	0,42

(1) Altitude conhecida, derivada dos relatórios de nivelamento do IAGS.

5.6 CONTROLE DA POSIÇÃO GEOCÊNTRICA DO MARÉGRAFO

As aplicações do GPS no contexto deste trabalho são: a determinação e o monitoramento temporal da posição geocêntrica do marégrafo. Com a determinação da posição do marégrafo, o NMM também pode ser definido num SGR geocêntrico. Na maior parte dos casos é impossível alocar um receptor GPS exatamente sobre a posição do marégrafo, assim, o posicionamento GPS de uma RN localizada nas proximidades do marégrafo associado com nivelamento geométrico de precisão permite ligar a referência zero do marégrafo a um SGR geocêntrico. De acordo com

BEVIS et al. (2002, p. 96), quando a antena GPS for vinculada ao marégrafo e às RRNN existentes na região por nivelamento geométrico, o ARP (*Antenna Reference Point*) deve ser usado para caracterizar formalmente a altura da antena.

A posição geocêntrica do marégrafo também é necessária para que o nível do mar observado pelo marégrafo possa ser definido no mesmo SGR utilizado pela Altimetria por Satélites. Com isso é possível relacionar de maneira absoluta as séries temporais de nível do mar obtidas com o marégrafo com as séries de dados provenientes da Altimetria por Satélites. Este relacionamento proporciona, entre outros, a calibração absoluta dos radares altímetros e a comparação direta entre as duas séries temporais de dados. O monitoramento temporal da posição geocêntrica do marégrafo auxilia na discriminação de movimentos verticais locais e com isso na estimativa de variações absolutas do NMM.

Desde 1997 a UFPR e o IBGE vem realizando campanhas multi-paramétricas no DVB e em outros marégrafos, monitorando sinais GPS, parâmetros meteorológicos e marés oceânicas e terrestres. Os objetivos destas pesquisas são: a determinação da posição geocêntrica do marégrafo; possíveis efeitos locais; e o estabelecimento de estratégias para estimar variações temporais do NMM e conectar diferentes marégrafos. Resultados podem ser encontrados em FREITAS et al. (1999), FREITAS et al. (2001) e FREITAS et al. (2002a). Outro item de estudos é a verificação dos efeitos geodinâmicos na região do DVB como abordado por CORDINI (1998), que procurou determinar a influência dos efeitos de redistribuição de massas na região e do carregamento crustal proveniente de efeitos diretos e indiretos das marés oceânicas e da pressão atmosférica (CORDINI, 1998, p.61).

A solução ideal para o monitoramento da posição geocêntrica do marégrafo é a adoção de um receptor GPS geodésico operando continuamente na estação. Porém, devido às indisponibilidades de alocação permanente de um receptor para esta finalidade em Imbituba, optou-se pela realização de campanhas periódicas. Estas campanhas foram realizadas em 1997, 2000, fevereiro de 2005 e julho de 2005.

5.6.1 Campanhas de Monitoramento GPS já Realizadas na Área do Porto de Imbituba

A campanha de 1997 foi realizada pela UFPR no contexto do trabalho de CORDINI (1998), e contou com um receptor geodésico de dupla frequência, modelo Ashtech Z-XII. Para a realização da campanha foi construído um pilar, a uma distância de aproximadamente 450m do marégrafo, dotado de um dispositivo de centragem forçada para o posicionamento da antena, permitindo assim a reocupação da estação em diferentes campanhas como mostra a Figura 37. Esta estação foi denominada de IMBI por ocasião da campanha SIRGAS 2000, mas a denominação SAT 91854 também pode ser encontrada em alguns trabalhos.

Os dados foram coletados continuamente a uma taxa de aquisição de trinta segundos e descarregados em um microcomputador a cada 24 horas. A campanha teve a duração de 45 dias, de 09/04/97 a 21/05/97. CORDINI (1998, p. 69), indica que 24 dias forneceram dados praticamente contínuos, considerando problemas como: queda de energia e travamento do sistema de descarga dos dados. Porém, foi possível recuperar dados brutos referentes apenas a cinco dias de rastreo (dias GPS 118, 119, 120, 123 e 124), devido a problemas na leitura da mídia onde os dados estão gravados.

FIGURA 37 – ESTAÇÃO IMBI



A campanha de 2000 foi realizada no contexto do projeto SIRGAS, numa operação conjunta entre a UFPR e o IBGE. Teve a duração de 10 dias, sendo realizada de 10 a 19 de maio de 2000 (dias GPS 131 a 140). A Tabela 21 mostra as coordenadas e os respectivos desvios padrão (σ) para a estação IMBI, obtidos por ocasião da campanha SIRGAS 2000.

TABELA 21 - COORDENADAS GEODÉSICAS GEOCÊNTRICAS DA ESTAÇÃO IMBI
SIRGAS 2000 (ITRF2000 época 2000,4)

X (m) = 3.714.672,427 / σ (m) = 0,002	$\phi = -28^{\circ} 14' 11,8080''$ / σ (") = 0,0001
Y (m) = -4.221.791,488 / σ (m) = 0,002	$\lambda = -48^{\circ} 39' 21,8825''$ / σ (") = 0,0001
Z (m) = -2.999.637,883 / σ (m) = 0,001	h = 11,850m / σ (m) = 0,002

FONTE: IBGE, 2003b

NOTA: Coordenadas cartesianas transformadas para coordenadas geodésicas utilizando os parâmetros relativos ao elipsóide do GRS80 (a= 6378137 m; f= 1:298,257222101).

5.6.2 Metodologia Adotada nas Campanhas de Rastreamento de 2005 e no Processamento dos Dados

A campanha de fevereiro de 2005, conduzida pela UFPR, teve a duração de oito dias, sendo realizada de 10 a 17 de fevereiro (dias GPS 41 a 48). A coleta dos dados GPS foi realizada com um receptor geodésico de dupla frequência, modelo Ashtech Z-XII. Os dados foram coletados continuamente a uma taxa de 15s com máscara de elevação de 5° e eram descarregados automaticamente em um microcomputador optando-se pela criação de arquivos diários. A campanha de julho de 2005 também foi realizada pela UFPR, teve duração de nove dias, sendo realizada de 8 a 16 de julho (dias GPS 189 a 197). Utilizou-se um receptor geodésico de dupla frequência, modelo Trimble 4000 SSI, uma vez que o receptor Ashtech Z-XII apresentou evidências de problemas como pode ser observado pela análise da qualidade dos dados brutos no Anexo 2. Os dados foram coletados continuamente a uma taxa de gravação de 30s, máscara de elevação de 5° e eram descarregados diariamente.

Todas as campanhas de rastreamento já realizadas em Imbituba (1997, 2000, fevereiro de 2005 e julho de 2005) foram processadas com o software BERNESSE 5.0

da Universidade de Bern, Alemanha (HUGENTOBLER et al., 2005). O reprocessamento das duas primeiras campanhas bem como o processamento das duas últimas foi realizado conjuntamente de forma a obter resultados consistentes, permitindo a estimativa de velocidades para a estação e de forma a considerar aspectos como a melhoria das técnicas de resolução de ambigüidades, melhorias na determinação das órbitas, determinação do *offset* do centro de fase da antena do receptor, a determinação do *offset* da antena do satélite, e modelagem do carregamento oceânico.

Para estimar a posição da estação Imbituba (IMBI), foram utilizadas como estações fiduciais as estações IGS Brasília (BRAZ) e Santiago (SANT), bem como a estação de Curitiba (PARA) pertencente a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). A localização destas estações está ilustrada na Figura 38.

FIGURA 38 – ESTAÇÕES UTILIZADAS NO PROCESSAMENTO GPS



Os arquivos de dados GPS da estação IMBI, nos formatos Ashtech e Trimble, foram inicialmente transformados para RINEX com o programa *TEQC-Translate, Edit, Quality Check* (<http://www.unavco.ucar.edu/software/teqc>). Este

mesmo programa foi utilizado para verificar, *a priori*, a qualidade dos dados rastreados através da opção *quality check*, os resultados obtidos encontram-se no Anexo 2.

Os dados referentes aos parâmetros de orientação da Terra (EOP) foram obtidos dos produtos finais IGS, bem como as órbitas precisas no formato sp3 as quais incluem as correções do *offset* do relógio dos satélites. As órbitas precisas referentes as campanhas de 1997 e 2000 foram transformadas para o referencial ITRF2000 com o programa *trnsp3n* disponível no endereço eletrônico do *Natural Resources Canada* (NRCAN) <ftp://macs.geod.nrcan.gc.ca/pub/requests/itrf96_97>. Os valores para o *offset* da antena do receptor bem como a variação do centro de fase foram obtidas do *National Geodetic Survey* (NGS) <www.ngs.noaa.gov/ANTCAL>. A altura das antenas é referida ao ARP. Os parâmetros relativos a modelagem de carga oceânica foram obtidos do modelo *Global Ocean Tide Model - GOT00.2* no endereço eletrônico <www.oso.chalmers.se/~loading/>.

A metodologia adotada para o processamento dos dados é a indicada em DACH et al. (2004), que indicam todas as etapas necessárias ao processamento das observações GPS visando a estimativa de velocidades. As coordenadas iniciais ou aproximadas das estações para cada campanha foram reduzidas às épocas de observação a partir das coordenadas SIRGAS 2000 conhecidas para as estações e velocidades derivadas do modelo SIRGAS VM (*SIRGAS Velocity Model*) (DREWES; HEIDBACH, 2005).

As linhas base foram criadas com a estratégia de máxima observação (OBS-MAX), a qual usa o maior número de observações comuns entre duas estações. A estratégia QIF (*quasi-ionosphere-free*) foi utilizada para resolução das ambigüidades com o modelo troposférico de Niell. Segundo HUGENTOBLER et al. (2005, p. 162), a estratégia QIF é indicada para longas sessões e linhas de base com comprimentos de 10 a 2000 km.

Para a definição do referencial foram injuncionadas as posições das estações fiduciais, adotando a solução de mínimas injunções (*minimum constraint solution*) e

aplicando-se as condições de *No Net Rotation* (NNR) e *No Net Translation* (NNT), minimizando assim as rotações na definição do referencial e garantindo que não existem mudanças na posição da origem do sistema, respectivamente.

Foi gerada uma solução de coordenadas para cada dia de rastreamento realizado (solução diária). A solução final de cada campanha foi estimada a partir da combinação das respectivas soluções diárias. Posteriormente, as velocidades foram estimadas a partir da combinação de todas as soluções diárias de todas as campanhas. Para a estimativa das velocidades também se adotou a solução de mínimas injunções, aplicando-se as condições de NNR e NNT.

5.6.3 Resultados do Processamento GPS

Com a geração das soluções diárias é possível verificar a repetibilidade das coordenadas. Neste caso é calculado um valor médio para a coordenada da estação levando em consideração as soluções diárias. Como resultado, o BERNESE fornece as diferenças de cada solução diária a este valor médio. Esse resultado pode ser utilizado para identificar soluções diárias com problemas, permitindo que estas sejam eliminadas antes da combinação final. A Figura 39 ilustra a repetibilidade para a estação IMBI. Verifica-se que os valores para as componentes Norte e Este se situam em torno de 5 mm, já para a componente vertical o valor é de aproximadamente 10 mm. Desta forma, optou-se por não eliminar nenhuma solução diária do processamento.

Como os valores (apresentados na Figura 39) referem-se a épocas diferentes, a velocidade da estação deve ser considerada (DACH et al., 2004, p. 74, p. 75). Assim, após a estimativa das velocidades a repetibilidade das coordenadas da estação IMBI é a ilustrada por meio da Figura 40. Nesta figura, pode-se verificar que a repetibilidade das soluções diárias é sempre melhor do que 4 mm, sendo na grande maioria melhor do que 2 mm. A única exceção é a da componente vertical no dia GPS 48 em 2005 cujo valor é de -6,73 mm.

FIGURA 39 - REPETIBILIDADE COM RELAÇÃO A MÉDIA

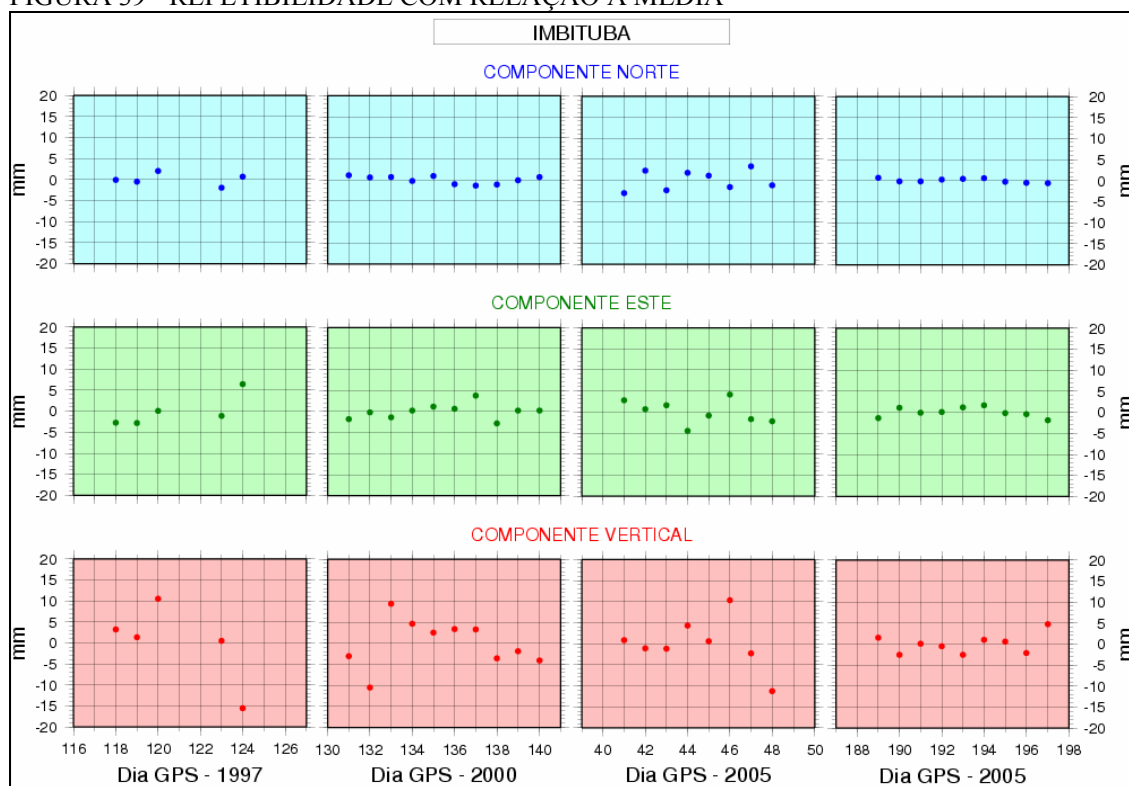
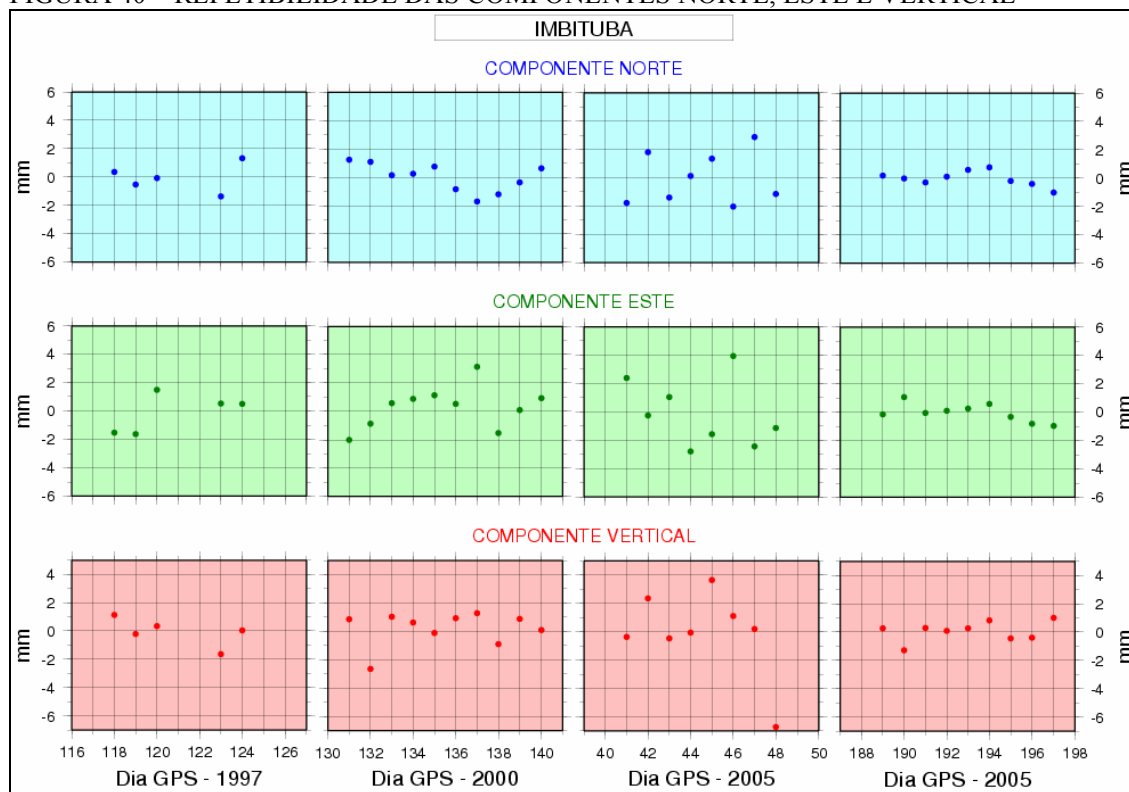


FIGURA 40 - REPETIBILIDADE DAS COMPONENTES NORTE, ESTE E VERTICAL



As coordenadas estimadas para a estação IMBI em cada uma das campanhas encontram-se na Tabela 22.

TABELA 22 - COORDENADAS GEOCÊNTRICAS ESTIMADAS PARA A ESTAÇÃO IMBI

CAMPANHA 1997 (ITRF2000 época 1997,4)		
X (m) = 3.714.672,4278	⁽¹⁾ σ_X (mm) = 0,6	$\phi = -28^\circ 14' 11,809025''$
Y (m) = -4.221.791,4718	⁽²⁾ σ_Y (mm) = 0,8	$\lambda = -48^\circ 39' 21,882063''$
Z (m) = -2.999.637,9143	⁽³⁾ σ_Z (mm) = 0,5	h = 11,8546m
CAMPANHA 2000 (ITRF2000 época 2000,4)		
X (m) = 3.714.672,4277	σ_X (mm) = 0,4	$\phi = -28^\circ 14' 11,807957''$
Y (m) = -4.221.791,4845	σ_Y (mm) = 0,5	$\lambda = -48^\circ 39' 21,882371''$
Z (m) = -2.999.637,8821	σ_Z (mm) = 0,3	h = 11,8477m
CAMPANHA FEVEREIRO 2005 (ITRF2000 época 2005,1)		
X (m) = 3.714.672,4333	σ_X (mm) = 1,4	$\phi = -28^\circ 14' 11,806292''$
Y (m) = -4.221.791,5173	σ_Y (mm) = 1,2	$\lambda = -48^\circ 39' 21,883015''$
Z (m) = -2.999.637,8391	σ_Z (mm) = 0,8	h = 11,8523m
CAMPANHA JULHO 2005 (ITRF2000 época 2005,5)		
X (m) = 3.714.672,4390	σ_X (mm) = 0,4	$\phi = -28^\circ 14' 11,805857''$
Y (m) = -4.221.791,5062	σ_Y (mm) = 0,5	$\lambda = -48^\circ 39' 21,882588''$
Z (m) = -2.999.637,8215	σ_Z (mm) = 0,3	h = 11,8399m

NOTA: Coordenadas cartesianas transformadas para coordenadas geodésicas utilizando os parâmetros relativos ao elipsóide do GRS80 (a= 6378137 m; f= 1:298,257222101).

- (1) Desvio padrão da coordenada X
- (2) Desvio padrão da coordenada Y
- (3) Desvio padrão da coordenada Z

Da combinação das soluções diárias, foram estimadas velocidades para todas as estações, uma vez que nem as coordenadas nem as velocidades das estações fiduciais foram mantidas fixas na etapa de processamento. As velocidades estimadas estão indicadas na Tabela 23. A Tabela 24 apresenta as velocidades derivadas do modelo SIRGAS, disponível no endereço eletrônico <www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/sirgas/principal.htm>. Ressalta-se que existem outros modelos de velocidades, como por exemplo: o modelo geofísico NNR-NUVEL 1A (Tabela 25); e o APKIM (*Actual Plate Kinematic Models*), derivado de técnicas geodésicas como VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*), SLR e GPS (Tabela 26).

TABELA 23 – VELOCIDADES DERIVADAS DO PROCESSAMENTO

ESTAÇÃO	BRAZ	SANT	PARA	IMBI
V_N (m/a)	0,0117	0,0165	0,0113	0,0118
V_E (m/a)	-0,0042	0,0209	-0,0039	-0,0019
V_{UP} (m/a)	-0,0004	0,0015	-0,0016	-0,0002
V_X (m/a) / σ (m/a) ⁽¹⁾	-0,0012 / 0,00008	0,0231 / 0,00007	-0,0007 / 0,00006	0,0021 / 0,00008
V_Y (m/a) / σ (m/a)	-0,0049 / 0,00009	-0,0028 / 0,00010	-0,0051 / 0,00008	-0,0053 / 0,00010
V_Z (m/a) / σ (m/a)	0,0114 / 0,00005	0,0130 / 0,00007	0,0109 / 0,00005	0,0105 / 0,00007

- (1) Desvio padrão

TABELA 24 – VELOCIDADES DERIVADAS DO MODELO SIRGAS

ESTAÇÃO	BRAZ	SANT	PARA	IMBI
V_{LAT} (m/a)	0,0122	0,0149	0,0123	0,0124
V_{LONG} (m/a)	-0,0045	0,0199	-0,0034	-0,0028
V_X (m/a)	-0,0011	0,0214	0,0009	0,0018
V_Y (m/a)	-0,0055	-0,0011	-0,0062	-0,0062
V_Z (m/a)	0,0117	0,0125	0,0111	0,0109

TABELA 25 – VELOCIDADES DERIVADAS DO MODELO NNR-NUVELIA

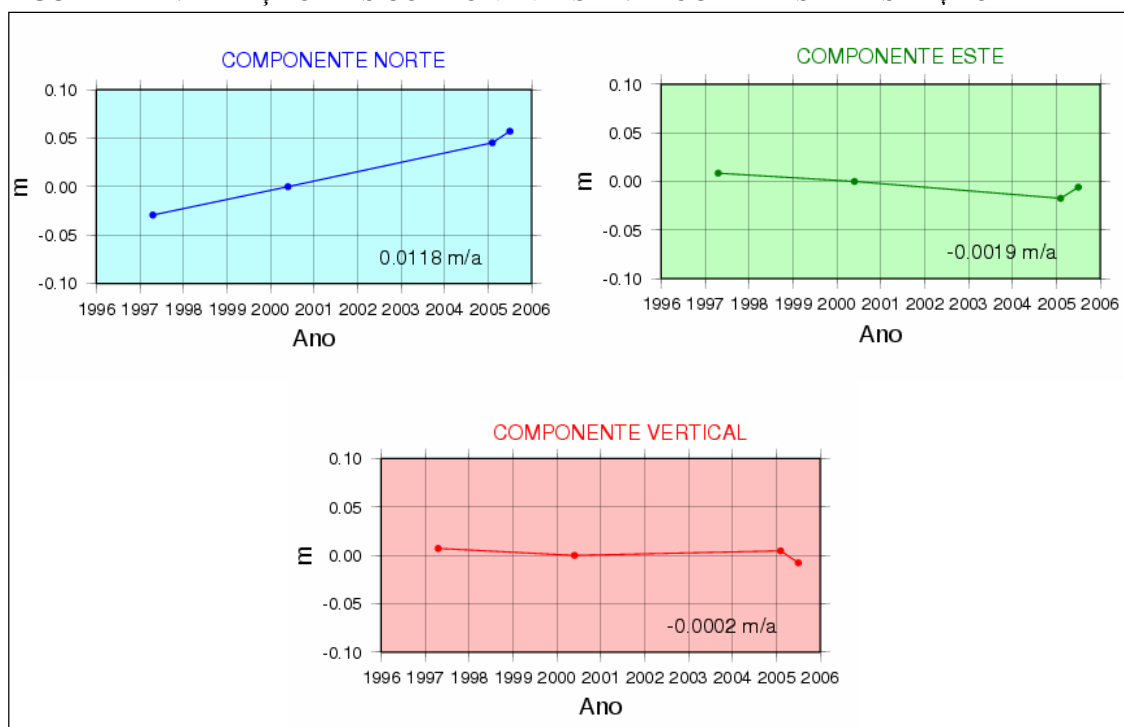
ESTAÇÃO	BRAZ	SANT	PARA	IMBI
V_{LAT} (m/a)	0,0114	0,0094	0,0113	0,0113
V_{LONG} (m/a)	-0,0046	-0,0009	-0,0037	-0,0035

TABELA 26 – VELOCIDADES DERIVADAS DO MODELO APKIM 2000

ESTAÇÃO	BRAZ	SANT	PARA	IMBI
V_{LAT} (m/a)	0,0095	0,0082	0,0094	0,0094
V_{LONG} (m/a)	-0,0033	-0,0005	-0,0027	-0,0026

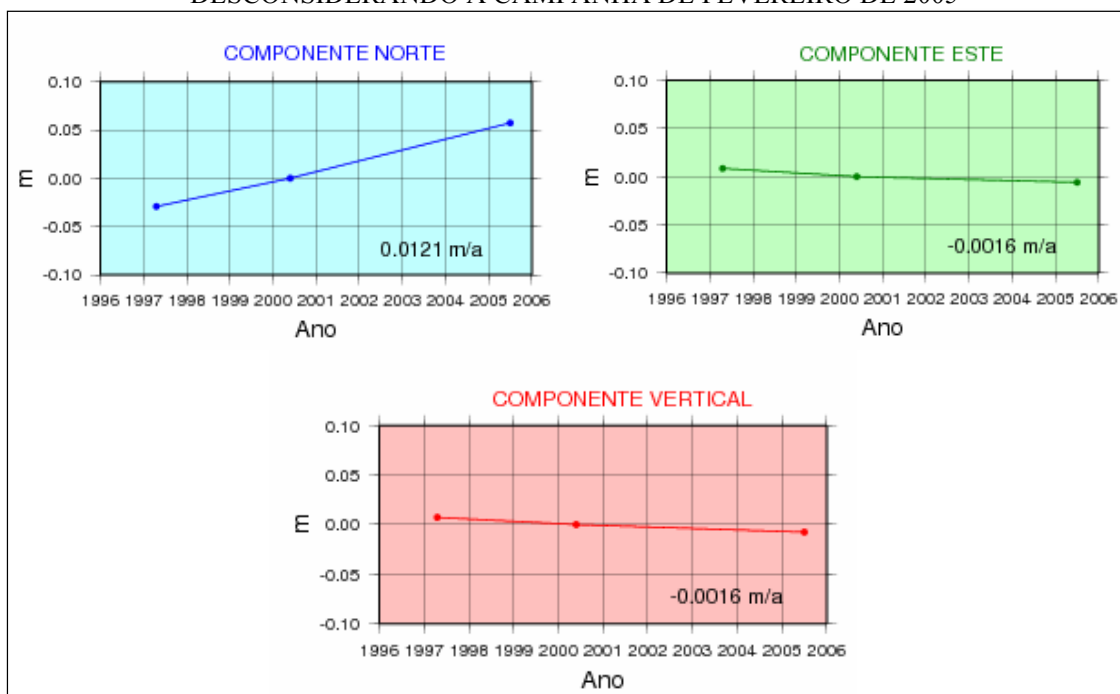
A Figura 41 representa de forma gráfica a variação temporal das três componentes e indica as respectivas velocidades estimadas para a estação IMBI. Como resultado do processamento das quatro campanhas de rastreamento (1997, 2000, fevereiro de 2005 e julho de 2005), observa-se uma pequena subsidência na estação IMBI numa taxa de 0,2 mm/ano.

FIGURA 41 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES E VELOCIDADES DA ESTAÇÃO IMBI



Dos resultados já apresentados, verifica-se que o processamento da campanha de fevereiro de 2005 forneceu coordenadas com desvios padrão cerca de duas vezes maiores que as demais campanhas (Tabela 22), bem como valores de repetibilidade maiores principalmente para a componente vertical (Figura 40). No Anexo 2 verifica-se que esta campanha foi a que mais sofreu influência dos efeitos devido ao multicaminho e/ou relógio do receptor. Desta forma se na combinação final visando a estimativa de velocidades para a estação IMBI, não forem incluídas as soluções diárias referentes à campanha de fevereiro de 2005, a variação das componentes e a velocidade da estação resultam como apresentado na Figura 42.

FIGURA 42 – VARIAÇÃO DAS COMPONENTES E VELOCIDADES DA ESTAÇÃO IMBI DESCONSIDERANDO A CAMPANHA DE FEVEREIRO DE 2005



Logo, como resultado do processamento de três campanhas de rastreamento (1997, 2000 e julho de 2005), observa-se também uma subsidência na estação IMBI, mas agora numa taxa de 1,6 mm/ano. A desconsideração da campanha de fevereiro de 2005 indicou tendências lineares para a variação temporal das coordenadas da estação.

Porém, apesar dos problemas apresentados para a campanha de fevereiro de

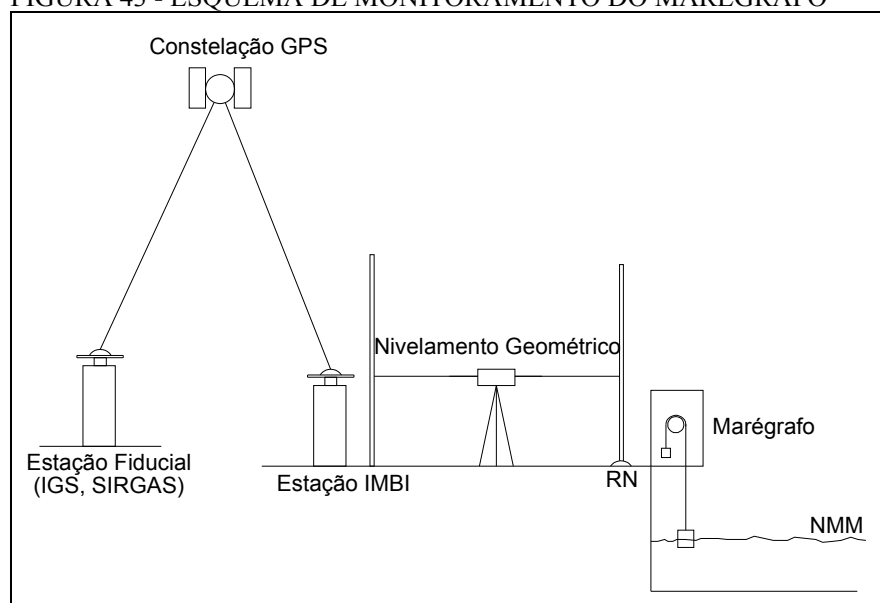
2005, uma hipótese que não pode ser descartada quando da análise da Figura 41, é a existência de alguma influência de ordem sazonal na variação das coordenadas da estação IMBI. Porém, este efeito só poderá ser comprovado com a implantação de uma estação de monitoramento contínuo no porto. Recomenda-se ainda que esta estação de monitoramento contínuo esteja localizada numa posição de forma a evitar o alto tráfego e estacionamento de caminhões de grande porte, que vem ocorrendo atualmente, nas proximidades da estação IMBI, em virtude de novo *layout* do porto decorrente de reforma recente.

A situação ideal para a estimativa da taxa de variação vertical da posição do marégrafo é a existência de vários anos de dados GPS. É importante enfatizar que os dados obtidos até agora em Imbituba constituem-se num importante arcabouço para estudos futuros.

5.6.4 Conexão entre a Estação GPS e o Marégrafo

A conexão entre a estação IMBI e o marégrafo foi realizada por nivelamento geométrico. Na Figura 43 apresenta-se um esquema de como é feita esta conexão.

FIGURA 43 - ESQUEMA DE MONITORAMENTO DO MARÉGRAFO



FONTE: adaptado de ASHKENAZI et al., 1997 e IOC, 2002, p. 38

Como já indicado, em Imbituba o marégrafo localiza-se sob o píer principal do porto. Em 1997 foi realizada a primeira conexão entre a estação IMBI e a RN IAGS 3M localizada no píer, aproximadamente sobre o marégrafo (CORDINI, 1998). Em 2001 a estação IMBI foi conectada a outras RRNN existentes dentro do porto, incluindo as duas RRNN localizadas sob o píer (RRNN 3012Z e 3012X), a régua maregráfica e a borda do tubo dos marégrafos. Esta operação foi repetida por ocasião das campanhas em 2005 (Figura 44). Os resultados já foram apresentados anteriormente, no item 5.5.

FIGURA 44 – NIVELAMENTO DA RÉGUA MAREGRÁFICA E DO TUBO DO MARÉGRAFO



6 ACOMPANHAMENTO DO DATUM VERTICAL BRASILEIRO – NÍVEL DE REFERÊNCIA

6.1 ASPECTOS GERAIS

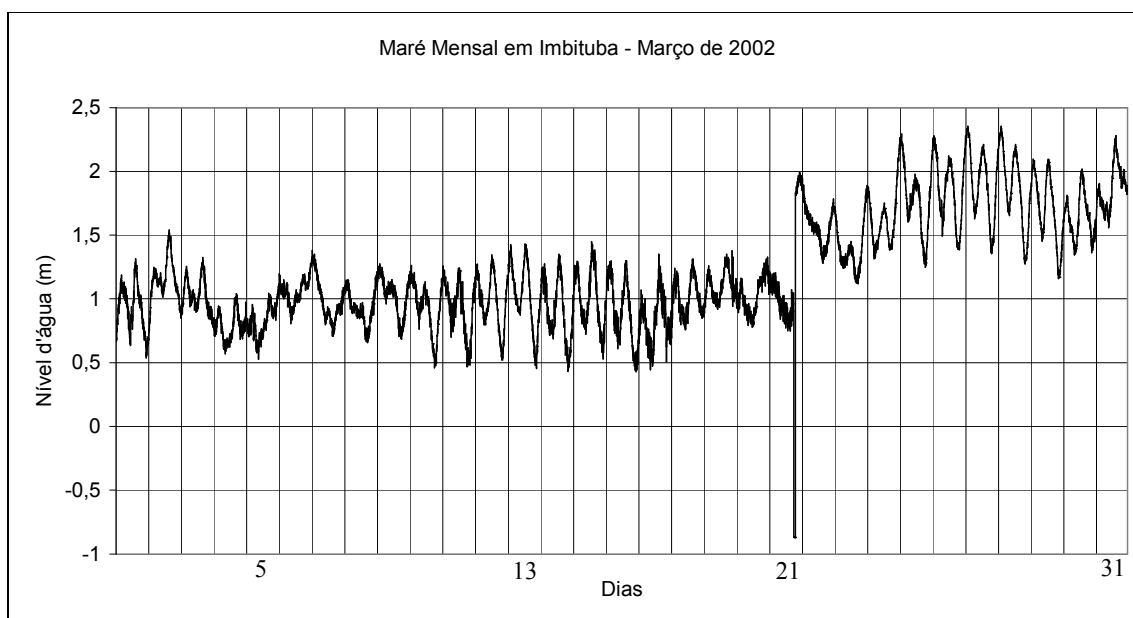
Para que um estudo completo acerca da evolução temporal do nível do mar no DVB seja realizado, é necessário:

- a) recuperar informações quanto a possíveis períodos de inatividade do marégrafo;
- b) recuperar as séries temporais de dados maregráficos referentes aos períodos cujos dados não foram localizados ainda (indicados no Capítulo 3). Existem algumas dificuldades com relação à recuperação das informações históricas, principalmente devido ao fato de que o monitoramento do nível do mar em Imbituba ficou a cargo de diferentes instituições ao longo do tempo. Não existiu uma política efetiva para a digitalização, tratamento e armazenamento dos dados durante todo o período de operação da estação maregráfica;
- c) digitalizar os maregramas;
- d) integrar ou interligar as séries temporais de dados maregráficos, verificando possíveis discontinuidades nos registros de nível d'água que não possuem origem oceanográfica. É necessário identificar qual é a referência de leitura dos diferentes sensores (marégrafo convencional, marégrafo digital, réguas) e estabelecer a diferença entre eles, de forma que as séries de observações do nível do mar possam ser interligadas.

É muito comum que as séries temporais possuam diferenças na referência das leituras, que são geralmente ocasionadas por mudanças de equipamentos e reposicionamento de sensores. Um exemplo de mudança do nível de referência está

apresentado na Figura 45, que mostra a série horária de observações do marégrafo digital de Imbituba para o mês de março de 2002. A variação do nível do mar ocorrida no dia 21 deve-se ao reposicionamento do sensor de nível d'água, ao qual as leituras são referenciadas. Esta variação pode ser corrigida visando obter uma série temporal de dados contínuos, porém não foi realizada neste trabalho devido à opção de se manter a massa de dados originais nas análises.

FIGURA 45 – SÉRIE DE OBSERVAÇÕES DO NÍVEL D'ÁGUA – EFEITO DEVIDO À MUDANÇA NA POSIÇÃO DO SENSOR DIGITAL EM IMBITUBA



É importante ter em mente que, usualmente, os registros maregráficos antigos não foram produzidos pelo mesmo marégrafo que existe atualmente em funcionamento. Porém, como cada marégrafo foi conectado as RRNN existentes na área, é essa conexão que permite estabelecer uma continuidade nas séries temporais de dados de nível d'água. De acordo com LUZ et al. (2002a), nas estações maregráficas convencionais, a referência imediata das observações é a régua de marés, cujas leituras frequentes permitem corrigir a escala dos dados registrados graficamente. Porém, a régua é uma referência bastante inadequada, pois se trata de um elemento de grande vulnerabilidade a mudanças de posição.

Para evitar que possíveis alterações na posição da régua introduzam

tendências irreais nos dados de nível do mar, é necessário realizar o nivelamento periódico da régua de marés. Essa operação transfere a referência dos dados coletados pelo marégrafo até as RRNN da estação maregráfica, materializando de forma permanente e inequívoca a superfície de referência dos dados (LUZ et al., 2002a).

Como apresentado no Capítulo 3, a situação dos dados maregráficos do Porto de Imbituba é a seguinte:

- a) para o período de 1948 a 1968 existem médias mensais e anuais que estão disponíveis no PSMSL;
- b) para o período de 1969 a 1985 é necessário recuperar e converter os registros gráficos para meio digital;
- c) os maregramas referentes ao período de 1986 a 1992 foram localizados e atualmente estão sendo digitalizados no LAIG;
- d) no período de 1993 a 1999 pode existir um possível período de inatividade do marégrafo;
- e) os registros gráficos obtidos a partir de 1999 estão em fase de digitalização no IBGE,
- f) a partir de agosto de 2001 existem, além dos registros gráficos provenientes do marégrafo convencional (marégrafo de bóia), registros digitais.

6.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS MAREGRÁFICOS PROVENIENTES DO SENSOR DIGITAL EM IMBITUBA

Para integração das séries temporais de dados maregráficos do IAGS (médias mensais do banco de dados do PSMSL para o período de setembro de 1948 a dezembro de 1968) e da RMPG (observações derivadas do sensor digital para o período de abril de 2002 a março de 2004 realizadas a cada cinco minutos), a amostragem temporal das duas séries foi compatibilizada.

Os dados do sensor digital são organizados em arquivos diários. Cada

arquivo contém as seguintes informações: horário da observação (*SampleTime*); data da observação (*SampleDate*); nível d'água (*AVE_Level*); densidade da água (*AVE_Density*); temperatura da água (*AVE_WaterTemp*); carga da bateria que mantém o sistema (*AVE_BatVolt*); temperatura interna do gabinete (*AVE_IntTemp*), entre outras. Abaixo se apresenta uma pequena parte deste arquivo para o dia 1 de abril de 2002:

SampleTime	SampleDate	Seconds	RecTime	RecDate	Resets
0:00:00	1/04/02	197164800	08:51:24	1/04/02	10
0:05:00	1/04/02	197165100	08:51:24	1/04/02	10
0:10:00	1/04/02	197165400	08:51:24	1/04/02	10
0:15:00	1/04/02	197165700	08:51:24	1/04/02	10
0:20:00	1/04/02	197166000	08:51:24	1/04/02	10

VAL_Door	AVE_Level [m]	AVE_Density [kg/m3]	AVE_WaterTemp [°C]	AVE_BatVolt [V]	AVE_IntTemp [°C]
Closed	1,8996	899,08	24,367	13,69	39,31
Closed	1,9265	898,93	24,306	13,69	39,31
Closed	1,9050	899,08	24,306	13,69	39,18
Closed	1,9291	899,08	24,306	13,69	39,18
Closed	1,9157	899,08	24,306	13,69	39,18

Estes dados foram organizados em arquivos mensais visando facilitar sua manipulação. Posteriormente, as observações do sensor digital em Imbituba (com amostragem de 5 minutos) foram filtradas com um filtro passa-baixa, simétrico e centrado no valor inteiro da hora, visando obter valores horários de nível d'água, de acordo com a equação abaixo, descrita em PUGH (1987, p. 416):

$$X_F(t) = F_0 X(t) + \sum_{m=1}^{54} F_m [X(t+i) + X(t-i)] \quad (10)$$

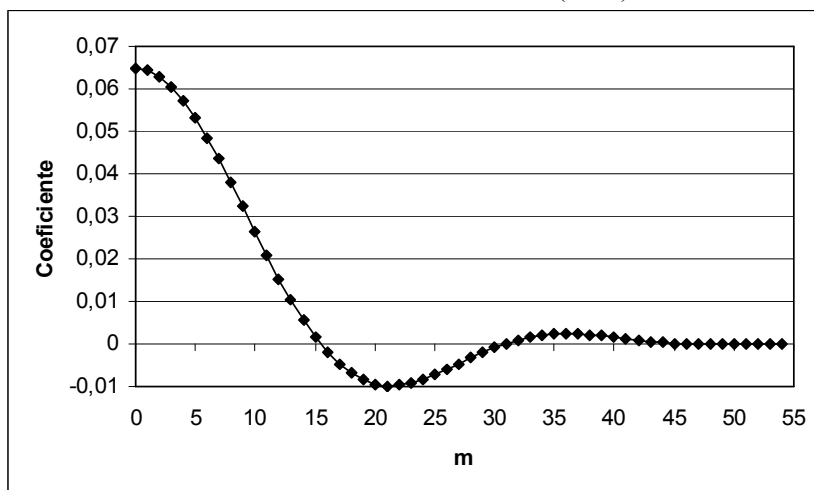
Na equação (10), t é o tempo para o qual se deseja calcular o nível d'água, neste caso é o valor inteiro da hora; $X(t)$ é o valor observado no tempo t ; m varia de 1 até 54 para observações realizadas a cada 5 minutos; F_m é o coeficiente do filtro, indicado na Tabela 27 e na Figura 46; e $i = 5, 10, 15, 20, \dots, 270$ minutos. Para a realização desta etapa foram desenvolvidas rotinas apropriadas no programa *MATLAB*.

TABELA 27 – COEFICIENTES F_m DO FILTRO SUGERIDO POR PUGH (1987)

F_m	F_m	F_m	F_m	F_m
$F_0 = 0.0648148$				
$F_1 = 0.0643225$	$F_2 = 0.0628604$	$F_3 = 0.0604728$	$F_4 = 0.0572315$	$F_5 = 0.0532331$
$F_6 = 0.0485954$	$F_7 = 0.0434525$	$F_8 = 0.0379505$	$F_9 = 0.0322412$	$F_{10} = 0.0264773$
$F_{11} = 0.0208063$	$F_{12} = 0.0153661$	$F_{13} = 0.0102800$	$F_{14} = 0.0056529$	$F_{15} = 0.0015685$
$F_{16} = -0.0019127$	$F_{17} = -0.0047544$	$F_{18} = -0.0069445$	$F_{19} = -0.0084938$	$F_{20} = -0.0094346$
$F_{21} = -0.0098173$	$F_{22} = -0.0097074$	$F_{23} = -0.0091818$	$F_{24} = -0.0083247$	$F_{25} = -0.0072233$
$F_{26} = -0.0059642$	$F_{27} = -0.0046296$	$F_{28} = -0.0032942$	$F_{29} = -0.0020225$	$F_{30} = -0.0008672$
$F_{31} = 0.0001321$	$F_{32} = 0.0009493$	$F_{33} = 0.0015716$	$F_{34} = 0.0019984$	$F_{35} = 0.0022398$
$F_{36} = 0.0023148$	$F_{37} = 0.0022492$	$F_{38} = 0.0020729$	$F_{39} = 0.0018178$	$F_{40} = 0.0015155$
$F_{41} = 0.0011954$	$F_{42} = 0.0008830$	$F_{43} = 0.0005986$	$F_{44} = 0.0003568$	$F_{45} = 0.0001662$
$F_{46} = 0.0000294$	$F_{47} = -0.0000560$	$F_{48} = -0.0000970$	$F_{49} = -0.0001032$	$F_{50} = -0.0000862$
$F_{51} = -0.0000578$	$F_{52} = -0.0000288$	$F_{53} = -0.0000077$	$F_{54} = 0.0000000$	

FONTE: PUGH, 1987, p. 419

FIGURA 46 – FILTRO SUGERIDO POR PUGH (1987)



FONTE: adaptado de PUGH, 1987, p. 419

Observa-se que, para realizar a filtragem, são utilizadas 54 observações anteriores e 54 observações posteriores à observação realizada nos valores inteiros da hora. Com isso, o filtro estende-se de $(t-4,5\text{horas})$ a $(t+4,5\text{horas})$. Como exemplo, apresenta-se um esquema para o cálculo do valor de nível d'água para as 12:00 horas. Neste caso, a expressão (10) assume a seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 X_F(12:00) = & F_0 X(12:00) + F_1 [X(12:05) + X(11:55)] + F_2 [X(12:10) + X(11:50)] + \\
 & + F_3 [X(12:15) + X(11:45)] + \dots
 \end{aligned}
 \quad (11)$$

Posteriormente, os valores horários do nível d'água ($X_F(t)$) foram filtrados através do filtro de 119 pontos centrado ao meio-dia, disponível no aplicativo SLPR2

da Universidade do Haváí, visando a obtenção de valores diários de nível d'água. Ressalta-se que as médias mensais do nível do mar são obtidas pela média aritmética dos valores diários. O aplicativo SLPR2 requer que os dados horários de nível d'água, que constituem o arquivo de entrada, possuam a seguinte formatação:

```
782IMBITUBA LAT=28 14 S LONG=048 39 W TMZONE=045W REF=00000 60 APR 2 M 30
782IMBI 2002 # 11 1875 1978 2093 2125 2114 2039 1949 1919 1927 1929 1911 1923
782IMBI 2002 4 12 1978 2086 2262 2393 2394 2312 2196 2117 2115 2157 2197 2161
782IMBI 2002 4 21 2118 2126 2144 2197 2214 2099 1964 1898 1865 1859 1896 1878
782IMBI 2002 4 22 1866 1952 2069 2194 2280 2260 2156 2081 2055 2087 2172 2201
782IMBI 2002 4 31 2188 2162 2121 2138 2151 2071 1946 1825 1746 1721 1715 1723
782IMBI 2002 4 32 1716 1695 1725 1802 1879 1902 1832 1752 1713 1709 1773 1858
782IMBI 2002 4 41 1917 1905 1828 1788 1781 1746 1670 1560 1466 1429 1449 1484
782IMBI 2002 4 42 1507 1477 1451 1512 1594 1661 1699 1695 1667 1690 1769 1831
782IMBI 2002 4 51 1910 1971 1947 1908 1845 1793 1784 1747 1657 1607 1596 1589
782IMBI 2002 4 52 1618 1610 1539 1495 1520 1581 1638 1649 1653 1670 1693 1759
782IMBI 2002 4 61 1846 1871 1856 1835 1757 1652 1649 1669 1640 1611 1592 1574
782IMBI 2002 4 62 1578 1575 1505 1411 1369 1387 1440 1508 1577 1621 1684 1761
```

Os valores grifados indicam: 782 o código da estação; IMBITUBA o nome da estação; 2002 o ano; 4 o mês (abril); 1 o dia da observação; e 1875 o valor horário de nível d'água em mm. Após realizar a filtragem, o aplicativo fornece como saída um arquivo contendo valores diários e mensais de nível d'água, conforme o exemplo a seguir:

782Imbituba Daily values 119-point filter

```
782IMBITUBA2002 33 1419 1626 1801 1852 1920 1869 1687 1621 1850 9999
782IMBITUBA2002 # 1 2084 2089 1865 1672 1687 1632 1583 1510 1562 1745 1814
782IMBITUBA2002 42 1861 1905 1857 1818 1813 1749 1857 1935 1816 2032 2047
782IMBITUBA2002 43 1729 1727 1901 1833 1905 1912 1764 1900 1820
782IMBITUBA2002 51 1887 1855 1903 1956 2025 1999 1842 1814 1875 1906 1751
782IMBITUBA2002 52 1777 1814 1865 1770 1872 1944 1786 1830 2058 2086 1944
```

Neste exemplo os valores grifados indicam: 782 o código da estação; IMBITUBA o nome da estação; 2002 o ano; 4 o mês (abril); 2084 o valor diário de nível d'água em mm (obtido por filtragem); e 1820 o valor mensal de nível d'água em mm (obtido por média simples)

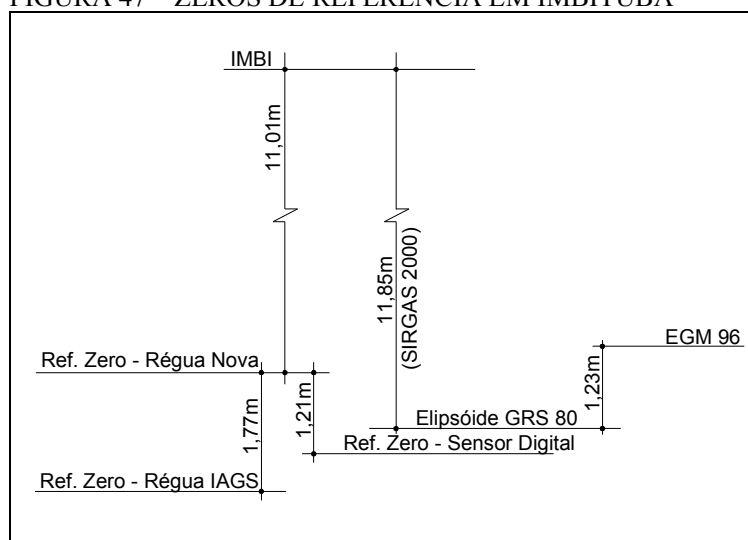
Um resumo contendo os resultados das etapas de filtragem dos dados do

marégrafo de Imbituba pode ser visto no Anexo 3. É importante ressaltar que com a filtragem dos dados derivados do sensor digital foi possível compatibilizar a amostragem temporal das duas séries temporais de dados do nível do mar: a série do banco de dados do PSMSL (de setembro de 1948 a dezembro de 1968) e a série da RMPG (de abril de 2002 a março de 2004).

6.3 INTEGRAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS DE DADOS MAREGRÁFICOS

Como as duas séries de medidas em Imbituba foram obtidas por diferentes equipamentos, elas possuem diferenças relacionadas com a referência das leituras. Após compatibilizar a amostragem temporal das duas séries (IAGS e RMPG), foi necessário estimar as diferenças entre a referência das mesmas, ou seja, estimar o “zero” ao qual cada série está vinculada (Figura 47). Foram utilizados os dados do Teste *Van de Castele* realizado em junho de 2003 para estimar as diferenças na referência zero do sensor digital, da régua maregráfica e do sensor analógico existentes atualmente em Imbituba, e dados de nivelamento de diferentes anos para estimar a diferença entre a referência zero do sensor digital e a referência dos dados do IAGS.

FIGURA 47 – ZEROS DE REFERÊNCIA EM IMBITUBA



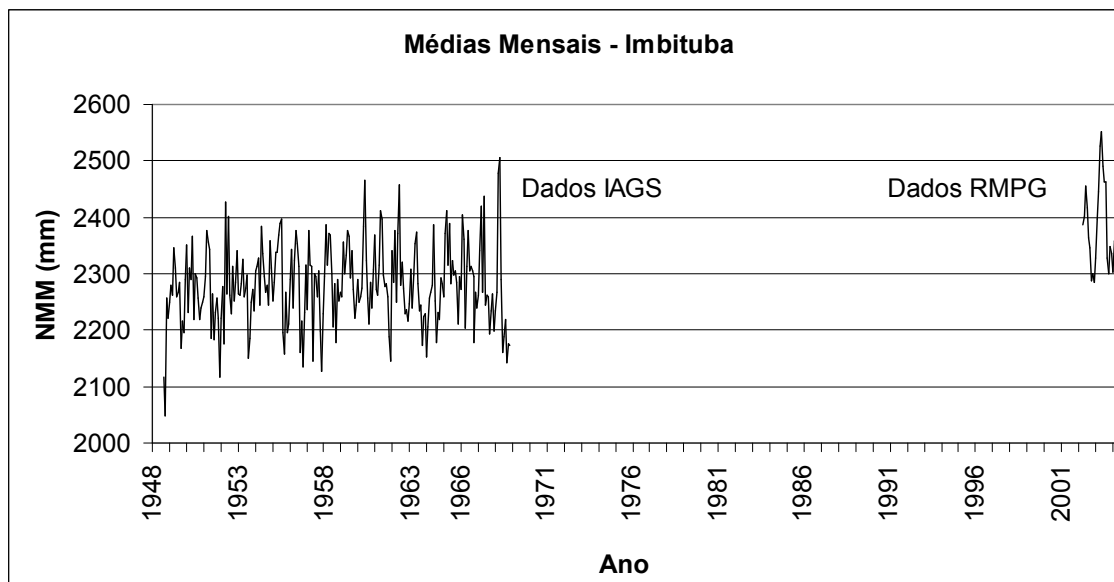
Os dados de nivelamento foram utilizados para estabelecer a posição vertical

dos diferentes sensores com relação a RN IAGS 3M, uma vez que o marégrafo que gerou a série temporal do IAGS não está mais em operação, mas é conhecido o desnível entre a referência zero deste marégrafo e esta RN.

As principais dificuldades encontradas decorrem da destruição de RRNN implantadas pelo IAGS na época de estabelecimento do Datum e das diferentes configurações de nivelamento ao longo dos anos, pois nem sempre as mesmas RRNN eram ocupadas em nivelamentos consecutivos.

Os resultados iniciais da integração das duas séries, apresentados na Figura 48, indicam uma elevação em torno de 2 mm/ano no NMM local. Porém, se apenas os dados do IAGS (1948 a 1968) são analisados a elevação é de cerca de 1,1 mm/ano (DALAZOANA et al., 2004a). Estes valores estão em concordância com as informações globais de elevação do nível do mar, baseadas em estudos realizados a partir de dados de marégrafos e dados de Altimetria por Satélites, como os indicados em CAZENAVE (1999) e CAZENAVE et al. (2003), por exemplo.

FIGURA 48 – MÉDIAS MENSAIS DO NÍVEL DO MAR EM IMBITUBA



Vale ressaltar que os resultados mostrados na Figura 48 corrigem a integração preliminar das duas séries, apresentada por LUZ e GUIMARÃES (2003), e não levam em consideração movimentos verticais da crosta. Se levado em

consideração o movimento vertical da crosta, conforme discutido na seção 5.6.3, e supondo que este movimento possa ser considerado estável desde a época de definição do NMM em Imbituba, tem-se que: a taxa de variação absoluta anual do NMM obtida em Imbituba é de 1,8 mm/ano quando considerado o resultado do processamento das quatro campanhas GPS, que indicou uma subsidência da estação de -0,2 mm/ano; e de 0,4 mm/ano quando considerado o resultado do processamento de três campanhas GPS, que indicou uma subsidência da estação de -1,6 mm/ano.

Um aspecto importante que deve ser considerado nos estudos em Imbituba é o longo período com dados a serem recuperados (como pode ser visualizado na Figura 48), que será parcialmente solucionado com a digitalização dos maregramas referentes ao período de 1986 a 1992. O resgate e a análise dos dados maregráficos em Imbituba é importante para a verificação do comportamento do NMM na região do DVB. De acordo com DREWES (2003), a determinação da altitude de um ponto por conexão direta ao nível do mar atual no marégrafo de referência (fora da época de definição do Datum vertical) ou a instalação de um novo marégrafo (por exemplo, em caso de destruição), requer a realização de uma correção devido à variação do nível do mar com o tempo. No contexto da integração de redes verticais na América do Sul, a verificação da evolução temporal do NMM é necessária pois cada Datum vertical foi estabelecido numa época particular.

Vale a pena ressaltar que a recuperação e integração das séries temporais de dados do nível do mar em Imbituba são processos em desenvolvimento que necessitam de melhorias e podem ser auxiliados com o uso de dados da Altimetria por Satélites. Uma possibilidade na tentativa de solucionar problemas como a perda ou inexistência de dados maregráficos, seria a incorporação de dados provenientes dos satélites altímetros. A integração de dados da Altimetria por Satélites também pode vir a auxiliar no sentido da estimativa de variações temporais do NMM e também requer a análise dos dados maregráficos e a interligação da série histórica, como discutido no trabalho.

7 POTENCIALIDADES DA INTEGRAÇÃO DE DADOS DA ALTIMETRIA POR SATÉLITES

7.1 VANTAGENS DA INTEGRAÇÃO

Os marégrafos e os satélites altímetros observam o nível do mar, de forma pontual e ao longo de perfis respectivamente. O uso conjunto de dados de marégrafos e de dados das diferentes missões de Altimetria por Satélites traz vantagens. A técnica da Altimetria por Satélites aparece como promissora para o monitoramento do nível do mar proporcionando mensurações absolutas do nível do mar e com uma cobertura espacial homogênea, apesar da baixa resolução temporal de observações e de sua curta série temporal de dados quando comparada com a série de dados dos marégrafos. AARUP (2003) e WOODWORTH (2003) indicam que os dados maregráficos têm maior continuidade, a série temporal é mais longa, a frequência da amostragem é maior, existe a possibilidade de instalar marégrafos nas altas latitudes, além dos marégrafos serem usados na calibração dos radares altímetros e em aplicações costeiras, porém a resolução espacial dos dados maregráficos é baixa.

Tal integração melhora o conhecimento das variações do nível do mar em escala regional e global; pode permitir a recuperação de informação sobre variações do nível do mar em marégrafos com dados descontínuos; permite a estimativa das diferenças entre *Data* verticais e o geóide; e ainda permite verificar a estabilidade dos radares altímetros a longo período. De acordo com LIEBSCH et al. (2002, p. 213), o uso de observações das diferentes missões de Altimetria por Satélites torna possível a investigação de fenômenos oceanográficos por um período de cerca de 20 anos. Estudos visando a comparação entre dados maregráficos e dados provenientes da Altimetria por Satélites podem ser encontrados, por exemplo, em: LIEBSCH et al. (2002), que realizam comparações entre a altitude da superfície do mar derivada das missões Geosat, ERS-1, ERS-2 e T/P com observações maregráficas; ACUÑA et al.

(2002), onde são usados os dados das missões T/P, ERS-1 e ERS-2 e dados maregráficos; e FENOGLIO e BELIKOV (1994), onde são investigados os dados das missões ERS-1 e T/P e dados maregráficos.

7.2 COMPARAÇÃO DA SÉRIE TEMPORAL DE DADOS DO MARÉGRAFO COM DADOS DO RADAR ALTÍMETRO – ASPECTOS GERAIS

Há diferentes métodos para comparar, verificar e validar observações da Altimetria por Satélites usando dados do nível do mar obtidos por marégrafos. Essas abordagens baseiam-se no monitoramento da série temporal de nível do mar em um ou mais marégrafos e as correspondentes altitudes da superfície do mar obtidas pelo radar altímetro. A comparação destas séries temporais e como consequência a integração dos dados esbarram em alguns problemas decorrentes dos seguintes aspectos:

- a) as séries temporais não possuem a mesma amostragem temporal, com isso as observações não se referem aos mesmos instantes de tempo. As séries temporais do marégrafo podem ter uma amostragem horária, diária, mensal, dependente de como os dados estão disponibilizados. Já o satélite T/P, por exemplo, realiza observações num mesmo local a cada 9,9156 dias. Logo, faz-se necessário realizar a filtragem ou reamostragem de uma das séries visando compatibilizá-las;
- b) as observações não têm o mesmo sistema de referência vertical. Com isso, é possível realizar uma comparação apenas relativa entre as duas séries. A comparação absoluta só é possível se a posição geocêntrica do marégrafo for conhecida;
- c) normalmente os marégrafos não situam-se exatamente nas trilhas dos satélites altímetros (LIEBSCH et al., 2002, p. 214). Assim, a variabilidade espacial da superfície do mar entre o local das duas observações (marégrafo x altímetro) deve ser considerada (LIEBSCH et al., 2002, p. 218);

d) os dados da Altimetria por Satélites perdem resolução nas proximidades da costa devido às perturbações decorrentes da pequena profundidade, e à interferência do terreno no sinal de retorno.

Há possibilidades de redução desses problemas com os seguintes procedimentos:

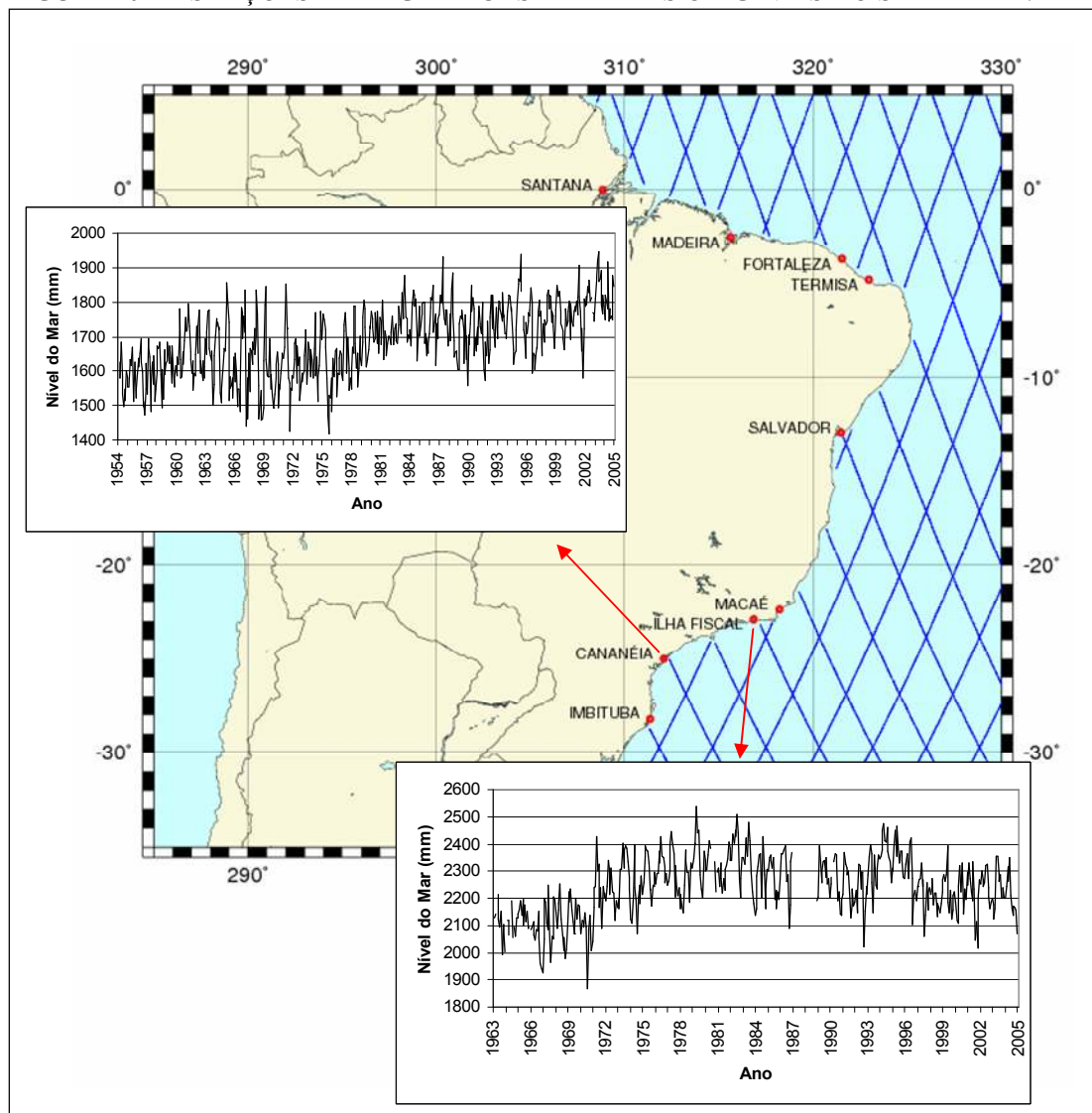
- a) reprocessamento dos dados da Altimetria por Satélites em áreas determinadas visando a eliminação dos efeitos costeiros (*retracking* dos dados da Altimetria por Satélites nas áreas próximas da costa - o *retracking* significa melhorar os dados da Altimetria por Satélites baseado na análise do sinal de retorno, diferentes técnicas são aplicadas levando em consideração as características da superfície refletora: água, gelo, etc.) (SEEBER, 2003, p. 454);
- b) uso de dados de diferentes missões; considerando assim a variabilidade na região e não apenas ao longo da trilha;
- c) consideração das variações temporais e espaciais da superfície do mar entre o marégrafo e o ponto das mensurações do altímetro, ou seja, extrapolar os dados da Altimetria por Satélites até a costa.

De acordo com BOSCH (2003, p. 17), têm sido realizadas comparações relativas entre séries temporais de SSH derivadas da Altimetria por Satélites e registros maregráficos considerando pontos na trilha do satélite que mais se aproximam do marégrafo ou com máxima correlação entre as duas séries. Indica ainda, que estas comparações têm mostrado coeficientes de correlação de até 0,8 ou ainda maiores.

A recuperação e análise das séries temporais de dados maregráficos permite entender a evolução do NMM em uma região. Devido ao longo período de dados ainda indisponíveis para Imbituba, é relevante analisar dados de marégrafos com longas séries temporais para verificar variações do nível do mar na costa brasileira, e comparar estas séries com dados da Altimetria por Satélites. Resultados obtidos com este tipo de estudo podem indicar a possível metodologia a ser adotada para Imbituba.

A Figura 49 mostra um mapa com a localização de algumas estações maregráficas na costa brasileira (pontos em vermelho) bem como as trilhas do satélite T/P (linhas em azul).

FIGURA 49 – ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS E TRILHAS ORIGINAIS DO SATÉLITE T/P



Os marégrafos de Cananéia (São Paulo) e Ilha Fiscal (Rio de Janeiro) são de especial interesse na região devido à longa série temporal de dados do nível do mar que possuem. Ambas as estações possuem dados disponíveis no período da missão T/P (de 1992 até 2002, antes do reposicionamento do satélite), e estão favoravelmente localizadas em relação às trilhas deste satélite.

7.3 ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DE CANANÉIA E ILHA FISCAL

A estação maregráfica de Cananéia é mantida pelo Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO-USP) e está ativa desde 1954. É possível acessar os registros horários do nível do mar, bem como médias diárias e mensais, para o período de fevereiro de 1954 até dezembro de 2004, no banco de dados do *University of Hawaii Sea Level Center* (UHSLC) no seguinte endereço eletrônico <<http://ilikai.soest.hawaii.edu/uhs/c/rqdsstc.html>>. De acordo com CALDWELL (2004), esta estação é de boa qualidade apesar de localizar-se num estuário. Mesmo sendo periodicamente afetada por fluxo de água doce, de menor densidade que as águas oceânicas, os sinais oceânicos são preservados para as frequências mais importantes das marés oceânicas. Ainda segundo CALDWELL (2004), Cananéia possui um dos melhores registros disponíveis no Brasil. As médias mensais disponíveis para a estação Cananéia podem ser visualizadas na Figura 49.

A estação maregráfica de Ilha Fiscal é mantida pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil e encontra-se ativa desde 1963. Também é possível acessar dados horários, diários e mensais do nível do mar para o período de fevereiro de 1963 até dezembro de 2004, no banco de dados do UHSLC. As médias mensais disponíveis para a estação Ilha Fiscal também podem ser visualizadas na Figura 49.

7.4 DADOS UTILIZADOS E METODOLOGIA ADOTADA

Neste estudo foram utilizados dados derivados da missão T/P em sua configuração orbital original, cujo período é de aproximadamente dez anos, de setembro de 1992 a agosto de 2002 (ciclos 1 a 364). Os dados provenientes do satélite T/P foram escolhidos devido ao fato desta ter sido a mais duradoura missão da Altimetria por Satélites, passado por um contínuo processo de calibração além de fornecer dados de alta precisão, cerca de 2cm (SEEBER, 2003, p. 450). Foram

utilizados também, dados maregráficos horários, provenientes do banco de dados do UHSLC, dos marégrafos de Cananéia e Ilha Fiscal.

Para comparar relativamente as séries temporais dos marégrafos em Cananéia e Ilha Fiscal (com amostragem horária) e os dados provenientes do satélite T/P (com amostragem de aproximadamente 10 dias), foram utilizados valores de SSH (*Sea Surface Height*) do banco de dados do *Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut* (DGFI). Neste banco de dados, os dados originais das diferentes missões já possuem certo grau de processamento, como exemplo pode-se citar que os valores de SSH sofrem correção das marés baseada no modelo *Global Ocean Tide Model* - GOT99.2b (BOSCH, 2003, p. 13) e correção devido ao efeito do barômetro inverso, entre outras correções. O efeito do barômetro inverso corresponde a resposta do oceano às flutuações da pressão atmosférica, ou seja, corresponde à deformações na superfície do mar devido a variações da pressão atmosférica.

Além disso, o modelo CLS01 (HERNANDEZ; SCHAEFFER, 2001) é utilizado como modelo do NMM no cálculo de valores de SSHA. Desta forma, em função da necessidade imposta pelos estudos eventualmente é necessário retirar ou adicionar correções aos valores de SSH.

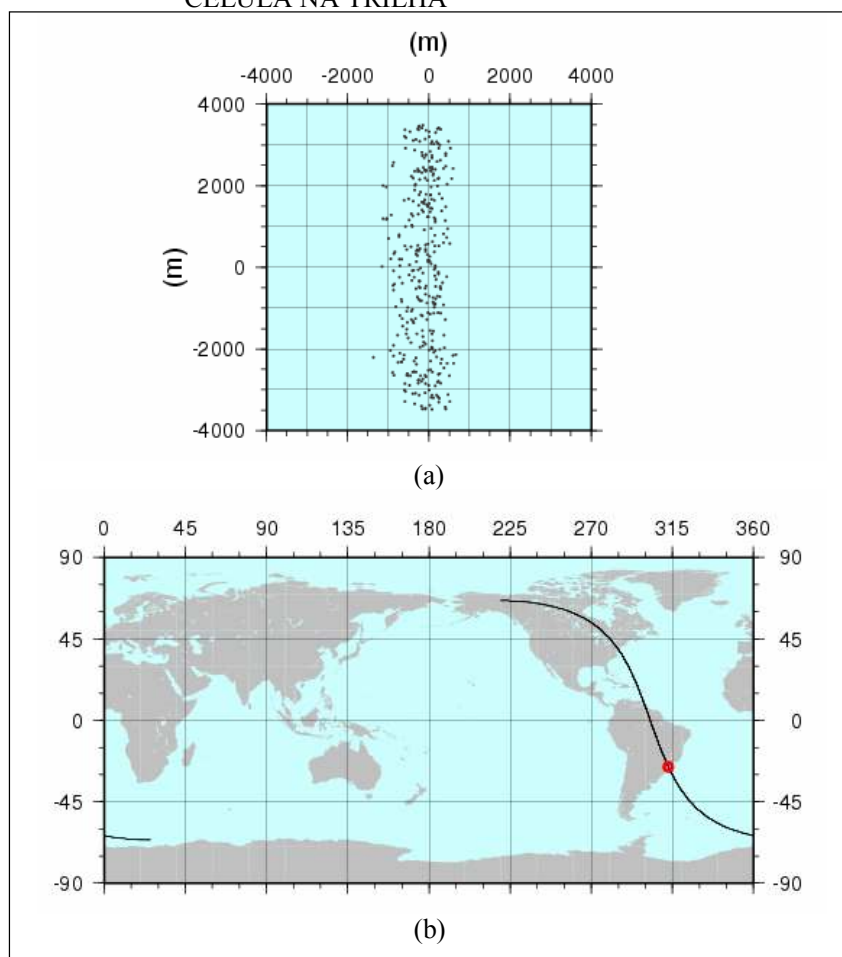
Os dados do DGFI estão armazenados em arquivos no formato binário, para realizar a leitura destes arquivos foram utilizadas rotinas já existentes no DGFI. Posteriormente, para a realização dos estudos indicados neste trabalho foram desenvolvidas rotinas específicas em *MatLab*.

O banco de dados do DGFI foi organizado de forma que cada valor de SSH está relacionado a uma pequena célula, ou compartimento, definida ao longo da trilha do satélite (Figura 50). Cada célula possui comprimento suficiente para que a ela seja relacionado ao menos um valor de SSH em cada ciclo. Desta forma é possível gerar séries temporais de SSH em cada célula.

A Figura 50 (a) mostra a distribuição dos dados de SSH para uma célula localizada nas proximidades da costa brasileira; cada ponto indica um valor de SSH

obtido naquela célula específica durante o período da missão T/P. A célula possui aproximadamente 7 km de comprimento e as observações encontram-se ao longo da trilha com uma dispersão lateral de ± 1 km, as unidades da figura estão em metros. A Figura 50 (b) mostra a localização espacial desta célula (círculo vermelho) na trilha do satélite (curva em preto).

FIGURA 50 – DISTRIBUIÇÃO DOS DADOS DE SSH NA CÉLULA E LOCALIZAÇÃO DA CÉLULA NA TRILHA

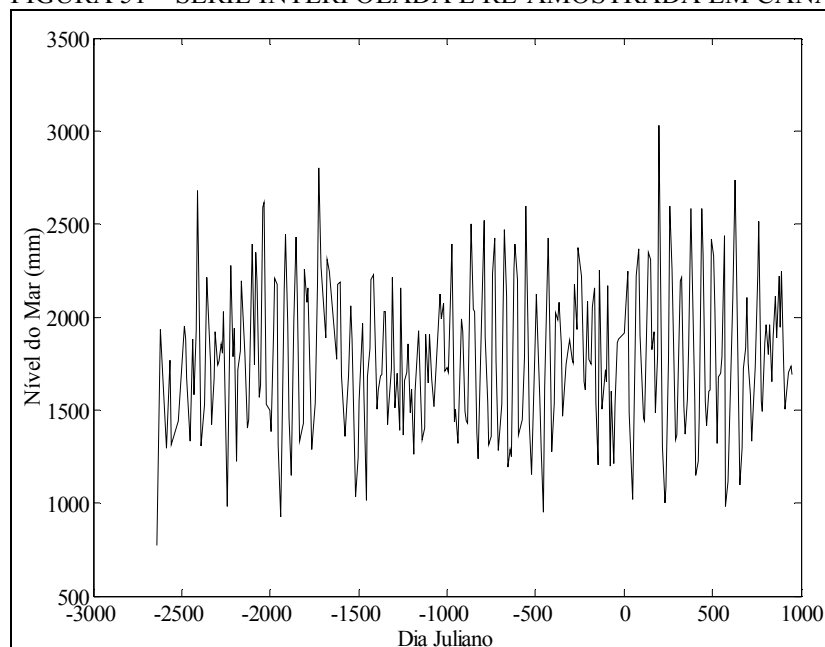


Os valores de SSH fora do intervalo $SSH_M \pm 3\sigma$ foram eliminados da comparação, sendo SSH_M o valor médio da SSH para o período analisado e σ o desvio padrão da média. Além disso, como os dados dos marégrafos têm amostragem horária e não foram corrigidos do efeito do barômetro inverso, as correções para as marés oceânicas e barômetro inverso, que estavam aplicadas aos valores de SSH

provenientes do banco de dados do DGFI, foram removidas dos dados da Altimetria por Satélites. Portanto, assume-se que tanto o marégrafo quanto o radar altímetro estão observando o mesmo sinal oceanográfico. A não correção do efeito devido às marés oceânicas gera séries temporais com desvios padrão maiores, porém a comparação torna-se mais consistente uma vez que erros provenientes dos modelos oceanográficos utilizados no cálculo da correção de marés não estão presentes. Estes modelos de maré oceânica fornecem estimativas da amplitude e fase para os principais componentes harmônicos.

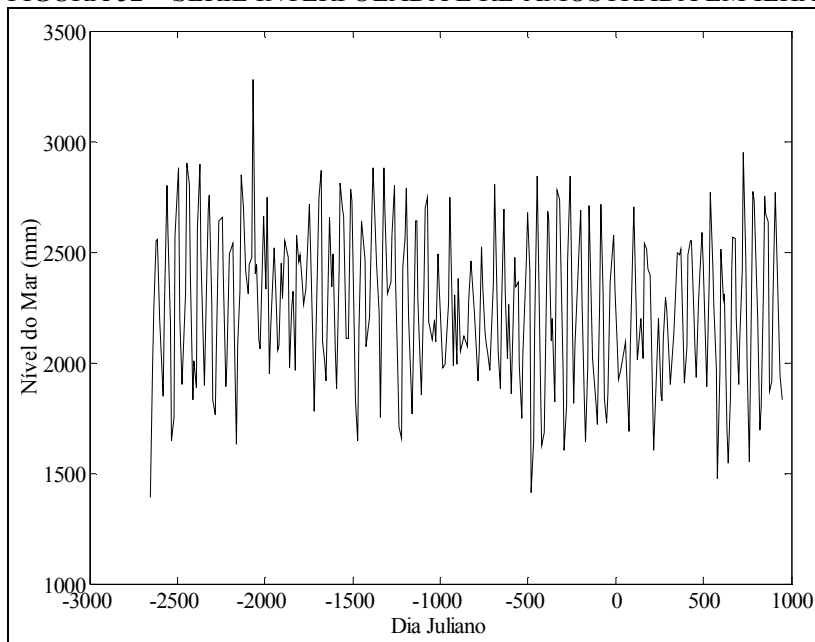
Como as séries temporais de nível do mar observadas em Cananéia e Ilha Fiscal têm amostragem horária, estas foram interpoladas e re-amostradas para os mesmos instantes de tempo das observações do altímetro por interpolação cúbica. Dois exemplos de resultados da interpolação podem ser visualizados nas Figuras 51 e 52.

FIGURA 51 – SÉRIE INTERPOLADA E RE-AMOSTRADA EM CANANÉIA



NOTA: O Dia Juliano 0 corresponde, neste trabalho, às 12:00 horas de 1/1/2000.

FIGURA 52 – SÉRIE INTERPOLADA E RE-AMOSTRADA EM ILHA FISCAL



NOTA: O Dia Juliano 0 corresponde, neste trabalho, às 12:00 horas de 1/1/2000.

Amostragens horárias dos dados do marégrafo são de interesse uma vez que permitem comparar o nível do mar “instantâneo” observado pelo marégrafo e pelo altímetro. Um aspecto importante a ser ressaltado é de que na comparação entre dados de marégrafos e da missão T/P duas situações são possíveis:

- a) disponibilidade de médias mensais do nível do mar e dados do altímetro a cada 10 dias, sendo necessário interpolar os valores do T/P para que tenham a mesma amostragem dos dados do marégrafo;
- b) a segunda situação refere-se a uma amostragem maior de dados do marégrafo que são interpolados para os instantes de observação do altímetro, é a situação mais desejável e é a utilizada neste trabalho.

A comparação dos dados maregráficos e das séries de SSH foi realizada considerando a trilha mais próxima de cada marégrafo. Além disso, a comparação foi feita para cada célula localizada ao longo da trilha de interesse, usando as 71 células mais próximas de cada marégrafo. Esse conjunto de células compreende dados localizados até aproximadamente a 500 km da costa, com isso é possível verificar os

resultados da comparação nas células localizadas nas proximidades do marégrafo e nas células mais afastadas.

Com os dados do T/P (ciclo 1 a 364), foi gerada uma série temporal de SSH para cada uma das 71 células. Esta série foi comparada com a série temporal derivada das observações nos marégrafos interpoladas para os instantes de observação da SSH pelo altímetro. As Figuras 53 e 54 mostram os resultados da comparação no marégrafo de Cananéia, tendo por base o coeficiente de correlação e o desvio padrão da diferença entre as séries, respectivamente. A célula mais próxima da costa (cerca de 28 km) é a de número 427. A Figura 55 mostra a quantidade de dados de SSH disponível em cada célula. É interessante notar que os melhores resultados referem-se à célula 432, situada aproximadamente a 53 km da costa. Ressalta-se que a comparação é relativa, uma vez que as duas séries possuem zeros de referência diferentes.

FIGURA 53– COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO - CANANÉIA

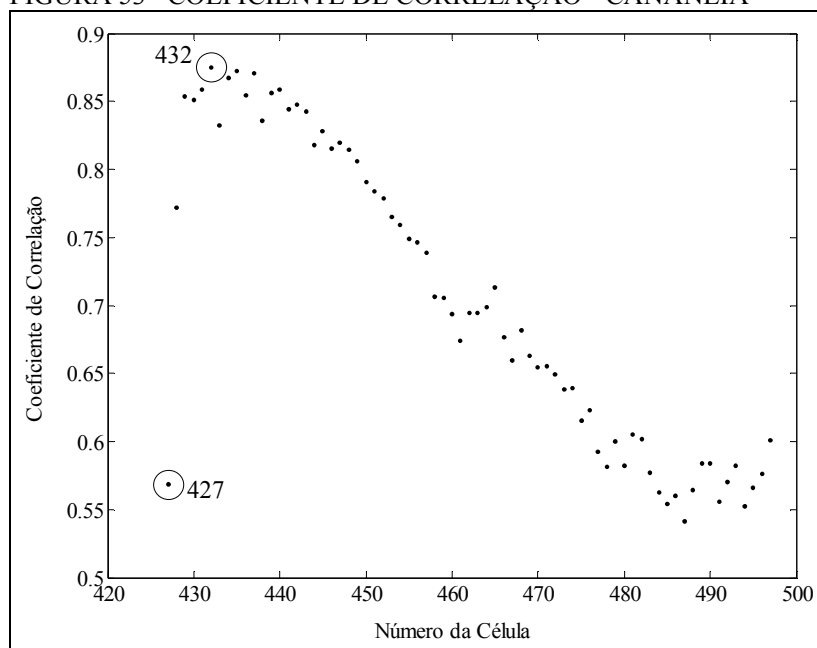


FIGURA 54 – DESVIO PADRÃO DA DIFERENÇA ENTRE AS SÉRIES - CANANÉIA

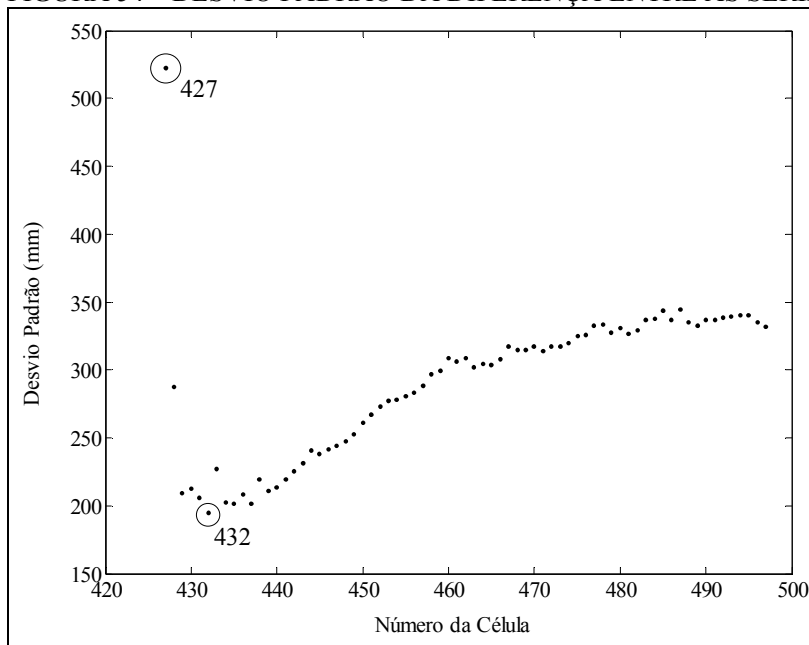
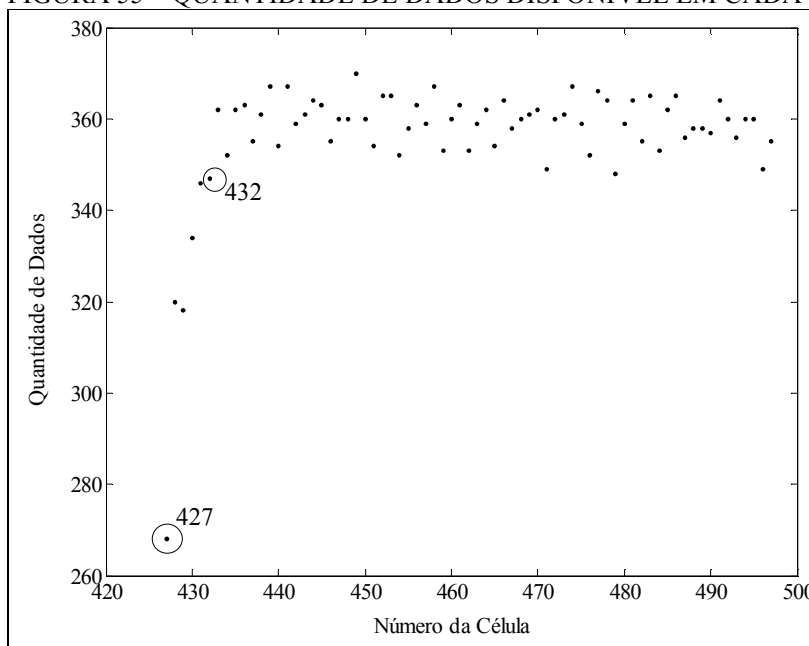


FIGURA 55 – QUANTIDADE DE DADOS DISPONÍVEL EM CADA CÉLULA - CANANÉIA



Para o marégrafo de Ilha Fiscal, foram obtidos resultados análogos aos de Cananéia (Figuras 56, 57 e 58). Neste caso, a célula mais próxima da costa (cerca de 48 km) é a de número 395. Os melhores resultados obtidos para Ilha Fiscal referem-se à célula 398, situada aproximadamente a 67 km da costa. Tanto os coeficientes de

correlação, como os desvios padrão e a quantidade de dados, mostram-se melhores do que em Cananéia, o que pode indicar que as observações maregráficas em Ilha Fiscal refletem melhor as condições de mar aberto onde são realizadas as observações do altímetro; e que a localização geográfica da estação Cananéia (estuário) exerce influência sobre os resultados.

FIGURA 56 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO - ILHA FISCAL

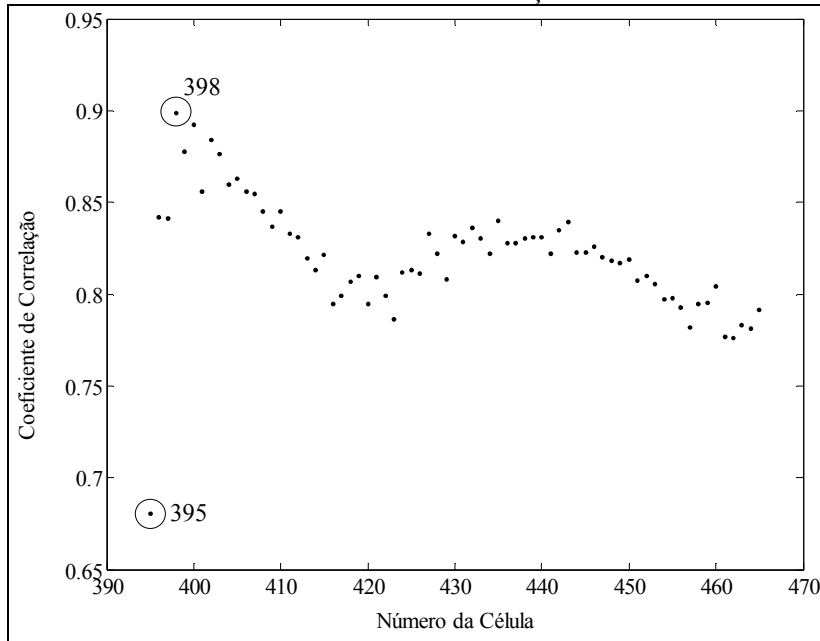


FIGURA 57 – DESVIO PADRÃO DA DIFERENÇA ENTRE AS SÉRIES - ILHA FISCAL

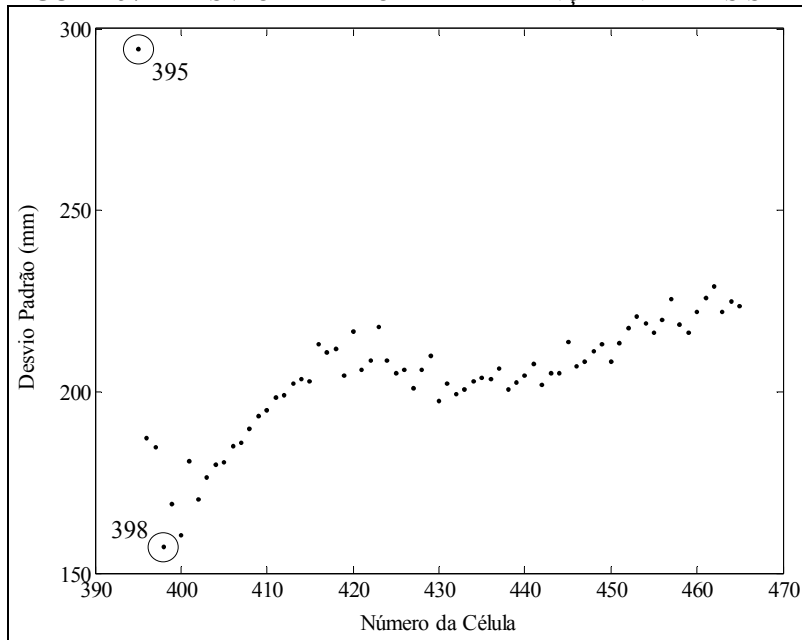
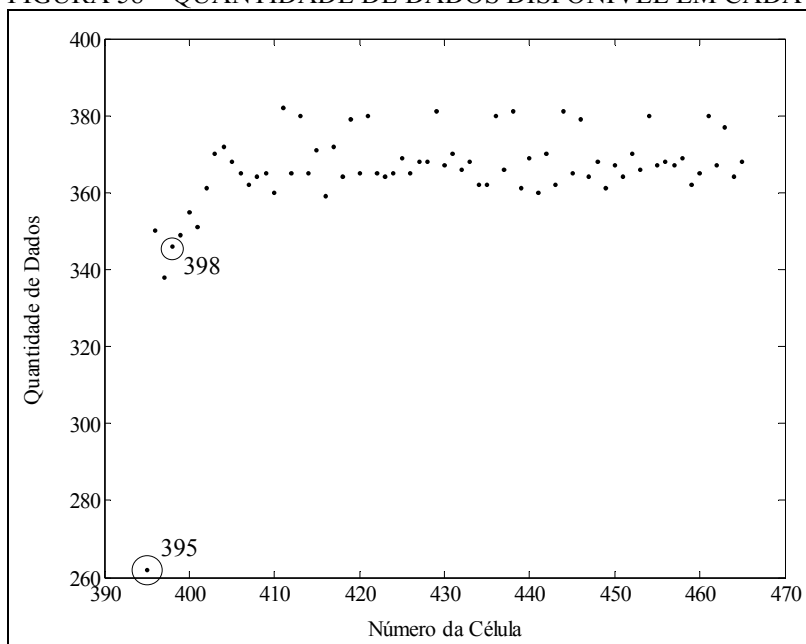


FIGURA 58 – QUANTIDADE DE DADOS DISPONÍVEL EM CADA CÉLULA - ILHA FISCAL



A Tabela 28 indica o número da célula, o coeficiente de correlação entre as séries, o desvio padrão da diferença e a quantidade de dados disponíveis para as células cuja comparação das séries temporais apresentou melhores resultados. As Figuras 59 e 60 ilustram as séries temporais de dados maregráficos e da Altimetria por Satélites nestas células.

TABELA 28 – RESULTADOS DA COMPARAÇÃO

ESTAÇÃO	CANANÉIA	ILHA FISCAL
Célula	432	398
Coeficiente de Correlação	0,87	0,90
Desvio Padrão (mm)	195,1	157,0
Quantidade de dados	347	346
Distância da costa (km)	53	67

FIGURA 59 – SÉRIES TEMPORAIS PARA A CÉLULA 432 - CANANÉIA

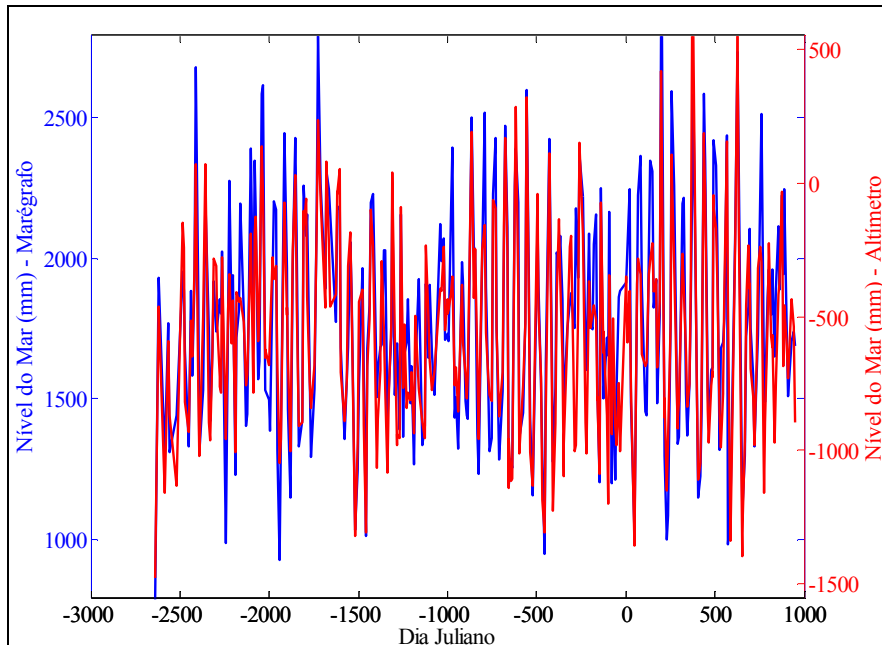
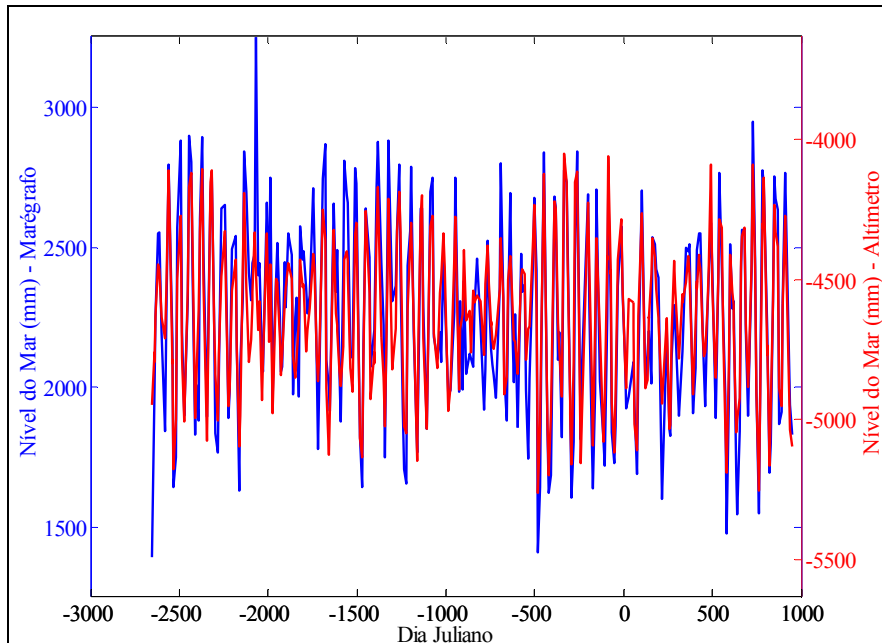


FIGURA 60 – SÉRIES TEMPORAIS PARA A CÉLULA 398 - ILHA FISCAL



Foram realizados alguns estudos no sentido de aplicar uma correção diferencial de maré aos dados da Altimetria por Satélites. Esta correção diferencial baseou-se na comparação entre as componentes harmônicas calculadas nas células e as calculadas no marégrafo. A Tabela 29 apresenta as componentes consideradas no

estudo. Além destas, também foi considerada a componente lunar quarto-diurna (M_4).

TABELA 29 – CARACTERÍSTICAS DAS COMPONENTES HARMÔNICAS

ESPÉCIE E NOME	SÍMBOLO	PERÍODO (horas solares)	AMPLITUDES (relativas a M_2)
SEMI DIURNA			
Lunar principal	M_2	12,42	100
Solar principal	S_2	12,00	47
Lunar elíptica	N_2	12,66	19
Luni-solar	K_2	11,97	13
DIURNA			
Luni-solar	K_1	23,93	58
Lunar principal	O_1	25,82	42
Solar principal	P_1	24,07	19
Lunar elíptica	Q_1	26,87	8

FONTE: adaptado de POND; PICKARD, 1983, p. 260

NOTA: Apresentam-se os componentes com seu tamanho relativo ao maior, M_2 , representado com o valor 100.

A estimativa das componentes harmônicas foi realizada com base em aplicativos para análise de marés desenvolvidos no programa *MATLAB* pelo *Dipl. Ing.* Roman Savcenko do DGFI. As informações e detalhes quanto à análise de marés a partir de dados da Altimetria por Satélites podem ser vistos em LE PROVOST (2001).

Os resultados preliminares mostraram uma melhoria tanto no coeficiente de correlação como no desvio padrão da diferença entre as séries temporais. As Figuras 61 e 62 mostram os resultados para Cananéia: coeficiente de correlação e desvio padrão, respectivamente. As Figuras 63 e 64 mostram os resultados para Ilha Fiscal: coeficiente de correlação e desvio padrão, respectivamente.

FIGURA 61 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO APÓS CORREÇÃO - CANANÉIA

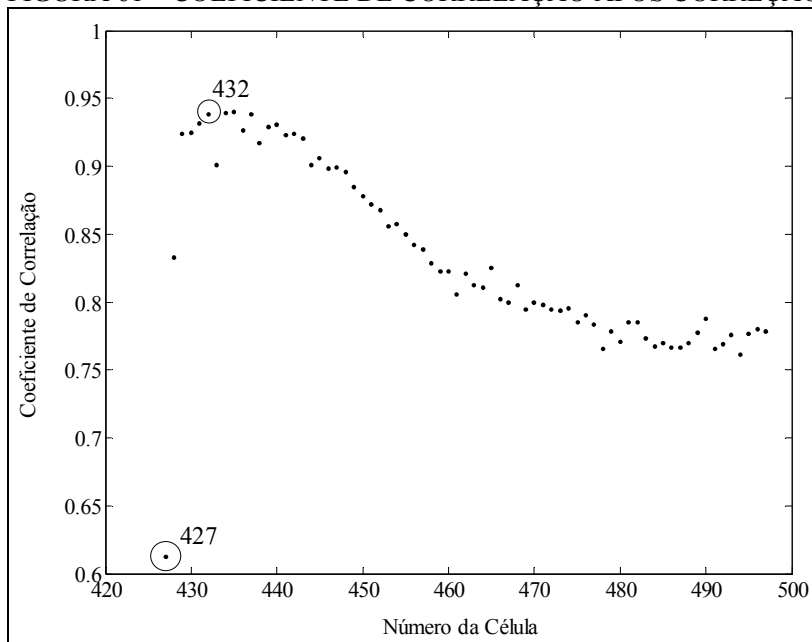


FIGURA 62 – DESVIO PADRÃO APÓS CORREÇÃO - CANANÉIA

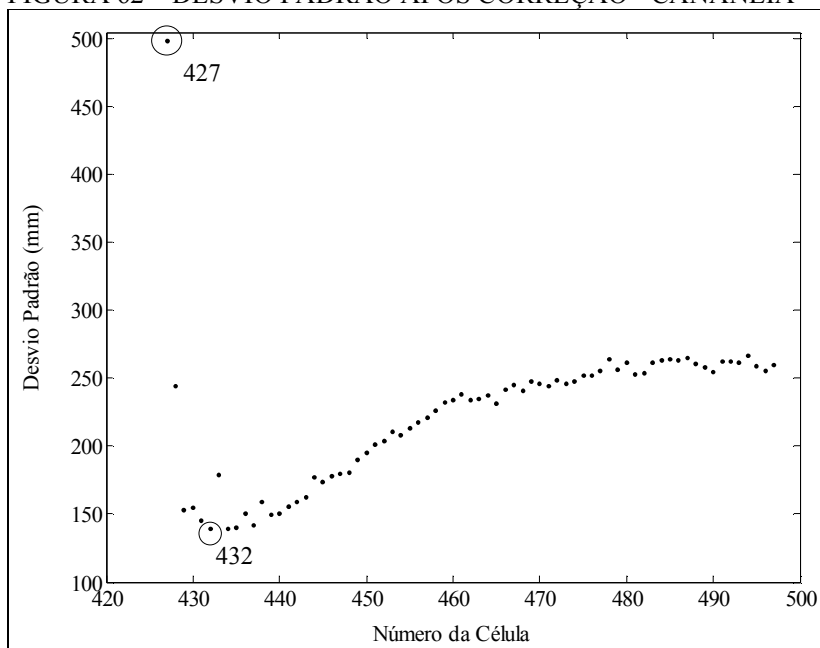


FIGURA 63 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO APÓS CORREÇÃO – ILHA FISCAL

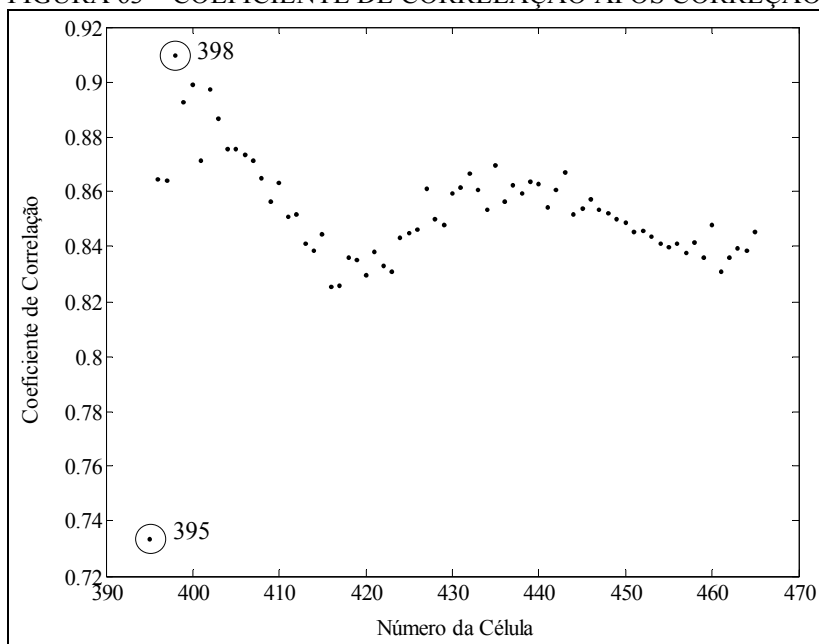
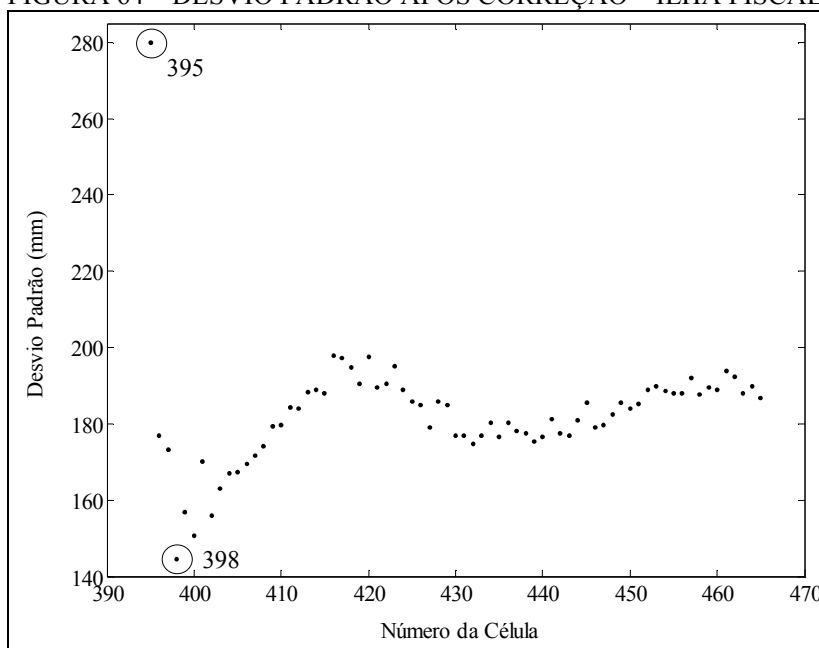


FIGURA 64 – DESVIO PADRÃO APÓS CORREÇÃO – ILHA FISCAL



A Tabela 30 apresenta os resultados para as células 432 (Cananéia) e 398 (Ilha Fiscal) após a aplicação da correção diferencial de marés. A Figura 65 mostra o efeito desta correção diferencial na série temporal de dados do satélite T/P e a Figura 66 ilustra as séries temporais para a célula 432 em Cananéia, após a aplicação da

correção aos dados T/P, como apresentado em DALAZOANA et al. (2004b).

TABELA 30 – RESULTADOS DA COMPARAÇÃO APÓS CORREÇÃO

ESTAÇÃO	CANANÉIA	ILHA FISCAL
Célula	432	398
Coefficiente de Correlação	0,94	0,91
Desvio Padrão (mm)	139,5	144,3
Distância da costa (km)	53	67

FIGURA 65 – EFEITO DA CORREÇÃO DIFERENCIAL NOS DADOS DO T/P - CÉLULA 432 CANANÉIA

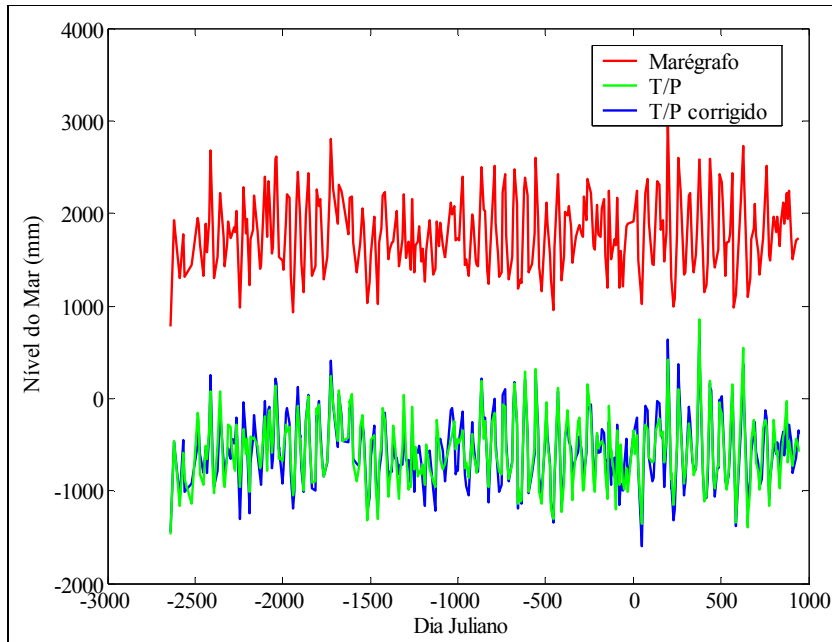
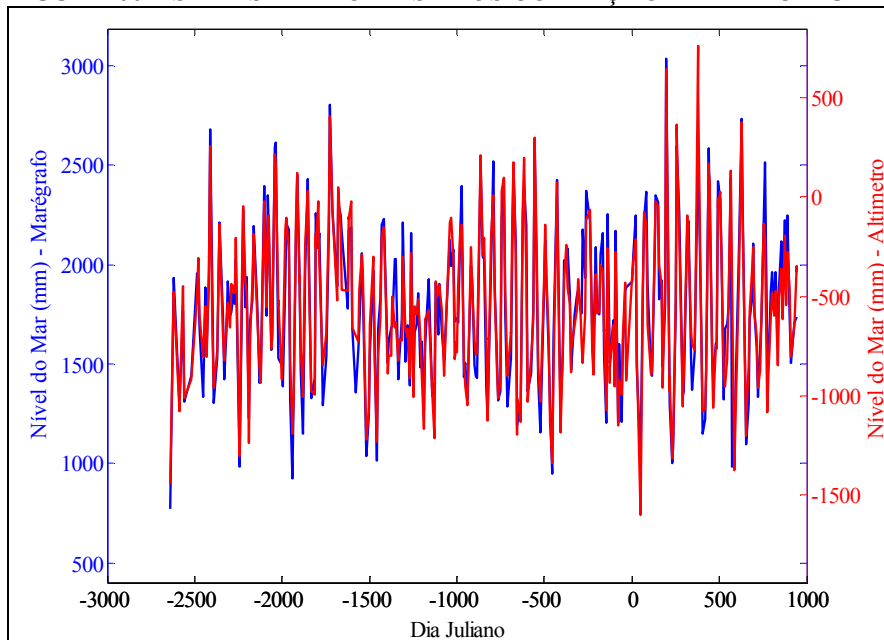


FIGURA 66 – SÉRIES TEMPORAIS APÓS CORREÇÃO PARA A CÉLULA 432 - CANANÉIA



De forma análoga, a Figura 67 mostra o efeito desta correção diferencial na série temporal de dados do satélite T/P e a Figura 68 ilustra as séries temporais para a célula 398 em Ilha Fiscal.

FIGURA 67 – EFEITO DA CORREÇÃO DIFERENCIAL NOS DADOS DO T/P - CÉLULA 398 ILHA FISCAL

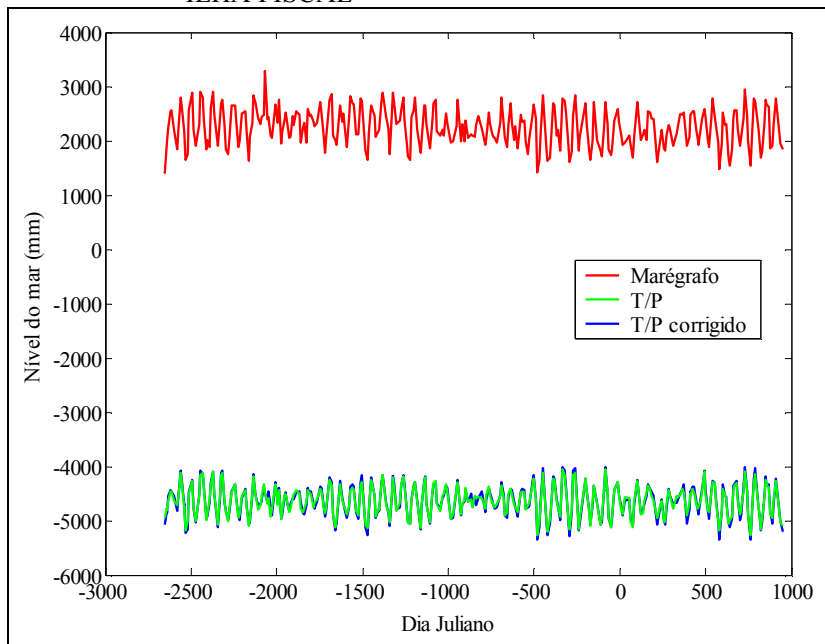
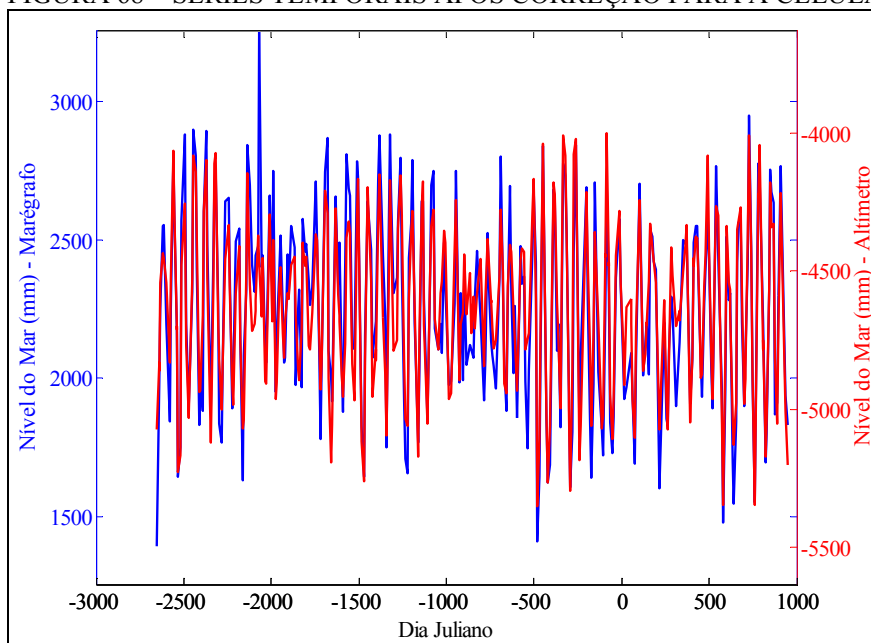


FIGURA 68 – SÉRIES TEMPORAIS APÓS CORREÇÃO PARA A CÉLULA 398 - ILHA FISCAL



7.5 EXTRAPOLAÇÃO DOS DADOS T/P ATÉ A COSTA

Os resultados apresentados no item anterior referem-se à comparação da série temporal gerada pelos dados do marégrafo e as séries temporais geradas pelos dados da missão T/P em células específicas. Desta forma, as séries temporais do marégrafo e do altímetro referem-se a posições geográficas diferentes. Torna-se necessário considerar as variações da superfície do mar entre o marégrafo e o ponto das mensurações do altímetro, ou seja, extrapolar os dados da Altimetria por Satélites até a costa.

7.5.1 Estudos Realizados para os Marégrafos de Cananéia e Ilha Fiscal

Neste estudo a extrapolação foi realizada considerando, em cada ciclo, o perfil de SSH nas 71 células mais próximas do marégrafo e estimando o valor de SSH na célula que corresponde à posição do marégrafo (SSH_{MCEL}) através de um polinômio do segundo grau:

$$SSH_{MCEL} = a + b(MCEL) + c(MCEL)^2 \quad (12)$$

Nesta equação MCEL é a célula correspondente à posição do marégrafo, estimada em função da distância entre o marégrafo e a célula mais próxima deste, bem como do tamanho da célula. Os coeficientes do polinômio (a, b e c) são calculados em função dos valores de SSH naquelas 71 células localizadas nas proximidades do marégrafo. Foi calculado um valor de SSH_{MCEL} para cada ciclo da missão T/P (ciclos 1 a 364), gerando assim, uma série temporal de valores de SSH para a célula onde estaria localizado o marégrafo.

Da mesma forma que nos estudos apresentados anteriormente, os valores de nível d'água derivados do marégrafo foram interpolados para os mesmos instantes de tempo das “observações” de SSH_{MCEL} por interpolação cúbica. A Figura 69 mostra a comparação entre a série temporal derivada dos dados maregráficos com a série

temporal de dados do T/P extrapolada até a costa para o marégrafo de Cananéia. Já a Figura 70 mostra a comparação para o marégrafo de Ilha Fiscal. A Tabela 31 mostra o resultado desta comparação em função do coeficiente de correlação entre as duas séries temporais bem como o desvio padrão da diferença entre as duas séries.

FIGURA 69 – SÉRIE EXTRAPOLADA DO ALTÍMETRO - CANANÉIA

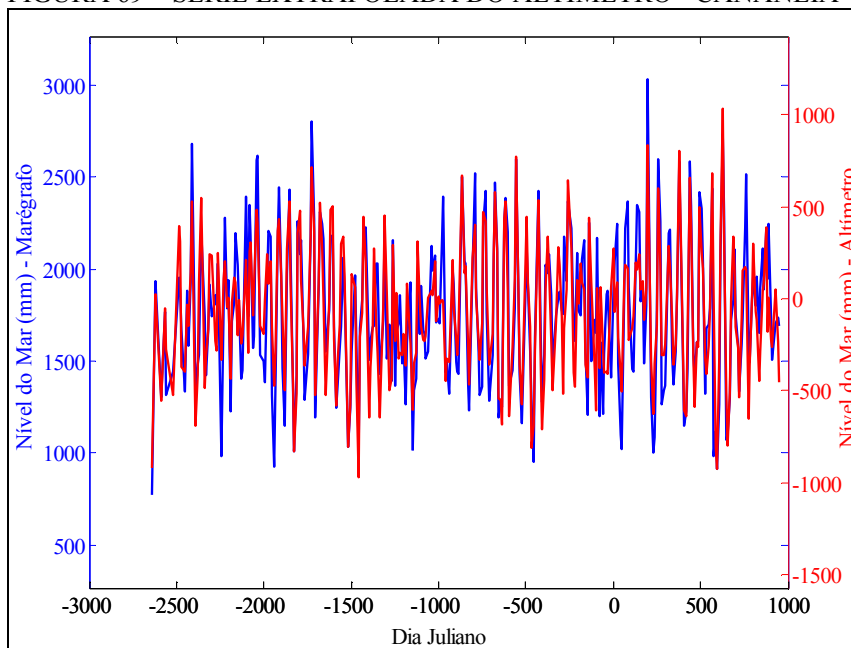


FIGURA 70 – SÉRIE EXTRAPOLADA DO ALTÍMETRO – ILHA FISCAL

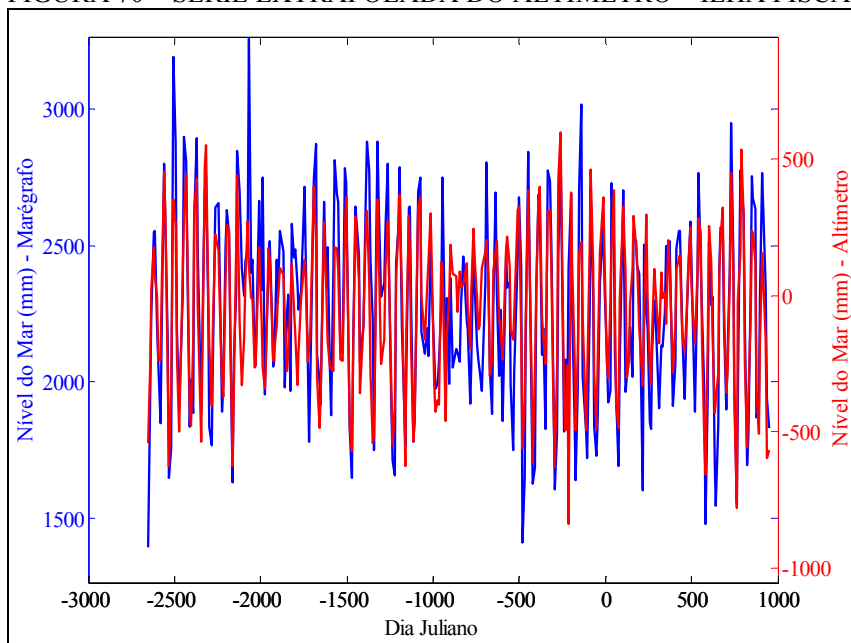


TABELA 31 – RESULTADOS DA EXTRAPOLAÇÃO

ESTAÇÃO	CANANÉIA	ILHA FISCAL
Coefficiente de Correlação	0,85	0,82
Desvio Padrão (mm)	214,6	197,9

Aplicando a correção diferencial de maré aos dados da Altimetria por Satélites, calculada com base na comparação entre as componentes harmônicas (M_2 , S_2 , N_2 , K_2 , K_1 , O_1 , P_1 , Q_1 e M_4) calculadas na célula e as calculadas no marégrafo, houve também uma melhora nos resultados, tanto no coeficiente de correlação quanto no desvio padrão, como indicado na Tabela 32.

TABELA 32 – RESULTADOS DA EXTRAPOLAÇÃO COM CORREÇÃO

ESTAÇÃO	CANANÉIA	ILHA FISCAL
Coefficiente de Correlação	0,93	0,85
Desvio Padrão (mm)	149,6	186,2

Verifica-se que a melhora foi mais significativa para o marégrafo de Cananéia, isto provavelmente deve-se ao fato de que a componente M_4 foi incluída no cálculo da correção diferencial de marés, estando o marégrafo de Cananéia localizado num estuário. As Figuras 71 e 72 ilustram a comparação entre as séries temporais após a aplicação da correção diferencial aos dados do T/P para os marégrafos de Cananéia e Ilha Fiscal, respectivamente.

FIGURA 71 – SÉRIE EXTRAPOLADA DO ALTÍMETRO COM CORREÇÃO - CANANÉIA

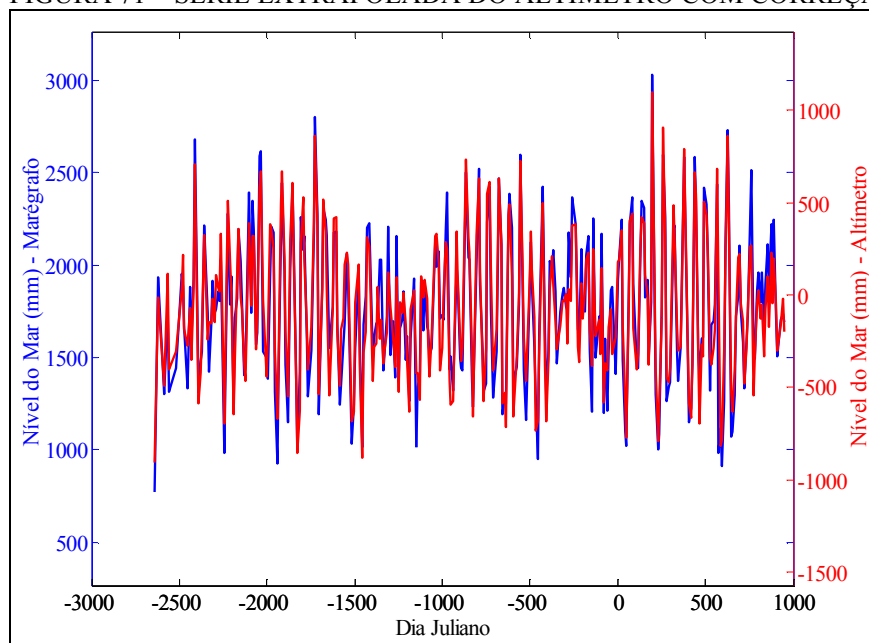
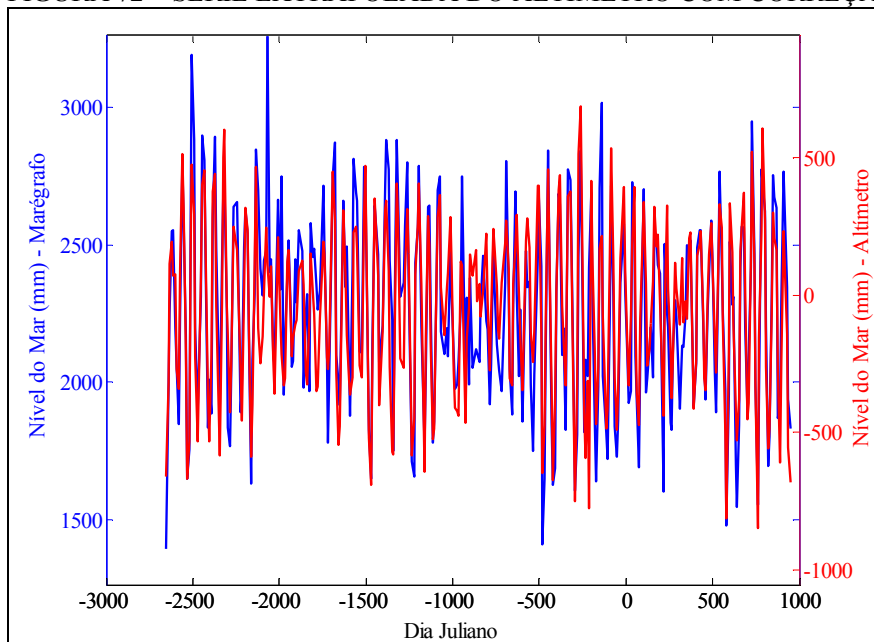


FIGURA 72 – SÉRIE EXTRAPOLADA DO ALTÍMETRO COM CORREÇÃO – ILHA FISCAL



Ressalta-se que o posicionamento geocêntrico do marégrafo possibilita a comparação absoluta entre as duas séries temporais, neste estudo foi feita uma comparação relativa. Além disso, o monitoramento periódico da posição geocêntrica do marégrafo permite detectar variações crustais possibilitando separar variações do nível do mar aparentes e reais.

A taxa de variação temporal do nível do mar, ou seja, os valores da tendência de elevação ou rebaixamento do nível do mar no tempo são representativos apenas para o período analisado, (neste trabalho será adotado o termo inglês *trend* para indicar a tendência de elevação ou rebaixamento do nível do mar no tempo). Segundo HOLGATE e WOODWORTH (2004, p. 3), o NMM derivado dos marégrafos é representativo para a área costeira e parece ser diferente do sinal global derivado da Altimetria por Satélites que é dominado por áreas de oceano aberto; indicam ainda que o NMM costeiro vem sofrendo uma elevação mais rápida que o NMM global derivado da Altimetria por Satélites. Assim, o NMM pode ter um comportamento local diverso dos resultados globais e ainda, existem regiões nas quais a tendência é de elevação do NMM e regiões com tendência de rebaixamento como apresentado em BOSCH

(2003).

A suposição inicial é que a taxa de variação temporal do nível do mar observada pelo altímetro ($trend_{\text{ALTIMETRIA}}$) é a mesma que a variação temporal absoluta observada pelo marégrafo já considerando possíveis movimentos verticais da crosta ($trend_{\text{MARÉGRAFO}} + trend_{\text{GPS}}$). Desta forma assume-se que:

$$trend_{\text{MARÉGRAFO}} + trend_{\text{GPS}} - trend_{\text{ALTIMETRIA}} = 0 \quad (13)$$

O posicionamento GPS, principalmente a componente vertical ainda sofre com uma série de erros sistemáticos. Assim uma comparação entre a variação temporal da posição vertical do marégrafo, derivada do rastreamento GPS, e as variações temporais do NMM derivadas das observações maregráficas e da Altimetria por Satélites continua sendo uma tarefa bastante complicada (Tabela 33), existindo muitas incertezas nos componentes e curtos períodos com sobreposição dos dados, como indicado por BOSCH et al. (2002).

TABELA 33 – EXEMPLOS DE TENDÊNCIAS RELACIONADAS COM A VARIAÇÃO TEMPORAL DO NÍVEL DO MAR

$Trend_{\text{MARÉGRAFO}}$ (mm/a)	+	$Trend_{\text{GPS}}$ (mm/a)	-	$Trend_{\text{ALTIMETRO}}$ (mm/a)	=	0?	MARÉGRAFO/GPS
+2,5		-6,5		+2,0		6,0	St. Croix/GNAAC
+6,9		+1,5		+8,0		0,4	Bermuda/DGFI00P01
+6,9		+0,4		+8,0		-0,7	Bermuda/IGS00P09
+4,0		-3,0		+2,0		-1,0	Lewes/GODE (DGFI)
+8,6		-5,5		-0,7		3,8	Cartagena/CART(DGFI)

FONTE: BOSCH, 2005.

Desta forma, ainda são necessários estudos adicionais para estimar a tendência de variação do nível do mar considerando os dados da Altimetria por Satélites e os dados dos marégrafos. Convém salientar que os resultados dependem: da amostragem e do período usado na estimativa; das correções aplicadas aos dados da Altimetria por Satélites e aos dados maregráficos; da desvinculação dos dados maregráficos de eventuais movimentos verticais da crosta, entre outros.

Analisando as séries maregráficas e as séries derivadas do satélite T/P, extrapoladas até a posição dos marégrafos e que sofreram a correção diferencial de marés, os resultados para a tendência do nível do mar em Cananéia e Ilha Fiscal são os apresentados na Tabela 34.

TABELA 34 – TENDÊNCIAS DA VARIAÇÃO TEMPORAL DO NÍVEL DO MAR EM CANANÉIA E ILHA FISCAL

$Trend_{\text{MARÉGRAFO}}$ (mm/a)	+	$Trend_{\text{GPS}}$ (mm/a)	-	$Trend_{\text{ALTIMETRO}}$ (mm/a)	=	0?	MARÉGRAFO
+2,7		?		-2,1		?	Cananéia
-16,0		?		-3,2		?	Ilha Fiscal

O marégrafo de Ilha Fiscal não conta com posicionamento GPS, assim não é possível estimar possíveis variações verticais da crosta neste marégrafo. Em Cananéia existe uma estação GPS nas proximidades do marégrafo. Segundo TRABANCO (2003, p. 147), iniciou-se em 1997 um programa visando o monitoramento de movimentos verticais da crosta em Cananéia por meio de rastreo GPS, nivelamento geométrico e gravimetria. Sendo que em 2002 foi implantada a sistemática de rastreamento contínuo da estação. TRABANCO (2003, p. 208), em seus estudos não pode concluir se houve uma variação significativa na componente vertical das coordenadas em Cananéia. Porém, com a realização do monitoramento GPS contínuo da estação existe a possibilidade e necessidade de estudos futuros.

7.5.2 Teste da Aplicação da Altimetria por Satélites em Imbituba

Em Imbituba, o período no qual estão disponíveis dados maregráficos em formato digital com sobreposição ao período da missão T/P, refere-se ao período de agosto de 2001 até agosto de 2002, lembrando que houve um reposicionamento do sensor digital em março de 2002. A comparação dos dados maregráficos e das séries de SSH foi realizada considerando a trilha mais próxima do marégrafo, que se refere ao passe descendente número 152. A comparação foi feita para as 71 células mais próximas do marégrafo, localizadas ao longo da trilha de interesse.

Da mesma forma que nos estudos anteriores, foi gerada uma série temporal de SSH para cada uma das células e esta série foi comparada com a série temporal derivada das observações no marégrafo, interpolada para os instantes de observação da SSH pelo altímetro. As Figuras 73, 74 e 75 ilustram os resultados da comparação antes do reposicionamento do sensor digital, tendo por base o coeficiente de correlação, o desvio padrão da diferença entre as séries e a quantidade de dados de SSH em cada célula, respectivamente. A célula mais próxima da costa (cerca de 56 km) é a de número 492. Porém, os melhores resultados foram obtidos para a célula 495, com coeficiente de correlação de 0,87 e desvio padrão da diferença entre as duas séries de 10,4cm.

FIGURA 73 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ANTES DO REPOSICIONAMENTO DO SENSOR - IMBITUBA

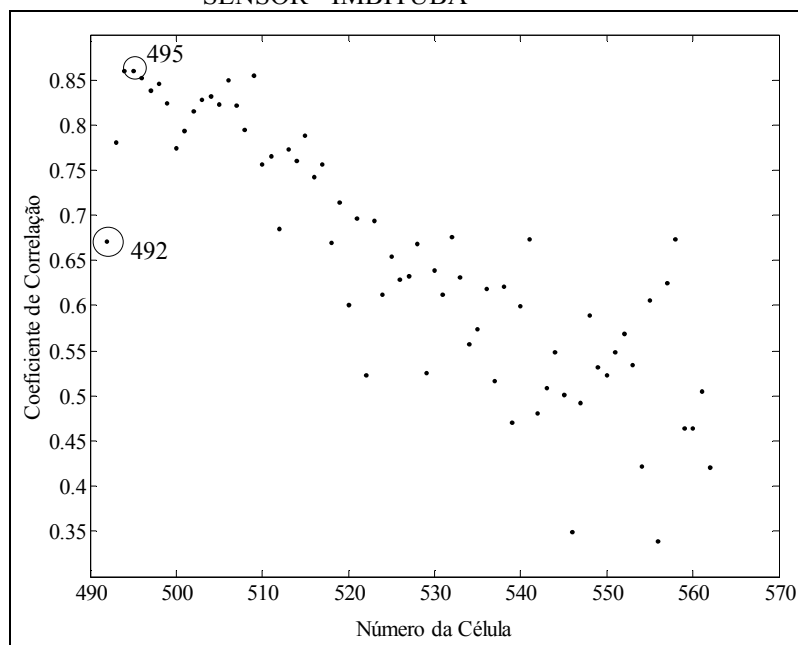


FIGURA 74 – DESVIO PADRÃO DA DIFERENÇA ENTRE AS SÉRIES ANTES DO REPOSICIONAMENTO DO SENSOR - IMBITUBA

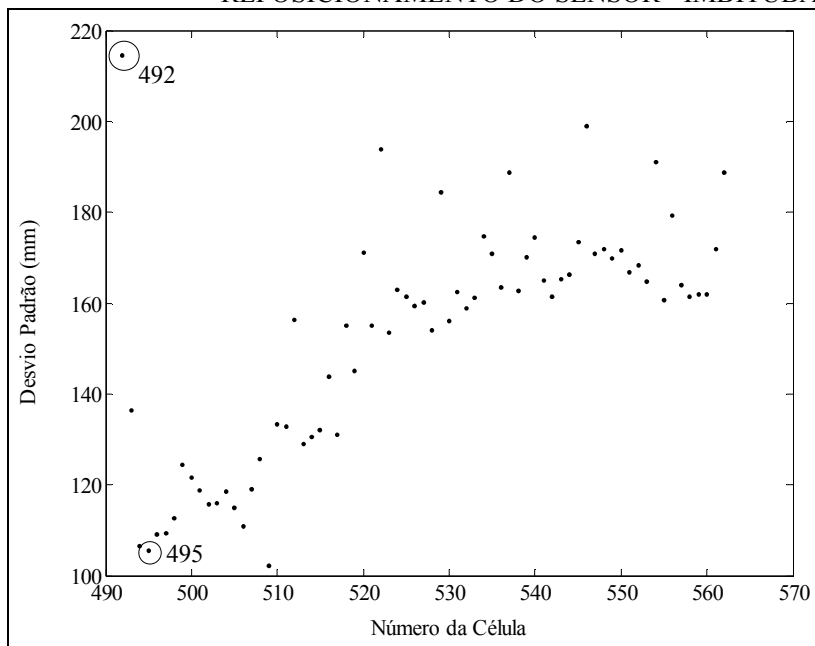
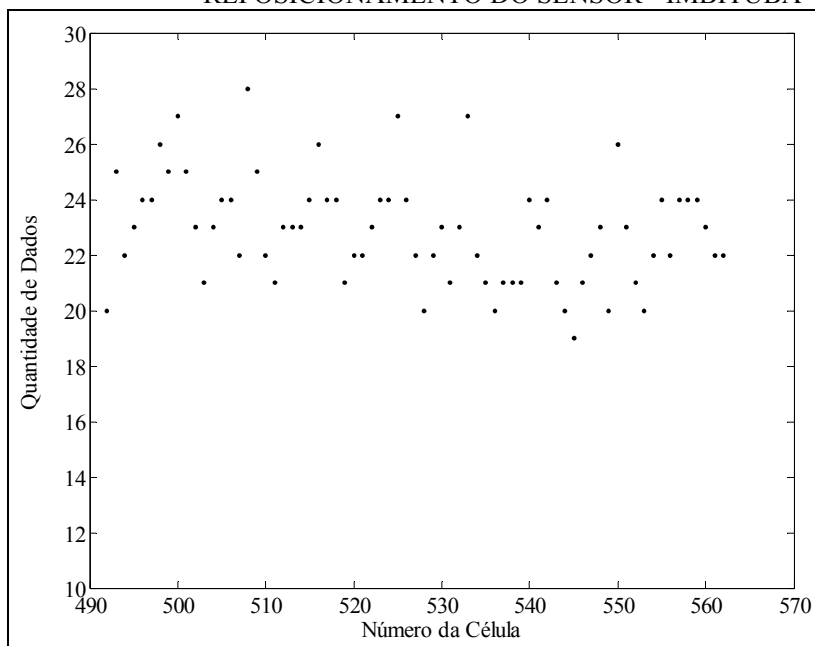


FIGURA 75 – QUANTIDADE DE DADOS DISPONÍVEL EM CADA CÉLULA ANTES DO REPOSICIONAMENTO DO SENSOR - IMBITUBA



As Figuras 76, 77 e 78 ilustram os resultados da comparação após o reposicionamento do sensor digital: coeficiente de correlação, desvio padrão da diferença entre as séries e quantidade de dados de SSH em cada célula. Neste caso, a

célula 493 apresentou coeficiente de correlação de 0,92 e desvio padrão de 9,9cm.

FIGURA 76 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO APÓS O REPOSICIONAMENTO DO SENSOR - IMBITUBA

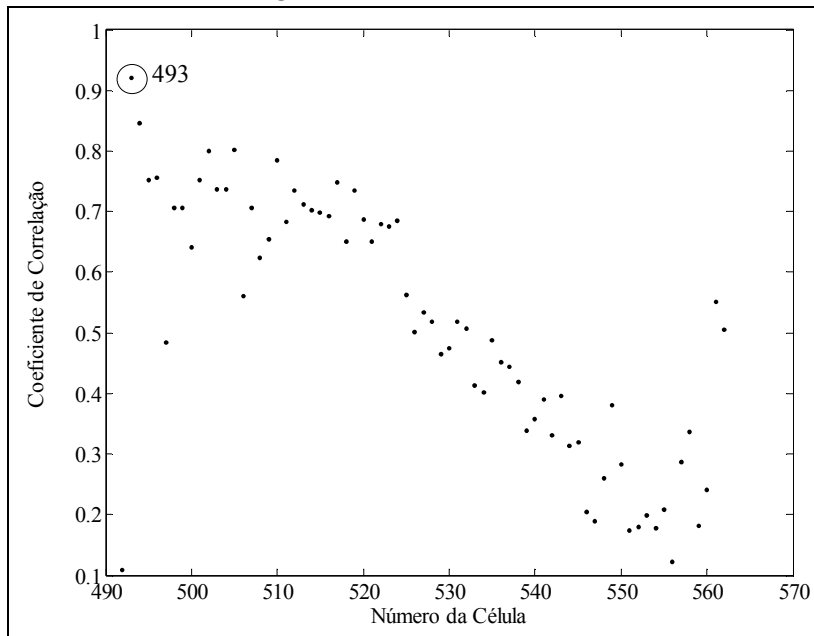
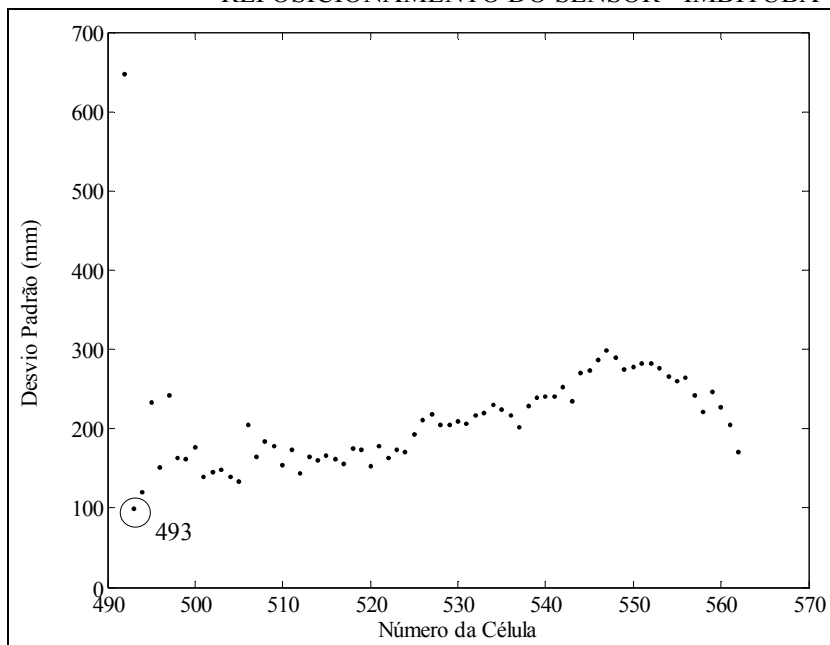
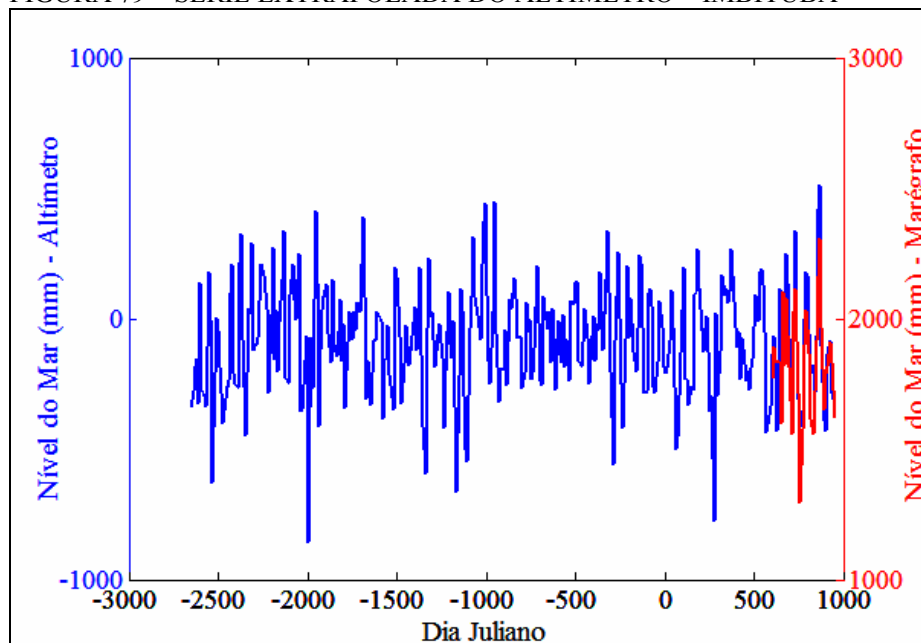


FIGURA 77 – DESVIO PADRÃO DA DIFERENÇA ENTRE AS SÉRIES APÓS O REPOSICIONAMENTO DO SENSOR - IMBITUBA



0,04mm/ano.

FIGURA 79 – SÉRIE EXTRAPOLADA DO ALTÍMETRO – IMBITUBA



Com a digitalização dos maregramas referentes aos períodos posteriores a 1998, que já vem sendo feita pela Coordenação de Geodésia do IBGE, será possível realizar a comparação entre estes dados e os derivados da Altimetria por Satélites. A digitalização dos maregramas tornará possível a comparação dos dados para um período de 4 a 5 anos. O ideal seria um período mais longo de dados maregráficos, tal como em Cananéia e Ilha Fiscal, porém para o período de 1992 a 1998 a operação da estação maregráfica em Imbituba parece ter sido interrompida.

A Tabela 35 indica tendências da variação temporal do nível do mar em Imbituba, porém cada *trend* está relacionado a períodos específicos e que diferem entre si. Ressalta-se, então, a importância de continuidade dos estudos em Imbituba.

TABELA 35 – TENDÊNCIAS DA VARIAÇÃO TEMPORAL DO NÍVEL DO MAR EM IMBITUBA

$Trend_{\text{MARÉGRAFO}}$ (mm/a)	+	$Trend_{\text{GPS}}$ (mm/a)	-	$Trend_{\text{ALTÍMETRO}}$ (mm/a)	=	0?	MARÉGRAFO
+2,0		⁽¹⁾ -0,2		0,04		1,7	Imbituba
+2,0		⁽²⁾ -1,6		0,04		0,4	Imbituba

(1) Resultado do processamento de quatro campanhas GPS (1997, 2000, fevereiro e julho de 2005).

(2) Resultado do processamento de três campanhas GPS (1997, 2000 e julho de 2005).

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

8.1 CONCLUSÕES

Os estudos e experimentos realizados no decorrer deste trabalho visaram propiciar condições para atender algumas das recomendações do GT-III do Projeto SIRGAS, tais como: o acompanhamento temporal da posição do marégrafo visando determinar possíveis movimentos verticais da crosta e a análise conjunta de registros maregráficos e informações provenientes da Altimetria por Satélites.

Com relação aos objetivos propostos buscou-se a análise das informações referentes ao estabelecimento do DVB bem como verificar os efeitos relacionados com a evolução do nível médio do mar na região. Para tanto foram utilizados diferentes tipos de mensurações tais como: observações de desníveis, observações maregráficas, dados derivados de rastreamento GPS e dados derivados da Altimetria por Satélites.

Dos resultados apresentados cabe enfatizar alguns aspectos importantes. Com a realização de novas campanhas de levantamentos geodésicos no ano de 2005 foi possível realizar o controle vertical das RRNN e do marégrafo, bem como realizar a verificação dos marégrafos com o Teste *Van de Castele*.

O Teste *Van de Castele* realizado em fevereiro de 2005 indicou um problema com o marégrafo digital que pode estar relacionado com uma obstrução do tubo de proteção dos sensores, como verificado no local. Assim, no estabelecimento da relação entre os referenciais instrumentais foram utilizados os dados do teste realizado em 2003 pela equipe de maregrafia do IBGE.

Da análise dos nivelamentos efetuados no porto pelo IBGE, IAGS e USCGS entre as décadas de 40 e 80, verifica-se que os desníveis possuem uma repetibilidade média de cerca de 5 mm (Figuras 26 a 30), porém não é possível verificar estes valores atualmente devido à destruição das RRNN ao longo do tempo.

Em 2005 foram reniveladas a maior parte das RRNN do porto (Figura 33),

sendo implantadas duas novas RRNN, UFPR1 e UFPR2, devido à destruição da IAGS 3M. Os desníveis foram ajustados (Tabela 19) obtendo-se valores de desvio padrão menores que 1mm, com exceção do desnível entre a RN 3010B e IAGS 3M cujo desvio padrão foi de 1,37mm e do desnível entre a RN PORT3 e a estação IMBI com 1,30mm. Foram também apresentadas altitudes para as estações (Tabela 20) com base no valor de altitude da IAGS 3M derivado dos registros de nivelamento do IAGS. Salienta-se que a intenção aqui não é atribuir valores de altitudes “oficiais” para as RRNN, tarefa essa atribuída ao IBGE, mas apenas apresentar os resultados advindos do ajustamento e auxiliar quanto a dúvidas existentes nas altitudes de algumas RRNN existentes na região.

O controle da posição geocêntrica do marégrafo contou em 2005 com a realização de duas campanhas de rastreamento GPS no pilar IMBI. Essas campanhas foram processadas juntamente com os dados da campanha SIRGAS 2000 e da campanha realizada pela UFPR em 1997. Os dados foram processados com o software BERNESE versão 5.0. As estações IGS de Brasília e Santiago, bem como a estação de Curitiba pertencente à RBMC foram utilizadas como estações fiduciais no processamento. As coordenadas da estação IMBI foram estimadas em cada uma das campanhas, sendo que o desvio padrão destas foi sempre melhor do que 1,5mm (Tabela 22). Cabe salientar que estes valores fornecidos pelo programa de processamento em geral superestimam a variância das coordenadas ajustadas, em função do grande número de observações disponíveis e altamente correlacionadas.

Do processamento das quatro campanhas GPS verificou-se uma subsidência de 0,2mm/ano da estação IMBI (Figura 41). Porém, quando da verificação da qualidade dos dados rastreados, realizada com o programa TEQC (Anexo 2), verificou-se que os dados da campanha de fevereiro de 2005 sofreram, provavelmente, a influência de efeitos devido ao multicaminho e/ou relógio. Assim, se no processamento não for incluída a campanha de fevereiro verifica-se uma subsidência de 1,6mm/ano (Figura 42).

Em relação aos resultados fornecidos pela campanha GPS de fevereiro de 2005, estes podem indicar a influência de um possível efeito sazonal que não pode ser desprezado. Esta é uma hipótese a ser considerada, neste sentido seria importante então, a instalação de uma estação de monitoramento GPS contínuo na área do porto de Imbituba.

A série temporal de dados do nível do mar proveniente do sensor digital foi filtrada visando sua integração com os dados armazenados no banco de dados do PSMSL. A integração destas duas séries indicou uma tendência de elevação do nível médio do mar em Imbituba numa taxa de 2mm/ano, ainda sem considerar possíveis movimentos verticais da crosta. Este valor está em concordância com informações globais de elevação do nível do mar.

A recuperação dos dados históricos do nível do mar em Imbituba fica prejudicada, pois diferentes instituições ficaram responsáveis pela sua manutenção ao longo do tempo. A UFPR, através do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e dentro do contexto do Projeto de Conexão de Redes Geodésicas Verticais vem concentrando esforços no sentido de digitalizar os maregramas referentes ao período de 1986 a 1992.

Foram analisados dados maregráficos e dados provenientes da Altimetria por Satélites nos marégrafos de Cananéia e Ilha Fiscal. A comparação entre os dados do marégrafo e do satélite T/P foi realizada com base em valores de SSH relacionados a pequenas células localizadas ao longo da trilha do satélite. Em Cananéia os melhores resultados da comparação referem-se a célula 432 situada a aproximadamente 53km da costa, com coeficiente de correlação de 0,87 e desvio padrão de 19,5cm. Em Ilha Fiscal os melhores resultados referem-se a célula 398 situada a cerca de 67 km da costa, com coeficiente de correlação de 0,90 e desvio padrão de 15,7cm. Como os resultados apresentam-se melhores em Ilha Fiscal do que em Cananéia, isto pode indicar que as observações maregráficas em Ilha Fiscal refletem melhor as condições de mar aberto onde são realizadas as observações do satélite altímetro.

Aos dados provenientes da Altimetria por Satélites foi aplicada uma correção diferencial de maré, esta correção baseou-se na comparação entre as componentes harmônicas (M_2 , S_2 , N_2 , K_2 , K_1 , O_1 , P_1 , Q_1 e M_4) calculadas nas células e as calculadas no marégrafo. Após a aplicação desta correção aos dados provenientes do satélite T/P, os resultados para a célula 432 (Cananéia) apresentaram um coeficiente de correlação de 0,94 e desvio padrão de 13,9cm. Para a célula 398 (Ilha Fiscal) o coeficiente de correlação ficou em 0,91 e desvio padrão de 14,4cm. Observa-se uma melhoria em ambas as células, porém a melhoria foi mais significativa em Cananéia, isto provavelmente deve-se ao fato de se incluir na correção a componente M_4 e sendo o marégrafo de Cananéia localizado num estuário.

Mesmo sem extrapolar os dados da Altimetria por Satélites até a costa, é importante enfatizar a alta correlação entre as séries partindo de dados maregráficos com amostragem horária. Este é um indício da possibilidade de uso conjunto de dados da Altimetria por Satélites e dados de marégrafos, podendo auxiliar nos estudos em Imbituba, onde períodos da série de dados ainda não estão disponíveis em meio digital ou não existem.

Das análises realizadas foi possível estabelecer um procedimento de geração de dados sintéticos de nível do mar no marégrafo a partir de dados do T/P, procedimento denominado de extrapolação dos dados da Altimetria por Satélites até a costa. Este procedimento visa estabelecer uma metodologia a ser adotada em Imbituba devido ao longo período de ausência de dados maregráficos neste último.

Problemas referentes à perda de resolução dos dados da Altimetria por Satélites nas proximidades da costa, devido às perturbações decorrentes da pequena profundidade e à interferência do terreno no sinal de retorno, têm implicações nos resultados apresentados no item 7.4 (Figuras 53 a 58), onde se observa que as células mais próximas da costa possuem coeficientes de correlação mais baixos, desvios-padrão maiores e menor quantidade de observações. Para o marégrafo de Imbituba estes mesmos problemas se confirmam (Figuras 73 a 78), como verificado no item

7.5.2.

8.2 RECOMENDAÇÕES

Com base nas análises realizadas recomenda-se:

- a) a realização periódica do Teste *Van de Castele* para acompanhamento do desempenho dos sensores maregráficos em Imbituba;
- b) a realização de novas campanhas de rastreamento com menor intervalo entre elas e em diferentes épocas do ano. Porém, a solução ideal seria a implantação de uma estação de monitoramento contínuo no porto de Imbituba, para que possíveis efeitos sazonais com implicações na coordenada altitude possam ser discriminados;
- c) a implantação de uma nova estação na área do porto para realização de monitoramento GPS contínuo, em um local onde não esteja sujeita às condições da estação IMBI. Verificaram-se um alto tráfego e estacionamento de caminhões de grande porte nas proximidades da estação IMBI, bem como possíveis dificuldades futuras de alocação de uma sala nas proximidades da estação visando instalar o receptor e equipamentos para descarga dos dados;
- d) recuperar dados de nível do mar referentes aos períodos que não foram localizados ainda para Imbituba;
- e) integrar na série temporal do nível do mar em Imbituba os dados referentes aos maregramas digitalizados, bem como os dados do sensor digital posteriores a março de 2004;
- f) na comparação entre dados maregráficos e dados da Altimetria por Satélites, fazer uso de dados de diferentes missões; considerando assim a variabilidade na região e não apenas ao longo da trilha, como foi feito neste trabalho.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AARUP, T. **GLOSS – The Global Sea Level Observing System**. Disponível em: <<http://www.pol.ac.uk/psmsl/powerpoint>>. Acesso em: 6 jan. 2003.

ACUÑA, G.; BOSCH, W.; MEISEL, B. Correlation Between Multi-Mission Altimeter Time Series and Tide Gauge Registrations in the Caribbean Sea. In: DREWES, H.; DODSON, A. H.; FORTES, L. P. S.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P. (Ed.). **Vertical Reference Systems**. IAG Symposium 124, Cartagena, Colômbia. Berlim: Springer-Verlag, 2002. p. 231-237.

ALENCAR, J. C. M. Datum Altimétrico Brasileiro. **Cadernos de Geociências**, IBGE, n. 5, p. 69-73, 1990.

ALTAMINI, Z.; ANGERMANN, D.; ARGUS, D.; BLEWITT, G.; BOUCHER, C.; CHAO, B.; DREWES, H.; EANES, R.; FEISSEL, M.; FERLAND, R.; HERRING, T.; HOLT, B.; JOHANNSON, J.; LARSON, K.; MA, C.; MANNING, J.; MEERTENS, C.; NOTHNAGEL, A.; PAVLIS, E.; PETIT, G.; RAY, J.; RIES, J.; SCHERNECK, H.; SILLARD, P.; WATKINS, M. The Terrestrial Reference Frame and the Dynamic Earth. **EOS**, v. 82, n. 25, 19 jun., 2001.

ANDERSEN, O. B.; KNUDSEN, P. Global Marine Gravity Field from the ERS-1 and GEOSAT Geodetic Mission Altimetry. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. C4, p. 8129-8137, 1998.

AVISO. **AVISO User Handbook – Sea Level Anomalies**. AVI-NT-011-312-CN. Edition 3.1, April 1998. 24 p.

BEVIS, M.; SCHERER, W.; MERRIFIELD, M. Technical Issues and Recommendations Related to the Installation of Continuous GPS Stations at Tide Gauges. **Marine Geodesy**, v. 25, n. 1-2, p. 87-99, 2002.

BOSCH, W. CSTG Subcommittee on Multi-Mission Satellite Altimetry (ScomMSA). **IAG CSTG Bulletin**, n. 16, p. 59-61, 2000.

BOSCH, W. The Sea Surface Topography and its Impact to Global Height System Definition. In: DREWES, H.; DODSON, A. H.; FORTES, L. P. S.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P. (Ed.). **Vertical Reference Systems**. IAG Symposium 124, Cartagena, Colômbia. Berlim: Springer-Verlag, 2002a. p. 225-230.

BOSCH, W. Multi-Mission Satellite Altimetry Continuing. **IAG CSTG Bulletin**, n. 17, p. 60-63, 2002b.

BOSCH, W.; DREWES, H.; HÄFELE, P.; KANIUTH, K.; KANIUTH, R.; KUHN, M.; STUBER, K.; TREMEL, H. The EVAMARIA Project: Identification and Verification of Sea Level Anomalies in the North Atlantic. In: DREWES, H.; DODSON, A. H.; FORTES, L. P. S.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P. (Ed.). **Vertical Reference Systems**. IAG Symposium 124, Cartagena, Colômbia. Berlim: Springer-Verlag, 2002. p. 238-243.

BOSCH, W. Geodetic Application of Satellite Altimetry. In: HWANG, C.; SHUM, C. K.; LI, J. C. (Ed.). **International Workshop on Satellite Altimetry**. IAG Symposium 126, Wuhan, China. Berlim: Springer-Verlag, 2003. p. 3-21.

BOSCH, W. **Satellite Altimetry**. Curso ministrado na Universidade Federal do Paraná. Maio, 2005a.

BOSCH, W. Inter-Commission Project 1.1 – Satellite Altimetry – Mid-Term Report 2005. In: DREWES, H.; HORNIK, H. (Ed.). **IAG Commission 1 – Reference Frames - Bulletin No. 19 – Mid-Term Report 2005**. Munich: 2005b. p. 31-34.

BURSA, M.; KOUBA, J.; KUMAR, M.; MULLER, A.; RADEJ, K.; TRUE, S. A.; VATRT, V.; VOJTISKOVA. Geoidal Geopotential and World Height System. **Studia Geophysica et Geodaetica**, v. 43, n. 4, p. 327-337, 1999.

BURSA, M.; KOUBA, J.; MULLER, A.; RADEJ, K.; TRUE, S. A.; VATRT, V.; VOJTISKOVA. Determination of Geopotential Differences Between Local Vertical Datums and Realization of a World Height System. **Studia Geophysica et Geodaetica**, v. 45, n. 2, p. 127-132, 2001.

BURSA, M.; KENYON, S.; KOUBA, J.; RADEJ, K.; VATRT, V.; VOJTISKOVA, M.; SIMEK, J. World Height System Specified by Geopotential at Tide Gauge Stations. In: DREWES, H.; DODSON, A. H.; FORTES, L. P. S.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P. (Ed.). **Vertical Reference Systems**. IAG Symposium 124, Cartagena, Colômbia. Berlim: Springer-Verlag, 2002. p. 291-296.

CALDWELL, P. **Sea Level Data Processing on IBM-PC Compatible Computers Version 3.0 (Year 2000 Compliant)**. Jimar Contribution nº 98-319. Joint Archive for Sea Level of the National Oceanographic Data Center and University of Hawaii Sea Level Center. 40 p. Disponível em: <<http://uhslc.soest.hawaii.edu/uhscl/jaslpr2/slman2.html>> Acesso em: 20 ago. 2002.

CALDWELL, P. **IOC/GLOSS Technical Visit to the Brazilian Naval Directorate of Hydrography and Navigation**. Visita realizada de 2 a 6 de setembro de 2002. Disponível em: <ftp://ilikai.soest.hawaii.edu/caldwell_pub/sealev/brazil/report/FinalDHNvisit.htm> Acesso em: 21 jun. 2004.

CASTRO, A. C. **Medições Porto Imbituba 2005** [mensagem de trabalho]. Mensagem recebida por: <regiane@ufpr.br> em: 26 out. 2005.

CAVALCANTE, M. F. Brazilian Navy, Navy Hydrographic Center. **National Report of Brazil: The GLOSS-Brazil Program**. 4 p. Disponível em: <www.pol.ac.uk/psmsl/reports.national+regional/brazil/brazil.html> Acesso em: 25 jan. 2005.

CAZENAVE, A. Les Variations Actuelles du Niveau Moyen de la Mer. **Earth & Planetary Sciences**, Elsevier Science Ltda, n. 329, p. 457-469, 1999. Disponível em: <sciencedirect.com>.

CAZENAVE, A.; DO MINH, K.; GENNERO, M.C. Present-day sea level rise: from satellite and in situ observations to physical causes. In: HWANG, C.; SHUM, C. K.; LI, J. (Ed.). **Satellite Altimetry for Geodesy, Geophysics and Oceanography**. IAG Symposium 126, Wuhan, China. Berlim: Springer-Verlag, 2003. p. 23-31.

CHAO, B. J. Geodesy is not just for Static Measurements any more. **EOS**, v. 84, n. 16, 22 abr., 2003.

CHELTON, D. B.; RIES, J. C.; HAINES, B. J.; FU, L. L.; CALLAHAN, P. S. Satellite Altimetry. In: FU, L. L.; CAZENAVE, A. (Ed.). **Satellite Altimetry and Earth Sciences: a Handbook of Techniques and Applications**. Academic Press, 2001. p. 1-131.

CORDINI, J. **Estudo dos Aspectos Geodinâmicos no Datum da Rede Altimétrica do SGB**. Curitiba, 1998. 159 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

DACH, R.; FRIDEZ, P.; HUGENTOBLER, U. **Bernese GPS Software Version 5.0 – Tutorial**. Introduction Course, Terminal Session, Processing Example. Astronomical Institute, University of Bern. September 2004.

DALAZOANA, R. **Implicações na Cartografia com a Evolução do Sistema Geodésico Brasileiro e Futura Adoção do SIRGAS**. Curitiba, 2001. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

DALAZOANA, R.; LUZ, R. T.; FREITAS, S. R. C. Importância do Resgate e Análise da Série Temporal de Observações Maregráficas no Porto de Imbituba – Uma Abordagem Teórica. In: **Série em Ciências Geodésicas – Novos Desenvolvimentos em Ciências Geodésicas**. Volume III. Curitiba, 2003. p. 195-208.

DALAZOANA, R. **Conexão de Redes Verticais e Adoção de um Datum Altimétrico Unificado**: Caracterização do Problema e Aspectos Relacionados ao Datum Vertical Brasileiro. Curitiba, 2003. 43 p. Seminário II – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

DALAZOANA, R.; LUZ, R. T.; FREITAS, S. R. C.; SOTO, J. C. B. First Studies to Estimate monitoring Vertical Land Movements at Tide Gauges in the UK. In: IAG INTERNATIONAL SYMPOSIUM – GRAVITY, GEOID AND SPACE MISSIONS – GGSM2004, 30 de agosto a 3 de setembro de 2004, Porto, Portugal. **Proceedings**. Portugal: 2004a. CD-ROM.

DALAZOANA, R.; BOSCH, W.; SAVCENKO, R. **Comparing Sea Level Time Series from Altimetry and Brazilian Tide Gauges**. In: WORKSHOP 2004 DER FORSCHUNGSGRUPPE SATELLITENGEODÁSIE – FGS2004, 27 a 29 de outubro de 2004, Höllenstein, Wetzell, Alemanha. 2004b. Disponível em <www.wetzell.ifag.de/veranstaltungen/fgs/workshop2004b/praesentationen.html>.

DALAZOANA, R.; LUZ, R. T.; LIMA, S. R. S.; MIRANDA, FR. A.; PALMEIRO, A. S.; MIRANDA, FA. A.; FREITAS, S. R. C. Controle Vertical das RRNN e da Posição Geocêntrica do Marégrafo no Porto de Imbituba. In: IV COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 18 a 20 de maio de 2005, Curitiba, Brasil. **Anais**. Brasil: 2005. CD-ROM.

DENG, X.; FEATHERSTONE, W. E.; HWANG, C.; BERRY, P. A. M. Analysis of Poseidon and ERS-2 Satellite Radar Altimeter Waveform Data around Australian Coasts. In: ADAM, J.; SCHWARZ, K. P. (Ed.). **Vistas for Geodesy in the New Millennium**. IAG Symposium 125. Berlin: Springer-Verlag, 2002. p. 543-550.

DGFI. Deutsches Geodatisches Forschungsinstitut. **Investigations on the Unification of Height Systems**. Disponível em: <<http://www.dgfi.badw.de/>> Acesso em: 6 ago. 2004.

DREWES, H.; SÁNCHEZ, L.; BLITZKOW, D.; FREITAS, S. R. C. de. Scientific Foundations of the SIRGAS Vertical Reference System. In: DREWES, H.; DODSON, A. H.; FORTES, L. P. S.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P. (Ed.). **Vertical Reference Systems**. IAG Symposium 124, Cartagena, Colômbia. Berlin: Springer-Verlag, 2002. p. 297-301.

DREWES, H. **Sistemas de Referência Cinemáticos em Geodésia – Definição, Realização y Manutenimiento**. Palestra proferida na UFPR, Curitiba, mai. 2003.

DREWES, H.; HEIDBACH, O. **Deformation of the South American Crust Estimated from Finite Element and Collocation Methods**. IAG Symposium 128. Berlin: Springer-Verlag, 2005. p. 544-549.

FENOGLIO, L.; BELIKOV, M. Sea Surface Topography in Mediterranean Sea from Altimetry, Tide Gauge and Gravity Data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MARINE POSITIONING, INSMAP94, 1994, Hannover, Germany. **Proceedings...** Hannover: 19 a 23 de setembro de 1994. p. 289-298.

FENOGLIO, L. **Sea Surface Determination with Respect to European Vertical Datums.** München, 1996. 118 p. Dissertationen, Reihe C, Heft Nr. 464. Deutsche Geodätische Kommission.

FORTES, L. P. Sub-Comission 1.3b - Reference Frame for South and Central America (SIRGAS) – Report July 2003 – April 2005. In: DREWES, H.; HORNIK, H. (Ed.). **IAG Comission 1 – Reference Frames - Bulletin No. 19 – Mid-Term Report 2005.** Munich: 2005. p. 22-23.

FREITAS, S. R. C. de; BLITZKOW, D. Altitudes e Geopotencial. In: **International Geoid Service – Bulletin n. 9 - Special Issue for South America.** Jun. 1999. p. 47-61.

FREITAS, S. R. C. de; CORDINI, J.; MARONE, E.; SCHWAB, S. H. S. Vínculo da Rede Altimétrica Brasileira à Rede SIRGAS. In: **International Geoid Service – Bulletin n. 9 - Special Issue for South America.** Jun. 1999. p. 31-46.

FREITAS, S. R. C. **Tópicos em Altimetria por Satélites.** Notas de Aula, Curitiba, 2001.

FREITAS, S. R. C. de; MEDINA, A. S.; PIRES, A. O.; LUZ, R. T. Considerações e Experimentos para a Conexão das Redes Altimétricas da América do Sul. In: **Série em Ciências Geodésicas - 30 Anos da Pós-Graduação em Ciências Geodésicas no Brasil.** Volume I. Curitiba, 2001. p. 15-32.

FREITAS, S. R. C. de; SCHWAB, S. H. S.; MARONE, E.; PIRES A. O.; DALAZOANA, R. Local Effects in the Brazilian Vertical Datum. In: ÁDAM, J.; SCHWARZ, K. P. (Ed.). **Vistas for Geodesy in the New Millennium.** IAG Symposium 125. Berlim: Springer-Verlag, 2002a. p. 102-107.

FREITAS, S. R. C. de; MEDINA, A. S.; LIMA, S. R. S. de. Associated Problems to Link South American Vertical Networks and Possible Approaches to Face Them. In: DREWES, H.; DODSON, A. H.; FORTES, L. P. S.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P. (Ed.). **Vertical Reference Systems.** IAG Symposium 124, Cartagena, Colômbia. Berlim: Springer-Verlag, 2002b. p. 318-323.

FU, L. L.; CHRISTENSEN, E. J.; YAMARONE, C. A. Topex-Poseidon Mission Overview. **Journal of Geophysical Research**, v. 99, n. C12, p. 24369-24381, 15 dez., 1994.

FURY, R. J. Leveled Height Differences from Published NAVD 88 Orthometric Heights. **Surveying and Land Information Systems**, v. 56, n. 2. p. 89-102, jun., 1996.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações** : Aplicações Geodésicas. Curitiba: Editora da UFPR, 1994. 319 p.

GEMAEL, C. **Introdução à Geodésia Física.** Curitiba: Editora da UFPR, 1999. 304 p.

HÄFELE, P.; HUBER, S.; KANIUTH, K. Vertical Crustal Movements of Tide Gauge Sites Around the North Atlantic Ocean. In: DREWES, H.; DODSON, A. H.; FORTES, L. P. S.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P. (Ed.). **Vertical Reference Systems.** IAG Symposium 124, Cartagena, Colômbia. Berlim: Springer-Verlag, 2002. p. 244-248.

HECK, B.; RUMMEL, R. Strategies for Solving the Vertical Datum Problem Using Terrestrial and Satellite Geodetic Data. In: SÜNKEL, H.; BAKER, T. (Ed.). **Sea Surface Topography and the Geoid**. International Association of Geodesy Symposia 104, 10-11 de agosto de 1989, Edinburgo, Escócia. Berlin: Springer-Verlag, 1990. p. 116-128.

HECK, B. **Present Problems in the Definition of a Global Vertical Reference Frame**. Palestra proferida na UFPR, Curitiba, ago. 2002a.

HECK, B. **Problems in the Definition of Vertical Reference Frames**. IAG Proceedings, Hotine-Marussi Symposium Matera 2002b.

HERNANDEZ, F.; SCHAEFFER, P. **The CLS01 Mean Sea Surface: A Validation with the GSFC00.1 Surface**. CLS Ramonville St. Agne, France, 2001. 14p.

HERNÁNDEZ, J. N.; BLITZKOW, D.; LUZ, R. T.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P.; DREWES, H. Connection of the Vertical Control Networks of Venezuela, Brazil and Colômbia. In: DREWES, H.; DODSON, A. H.; FORTES, L. P. S.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P. (Ed.). **Vertical Reference Systems**. IAG Symposium 124, Cartagena, Colômbia. Berlin: Springer-Verlag, 2002. p. 324-327.

HOLGATE, S. J.; WOODWORTH, P. L. Evidence for Enhanced Coastal Sea Level Rise during the 1990s. **Geophysical Research Letters**, v. 31, n. 7, L07305, abr. 2004.

HUGENTOBLER, U.; DACH, R.; FRIDEZ, P. Bernese GPS Software Version 5.0 – draft. Astronomical Institute, University of Bern. Bern, february, 2005. 388p.

IAG SYMPOSIUM, No. 104, 1989, Edinburgh, Scotland. **Sea Surface Topography and the Geoid**. New York: Springer-Verlag, 1990. 187 p.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul**. Relatório Final. Grupos de Trabalho I e II. Rio de Janeiro, 1997. 99 p.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul – SIRGAS. Boletim Informativo nº 5**. Rio de Janeiro, fev. 1998. 11 p. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/pdf/bol_005.pdf>

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **A Nova Realização SIRGAS – SIRGAS 2000 – Grupo de Trabalho I e III**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/sirgas/realizacao2000.htm>> Acesso em: 6 mar. 2001.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul – SIRGAS. Boletim Informativo nº 6**. Rio de Janeiro, fev. 2002a. 35 p. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/pdf/bol_006.pdf>

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul – SIRGAS. Boletim Informativo nº 7**. Rio de Janeiro, dez. 2002b. 111 p. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/pdf/bol_007.pdf>

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estatuto Proyecto SIRGAS**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/sirgas/principal.htm>> Acesso em: 28 jul. 2003a. 6 p.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Coordenadas SIRGAS 2000**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/sirgas/resultados_2000.htm> Acesso em: 4 jun. 2003b.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Resolução do Presidente 1/2005**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/leg.shtm>> Acesso em: 1 abr. 2005.

IOC. Intergovernmental Oceanographic Commission. **Manual on Sea Level Measurement and Interpretation**. Volume I – Basic Procedures. IOC – Intergovernmental Oceanographic Commission, Manual and Guides No. 14, UNESCO, 1985. 75 p.

IOC. Intergovernmental Oceanographic Commission. **Manual on Sea Level Measurement and Interpretation**. Volume III – Reappraisals and Recommendations as of the year 2000. IOC – Intergovernmental Oceanographic Commission, Manual and Guides No. 14, UNESCO, 2002. 49 p.

JEKELI, C. **Heights, the Geopotential, and Vertical Datums**. Ohio, 2000. 35 p. Report nº 459. The Ohio State University.

JPL. Jet Propulsion Laboratory. **Shuttle Radar Topography Mission: The Mission to Map the World**. Disponível em: <<http://www.jpl.nasa.gov/srtm>>. Acesso em: 18 set. 2003.

KHAFID; ILK, K. H.; RUMMEL, R.; KASENDA, A.; PRIJANTO, A. The Connection of Local Height Systems: A Case Study in Indonesia. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MARINE POSITIONING, INSMAP94, 1994, Hannover, Germany. **Proceedings...** Hannover: 19 a 23 de setembro de 1994. p. 142-157.

KHAFID. **On the Unification of Indonesian Local Heights**. München, 1998. 110 p. Dissertationen, Reihe C, Heft Nr. 488. Deutsche Geodätische Kommission.

LAURÍA, E. A.; GALBÁN, F. M.; BRUNINI, C.; FONT, G.; RODRÍGUEZ, R.; PACINO, C. The Vertical Reference System in the Argentine Republic. In: DREWES, H.; DODSON, A. H.; FORTES, L. P. S.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P. (Ed.). **Vertical Reference Systems**. IAG Symposium 124, Cartagena, Colômbia. Berlin: Springer-Verlag, 2002. p. 11-15.

LE PROVOST, C. Ocean Tides. In: FU, L. L.; CAZENAVE, A. (Ed.). **Satellite Altimetry and Earth Sciences: a Handbook of Techniques and Applications**. Academic Press, 2001. p. 267-303.

LEHMANN, R. Altimetry-gravimetry problems with free vertical datum. **Journal of Geodesy**, Springer-Verlag, v. 74, n. 3-4, p 327-334, mai. 2000.

LEMOINE, F. G.; KENYON, S. C.; FACTOR, J. K.; TRIMMER, R. G.; PAVLIS, N. K.; CHINN, D. S.; COX, C. M.; KLOSKO, S. M.; LUTHCKE, S. B.; TORRENCE, M. H.; WANG, Y. M.; WILLIAMSON, R. G.; PAVLIS, E. C.; RAPP, R. H.; OLSON, T. R. **The Development of the Joint NASA GSFC and the National Imagery and Mapping Agency (NIMA) Geopotential Model EGM 96**. jul. 1998.

LIEBSCH, G.; NOVOTNY, K.; DIETRICH, R.; SHUM, C. K. Comparison of Multimission Altimetric Sea-Surface Heights with Tide Gauge Observations in the Southern Baltic Sea. **Marine Geodesy**, v. 25, p. 213-234, 2002.

LUZ, R. T. **A Influência das Ondas de Alta e Média Frequência na Observação do Nível do Mar para Aplicações Geodésicas**. Rio de Janeiro, 1996. 168 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Oceânicas). Universidade Federal do Rio de Janeiro.

LUZ, R. T.; FREITAS, S. R. C. de; DALAZOANA, R. Seguimiento del Datum Altimétrico Imbituba a través de las Redes Altimétricas y Mareográficas del Sistema Geodésico Brasileiro. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS DA TERRA, 7., 2002a, Santiago, Chile. **Anais...**(não publicados) Santiago: 21 a 25 de outubro de 2002. Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_artigos.shtm>.

LUZ, R. T.; FORTES, L. P. S.; HOYER, M.; DREWES, H. The Vertical Reference Frame for the Americas – The SIRGAS 2000 GPS Campaign- . In: DREWES, H.; DODSON, A. H.; FORTES, L. P. S.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P. (Ed.). **Vertical Reference Systems**. IAG Symposium 124, Cartagena, Colômbia. Berlim: Springer-Verlag, 2002b. p. 302-305.

LUZ, R. T.; GUIMARÃES, V. M. Dez Anos de Monitoramento do Nível do Mar no IBGE. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 3., 2003, Curitiba, Paraná. **Anais ...** Curitiba: 06 a 09 de maio de 2003. 1 CD-ROM.

LUZ, R. T. **Investigação de Altitudes Adequadas à Realização do Datum Vertical SIRGAS no Brasil**. Curitiba, 2005. 29 p. Seminário II – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

MEDEIROS, Z., F. **Considerações sobre a Metodologia de Levantamentos Altimétricos de Alta Precisão e Propostas para sua Implementação**. Curitiba, 1999. 142 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

NATALI, M.; BRUNINI, C.; KANIUTH, K.; DREWES, H. Monitoring Tide Gauge Benchmarks in Argentina by GPS. In: DREWES, H.; DODSON, A. H.; FORTES, L. P. S.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P. (Ed.). **Vertical Reference Systems**. IAG Symposium 124, Cartagena, Colômbia. Berlim: Springer-Verlag, 2002. p. 255-258.

ONU. 7th **United Nations Regional Cartographic Conference for the Americas**. New York, 22-26 Janeiro, 2001. Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/sirgas/ONU2001.pdf>

PAN, M.; SJÖBERG, L. E. Unification of vertical datums by GPS and gravimetric geoid models with application to Fennoscandia. **Journal of Geodesy**, Springer-Verlag, v. 72, n. 2, p. 64-70, fev. 1998.

PIÑA, W. H. S.; DI LANDRO, H. R.; TURBAN, L. The Vertical datum and Local Geoid Models in Uruguay. In: DREWES, H.; DODSON, A. H.; FORTES, L. P. S.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P. (Ed.). **Vertical Reference Systems**. IAG Symposium 124, Cartagena, Colômbia. Berlim: Springer-Verlag, 2002. p. 169-175.

POND, S.; PICKARD, G.L. **Introductory Dynamical Oceanography**. 2nd edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1983. 329 p.

PSMSL. Permanent Service for Mean Sea Level. Disponível em: <http://www.pol.ac.uk/psmsl/psmsl_individual_stations.html>. Acesso em: 20 ago. 2002.

PUGH, D. T. **Tides, Surges and Mean Sea Level**. John Wiley & Sons, 1987. 472 p.

SÁNCHEZ, L.; MARTÍNEZ, W. Approach to the New Vertical Reference System for Colombia. In: DREWES, H.; DODSON, A. H.; FORTES, L. P. S.; SÁNCHEZ, L.;

SANDOVAL, P. (Ed.). **Vertical Reference Systems**. IAG Symposium 124, Cartagena, Colômbia. Berlim: Springer-Verlag, 2002. p. 27-33.

SÁNCHEZ, L. A Reference Surface for the Unified Height System in the Northern Part of South America. In: ADÁM, J.; SCHWARZ, K. P. (Ed.). **Vistas for Geodesy in the New Millennium**. IAG Symposium 125. Berlim: Springer-Verlag, 2002. p. 84-89.

SÁNCHEZ, L. GTIII SIRGAS: Datum Vertical – Estado Actual y Tareas Urgentes. In: **SIRGAS Workshop**, Aguascalientes, México, diciembre 9 y 10 de 2004.

SÁNCHEZ, L. GTIII SIRGAS: Datum Vertical – **Reporte 2005**. Caracas, Venezuela, noviembre 17 y 18 de 2005. 37p.

SÁNCHEZ, L. **Definition and Realisation of the SIRGAS Vertical Reference System within a Globally Unified Height System**. IAG Symposium, Cairns, Austrália. Berlim: Springer-Verlag, 2006. No prelo.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications**. 2. ed. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003. 589 p.

SHOM. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine. **Test de Van de Castele**. Disponível em: <http://www.shom.fr/fr_page/fr_act_oceano/maree/vdc.htm> Acesso em: 24 mar. 2004.

SQUITTER. Squitter Eletronics Inc. **Sensors**. Disponível em: <<http://squitter.com/products/sensors/specs/wlevel/S2103&04.pdf>> . Acesso em: 3 fev. 2004.

SUBIZA P., W. H. **A Determinação de um Modelo Geoidal de Precisão para o Uruguai**. Curitiba, 2000. 165 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná.

TAPLEY, B. D.; KIM, M. C. Applications to Geodesy. In: FU, L. L.; CAZENAVE, A. (Ed.). **Satellite Altimetry and Earth Sciences: a Handbook of Techniques and Applications**. Academic Press, 2001. p. 371-406.

TRABANCO, J. L. A. **Conceitos e Técnicas Modernas de Monitoramento da Crosta Terrestre e sua Vinculação com o Estudo do Nível Médio do Mar – Uma Análise das Estações Maregráficas de Cananéia e Ubatuba**. São Paulo, 2003. 228 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

UHSLC. University of Hawaii Sea Level Center. **Research Quality Database**. UHSLC Research Quality Sea Level Station Data. Disponível em: <<ftp://ilikai.soest.hawaii.edu/rqds/atlantic/atlantic.lst>> Acesso em: 21 jun. 2004.

USGS. U. S. Geological Survey. **GTOPO30**. Disponível em: <<http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/README.html>>. Acesso em: 18 set. 2003a.

USGS. U. S. Geological Survey. **Shuttle Radar Topography Mission: Mapping the World in 3 Dimensions**. Disponível em: <<http://srtm.usgs.gov>>. Acesso em: 18 set. 2003b.

VeReS. Vertical Reference Systems. Cartagena Statement on Vertical Reference Systems. In: DREWES, H.; DODSON, A. H.; FORTES, L. P. S.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P. (Ed.). **Vertical Reference Systems**. IAG Symposium 124, Cartagena, Colômbia. Berlim: Springer-Verlag, 2002. p. 352.

WOODWORTH, P. L. Introduction to the Workshop on Methods for Monitoring Sea Level: GPS and Tide Gauge Benchmark Monitoring, GPS Altimeter Calibration. In: WORKSHOP ON METHODS FOR MONITORING SEA LEVEL, 19 a 23 de setembro de 1994, Hannover, Germany. **Proceedings**. Hannover: 1997. p. 3-10.

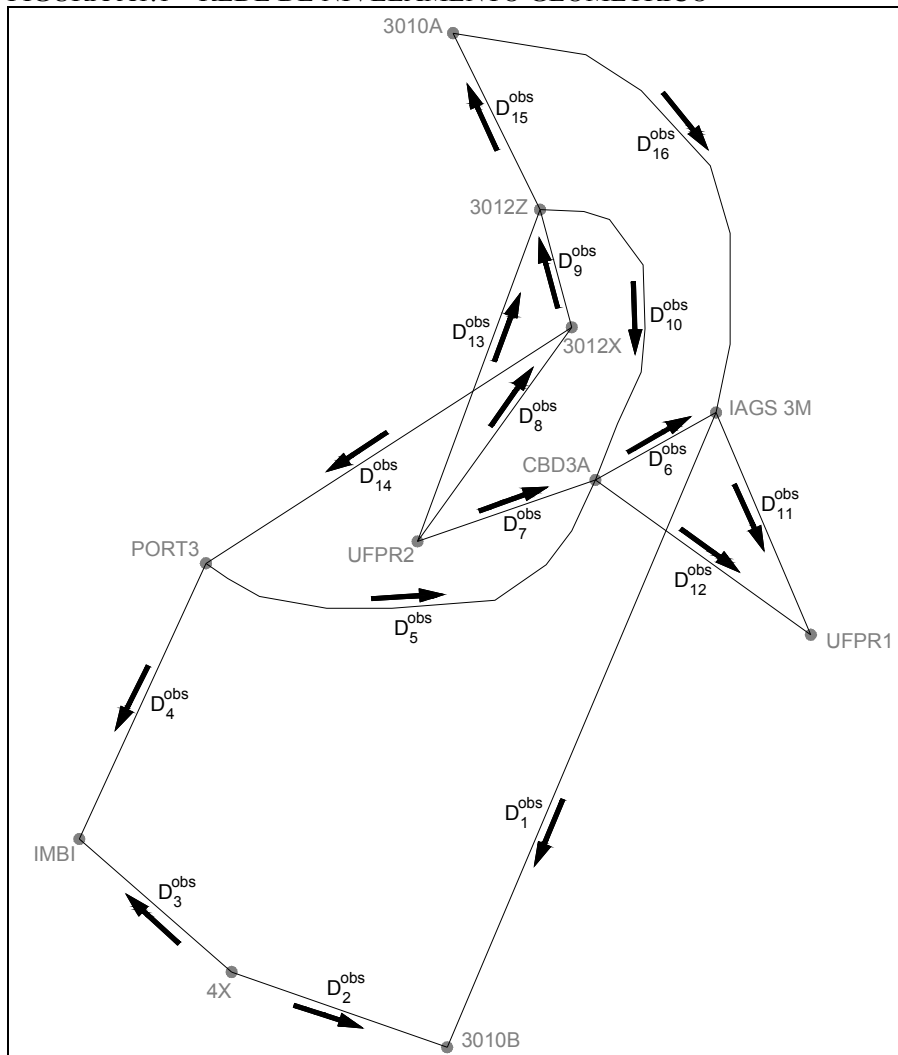
WOODWORTH, P. L. **Monitoring and Predicting Long Term Global Sea and Level Level Changes**. Disponível em: <<http://www.pol.ac.uk/psmsl/powerpoint>>. Acesso em: 6 jan. 2003.

ANEXO 1 – AJUSTAMENTO DA REDE DE NIVELAMENTO PELO MÉTODO PARAMÉTRICO

A1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

As campanhas de nivelamento geométrico realizadas no porto de Imbituba em 2005 permitiram o estabelecimento da rede de nivelamento indicada na Figura A1.1, onde a RN IAGS 3M possui uma altitude igual a 6,5553 m e as setas indicam o sentido no qual o terreno se eleva.

FIGURA A1.1 – REDE DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO



As observações de campo, ou seja, os desníveis observados são em número de 16 e estão indicados na Tabela A1.1. As incógnitas do ajustamento são as altitudes das RRNN e são em número de 10. Na montagem da matriz dos pesos, foram adotados valores inversamente proporcionais ao comprimento das linhas.

TABELA A1.1 – OBSERVAÇÕES DE CAMPO – NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

Seção (D_i^{obs})	RRNN ocupadas	Desnível Observado (m)	Comprimento da Seção (m)
D_1^{obs}	IAGS 3M – 3010B	2,92432	904,475
D_2^{obs}	3010B – 4X	-0,83761	202,145
D_3^{obs}	4X – IMBI	1,86628	83,665
D_4^{obs}	IMBI – PORT3	-4,48378	706,515
D_5^{obs}	PORT3 – CBD3A	0,11601	476,405
D_6^{obs}	CBD3A – IAGS 3M	0,41485	20,200
D_7^{obs}	CBD3A – UFPR2	-4,31066	165,680
D_8^{obs}	UFPR2 – 3012X	0,17910	54,465
D_9^{obs}	3012X – 3012Z	0,08988	40,250
D_{10}^{obs}	3012Z – CBD3A	4,04480	341,635
D_{11}^{obs}	IAGS 3M – UFPR1	0,33382	91,630
D_{12}^{obs}	UFPR1 – CBD3A	-0,74860	82,990
D_{13}^{obs}	UFPR2 – 3012Z	0,26859	79,635
D_{14}^{obs}	PORT3 – 3012X	-4,01655	438,474
D_{15}^{obs}	3012Z – 3010A	4,06107	414,985
D_{16}^{obs}	3010A – IAGS 3M	0,39461	345,365

A1.2 DETERMINAÇÃO DAS ALTITUDES E DOS DESNÍVEIS AJUSTADOS

A1.2.1 Modelo Matemático – valores observados ajustados

$$\begin{bmatrix} D_1^{\text{ajust}} \\ D_2^{\text{ajust}} \\ D_3^{\text{ajust}} \\ D_4^{\text{ajust}} \\ D_5^{\text{ajust}} \\ D_6^{\text{ajust}} \\ D_7^{\text{ajust}} \\ D_8^{\text{ajust}} \\ D_9^{\text{ajust}} \\ D_{10}^{\text{ajust}} \\ D_{11}^{\text{ajust}} \\ D_{12}^{\text{ajust}} \\ D_{13}^{\text{ajust}} \\ D_{14}^{\text{ajust}} \\ D_{15}^{\text{ajust}} \\ D_{16}^{\text{ajust}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{3010B}^{\text{ajust}} - H_{3M} \\ H_{3010B}^{\text{ajust}} - H_{4X}^{\text{ajust}} \\ H_{IMBI}^{\text{ajust}} - H_{4X}^{\text{ajust}} \\ H_{IMBI}^{\text{ajust}} - H_{PORT3}^{\text{ajust}} \\ H_{CBD3A}^{\text{ajust}} - H_{PORT3}^{\text{ajust}} \\ H_{3M} - H_{CBD3A}^{\text{ajust}} \\ H_{CBD3A}^{\text{ajust}} - H_{UFPR2}^{\text{ajust}} \\ H_{3012X}^{\text{ajust}} - H_{UFPR2}^{\text{ajust}} \\ H_{3012Z}^{\text{ajust}} - H_{3012X}^{\text{ajust}} \\ H_{CBD3A}^{\text{ajust}} - H_{3012Z}^{\text{ajust}} \\ H_{UFPR1}^{\text{ajust}} - H_{3M} \\ H_{UFPR1}^{\text{ajust}} - H_{CBD3A}^{\text{ajust}} \\ H_{3012Z}^{\text{ajust}} - H_{UFPR2}^{\text{ajust}} \\ H_{PORT3}^{\text{ajust}} - H_{3012X}^{\text{ajust}} \\ H_{3010A}^{\text{ajust}} - H_{3012Z}^{\text{ajust}} \\ H_{3M} - H_{3010A}^{\text{ajust}} \end{bmatrix}$$

A1.2.2 Vetor dos Parâmetros Aproximados (X_0) (em metros)

$$X_0 = \begin{bmatrix} H_{UFPR2} \\ H_{3012Z} \\ H_{3010A} \\ H_{CBD3A} \\ H_{3010B} \\ H_{4X} \\ H_{IMBI} \\ H_{PORT3} \\ H_{3012X} \\ H_{UFPR1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{3M} - D_6^{\text{obs}} - D_7^{\text{obs}} \\ H_{3M} - D_6^{\text{obs}} - D_{10}^{\text{obs}} \\ H_{3M} - D_{16}^{\text{obs}} \\ H_{3M} - D_6^{\text{obs}} \\ H_{3M} + D_1^{\text{obs}} \\ H_{3M} + D_1^{\text{obs}} - D_2^{\text{obs}} \\ H_{3M} + D_1^{\text{obs}} - D_2^{\text{obs}} + D_3^{\text{obs}} \\ H_{3M} - D_6^{\text{obs}} - D_5^{\text{obs}} \\ H_{3M} - D_{16}^{\text{obs}} - D_{15}^{\text{obs}} - D_9^{\text{obs}} \\ H_{3M} + D_{11}^{\text{obs}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,82979 \\ 2,09565 \\ 6,16069 \\ 6,14045 \\ 9,47962 \\ 8,64201 \\ 10,50829 \\ 6,02444 \\ 2,00974 \\ 6,88912 \end{bmatrix}$$

A1.2.3 Vetor $L_0=F(X_0)$ (em metros)

$$L_0 = \begin{bmatrix} H_{3010B} - H_{3M} \\ H_{3010B} - H_{4X} \\ H_{IMBI} - H_{4X} \\ H_{IMBI} - H_{PORT3} \\ H_{CBD3A} - H_{PORT3} \\ H_{3M} - H_{CBD3A} \\ H_{CBD3A} - H_{UFPR2} \\ H_{3012X} - H_{UFPR2} \\ H_{3012Z} - H_{3012X} \\ H_{CBD3A} - H_{3012Z} \\ H_{UFPR1} - H_{3M} \\ H_{UFPR1} - H_{CBD3A} \\ H_{3012Z} - H_{UFPR2} \\ H_{PORT3} - H_{3012X} \\ H_{3010A} - H_{3012Z} \\ H_{3M} - H_{3010A} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,92432 \\ 0,83761 \\ 1,86628 \\ 4,48385 \\ 0,11601 \\ 0,41484 \\ 4,31066 \\ 0,17995 \\ 0,08591 \\ 4,04481 \\ 0,33382 \\ 0,74866 \\ 0,26585 \\ 4,01470 \\ 4,06504 \\ 0,39461 \end{bmatrix}$$

A1.2.4 Vetor dos Valores Observados (L_B) (em metros)

$$L_B = \begin{bmatrix} D_1^{obs} \\ D_2^{obs} \\ D_3^{obs} \\ D_4^{obs} \\ D_5^{obs} \\ D_6^{obs} \\ D_7^{obs} \\ D_8^{obs} \\ D_9^{obs} \\ D_{10}^{obs} \\ D_{11}^{obs} \\ D_{12}^{obs} \\ D_{13}^{obs} \\ D_{14}^{obs} \\ D_{15}^{obs} \\ D_{16}^{obs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,92432 \\ 0,83761 \\ 1,86628 \\ 4,48378 \\ 0,11601 \\ 0,41484 \\ 4,31066 \\ 0,17910 \\ 0,08988 \\ 4,04480 \\ 0,33382 \\ 0,74860 \\ 0,26859 \\ 4,01655 \\ 4,06107 \\ 0,39461 \end{bmatrix}$$

A1.2.7 Matriz A – matriz das derivadas parciais das equações em relação aos parâmetros

$$A = \left. \frac{\partial F}{\partial Xa} \right|_{x_0}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

A1.2.8 Cálculo do Vetor de Correção aos Parâmetros Aproximados (X) (em metros)

$$X = -(A^T P A)^{-1} A^T P L$$

$$X = \begin{bmatrix} -0,000600 \\ 0,002149 \\ -0,000826 \\ 0,000049 \\ 0,000021 \\ 0,000026 \\ 0,000028 \\ 0,000115 \\ -0,001663 \\ -0,000007 \end{bmatrix}$$

A1.2.9 Cálculo do Vetor dos Parâmetros Ajustados ($X_A = X_0 + X$) (em metros)

$$X_A = \begin{bmatrix} 1,82919 \\ 2,09780 \\ 6,15986 \\ 6,14050 \\ 9,47964 \\ 8,64204 \\ 10,50832 \\ 6,02455 \\ 2,00808 \\ 6,88911 \end{bmatrix}$$

A1.2.10 Cálculo do Vetor dos Resíduos ($V = AX + L$) (em metros)

$$V = \begin{bmatrix} 0,000021 \\ -0,000005 \\ 0,000002 \\ -0,000016 \\ -0,000066 \\ -0,000049 \\ 0,000649 \\ -0,000221 \\ -0,000157 \\ -0,002100 \\ -0,000007 \\ 0,000006 \\ 0,000014 \\ -0,000071 \\ 0,000994 \\ 0,000826 \end{bmatrix}$$

A1.2.11 Cálculo do Vetor das Observações Ajustadas – Desníveis Ajustados

$$L_A = L_B + V$$

$$L_a = \begin{bmatrix} D_1^{\text{ajust}} \\ D_2^{\text{ajust}} \\ D_3^{\text{ajust}} \\ D_4^{\text{ajust}} \\ D_5^{\text{ajust}} \\ D_6^{\text{ajust}} \\ D_7^{\text{ajust}} \\ D_8^{\text{ajust}} \\ D_9^{\text{ajust}} \\ D_{10}^{\text{ajust}} \\ D_{11}^{\text{ajust}} \\ D_{12}^{\text{ajust}} \\ D_{13}^{\text{ajust}} \\ D_{14}^{\text{ajust}} \\ D_{15}^{\text{ajust}} \\ D_{16}^{\text{ajust}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,92434 \\ 0,83761 \\ 1,86628 \\ 4,48376 \\ 0,11595 \\ 0,41479 \\ 4,31131 \\ 0,17888 \\ 0,08972 \\ 4,04271 \\ 0,33381 \\ 0,74861 \\ 0,26860 \\ 4,01648 \\ 4,06206 \\ 0,39544 \end{bmatrix}$$

A1.2.12 Cálculo da Variância da Unidade de Peso a Posteriori (σ_0^2):

$$\sigma_0^2 = \frac{V^T P V}{n - u} \quad \text{Onde } n - u = 6$$

$$\sigma_0^2 = 0,00000358$$

A1.2.13 Cálculo da MVC dos Parâmetros Observados Ajustados (ΣX_A):

$$\Sigma X_A = \sigma_0^2 (A^T P A)^{-1}$$

$$\Sigma X_A = \begin{bmatrix} 0,0386 & 0,0325 & 0,0147 & 0,0055 & 0,0087 & 0,0106 & 0,0115 & 0,0183 & 0,0342 & 0,0029 \\ 0,0325 & 0,0402 & 0,0183 & 0,0053 & 0,0091 & 0,0111 & 0,0119 & 0,0190 & 0,0360 & 0,0028 \\ 0,0147 & 0,0183 & 0,0757 & 0,0024 & 0,0041 & 0,0050 & 0,0054 & 0,0086 & 0,0164 & 0,0013 \\ 0,0055 & 0,0053 & 0,0024 & 0,0063 & 0,0025 & 0,0030 & 0,0032 & 0,0052 & 0,0054 & 0,0033 \\ 0,0087 & 0,0091 & 0,0041 & 0,0025 & 0,1886 & 0,1585 & 0,1459 & 0,0407 & 0,0105 & 0,0013 \\ 0,0106 & 0,0111 & 0,0050 & 0,0030 & 0,1585 & 0,1939 & 0,1786 & 0,0497 & 0,0128 & 0,0016 \\ 0,0115 & 0,0119 & 0,0054 & 0,0032 & 0,1459 & 0,1786 & 0,1921 & 0,0535 & 0,0138 & 0,0017 \\ 0,0183 & 0,0190 & 0,0086 & 0,0052 & 0,0407 & 0,0497 & 0,0535 & 0,0853 & 0,0220 & 0,0027 \\ 0,0342 & 0,0360 & 0,0164 & 0,0054 & 0,0105 & 0,0128 & 0,0138 & 0,0220 & 0,0424 & 0,0028 \\ 0,0029 & 0,0028 & 0,0013 & 0,0033 & 0,0013 & 0,0016 & 0,0017 & 0,0027 & 0,0028 & 0,0173 \end{bmatrix} 10^{-5}$$

A1.2.14 Cálculo da MVC dos Valores Observados Ajustados (ΣL_A):

$$\Sigma L_A = \sigma_0^2 A(A^T P A)^{-1} A^T$$

$$\Sigma L_A = \begin{bmatrix} 0,1886 & 0,0301 & -0,0125 & 0,1053 & -0,0382 & -0,0025 & -0,0062 & 0,0018 & -0,0014 & -0,0066 & 0,0013 & -0,0012 & 0,0004 & 0,0302 & -0,0049 & -0,0041 \\ 0,0301 & 0,0655 & 0,0028 & -0,0235 & 0,0085 & 0,0005 & 0,0014 & -0,0004 & 0,0003 & 0,0015 & -0,0003 & 0,0003 & -0,0001 & -0,0067 & 0,0011 & 0,0009 \\ -0,0125 & 0,0028 & 0,0289 & 0,0098 & -0,0035 & -0,0002 & -0,0006 & 0,0002 & -0,0001 & -0,0006 & 0,0001 & -0,0001 & 0,0000 & 0,0028 & -0,0005 & -0,0004 \\ 0,1053 & -0,0235 & 0,0098 & 0,1703 & 0,0298 & 0,0019 & 0,0049 & -0,0014 & 0,0011 & 0,0052 & -0,0010 & 0,0009 & -0,0003 & -0,0236 & 0,0039 & 0,0032 \\ -0,0382 & 0,0085 & -0,0035 & 0,0298 & 0,0812 & -0,0011 & 0,0139 & -0,0039 & 0,0029 & 0,0148 & 0,0006 & -0,0005 & -0,0009 & -0,0635 & 0,0075 & 0,0062 \\ -0,0025 & 0,0005 & -0,0002 & 0,0019 & -0,0011 & 0,0062 & -0,0008 & 0,0001 & 0,0001 & -0,0009 & -0,0033 & 0,0030 & 0,0002 & 0,0002 & 0,0029 & 0,0024 \\ -0,0062 & 0,0014 & -0,0006 & 0,0049 & 0,0139 & -0,0008 & 0,0339 & 0,0042 & 0,0017 & 0,0279 & 0,0004 & -0,0004 & 0,0060 & 0,0158 & 0,0148 & 0,0123 \\ 0,0018 & -0,0004 & 0,0002 & -0,0014 & -0,0039 & 0,0001 & 0,0042 & 0,0126 & -0,0046 & -0,0037 & -0,0001 & 0,0001 & 0,0079 & -0,0044 & -0,0020 & -0,0016 \\ -0,0014 & 0,0003 & -0,0001 & 0,0011 & 0,0029 & 0,0001 & 0,0017 & -0,0046 & 0,0106 & -0,0043 & -0,0000 & 0,0000 & 0,0060 & 0,0034 & -0,0023 & -0,0019 \\ -0,0066 & 0,0015 & -0,0006 & 0,0052 & 0,0148 & -0,0009 & 0,0279 & -0,0037 & -0,0043 & 0,0359 & 0,0005 & -0,0004 & -0,0080 & 0,0168 & 0,0191 & 0,0159 \\ 0,0013 & -0,0003 & 0,0001 & -0,0010 & 0,0006 & -0,0033 & 0,0004 & -0,0001 & -0,0000 & 0,0005 & 0,0173 & 0,0140 & -0,0001 & -0,0001 & -0,0015 & -0,0013 \\ -0,0012 & 0,0003 & -0,0001 & 0,0009 & -0,0005 & 0,0030 & -0,0004 & 0,0001 & 0,0000 & -0,0004 & 0,0140 & 0,0170 & 0,0001 & 0,0001 & 0,0014 & 0,0011 \\ 0,0004 & -0,0001 & 0,0000 & -0,0003 & -0,0009 & 0,0002 & 0,0060 & 0,0079 & 0,0060 & -0,0080 & -0,0001 & 0,0001 & 0,0139 & -0,0010 & -0,0042 & -0,0035 \\ 0,0302 & -0,0067 & 0,0028 & -0,0236 & -0,0635 & 0,0002 & 0,0158 & -0,0044 & 0,0034 & 0,0168 & -0,0001 & 0,0001 & -0,0010 & 0,0837 & 0,0093 & 0,0077 \\ -0,0049 & 0,0011 & -0,0005 & 0,0039 & 0,0075 & 0,0029 & 0,0148 & -0,0020 & -0,0023 & 0,0191 & -0,0015 & 0,0014 & -0,0042 & 0,0093 & 0,0794 & -0,0574 \\ -0,0041 & 0,0009 & -0,0004 & 0,0032 & 0,0062 & 0,0024 & 0,0123 & -0,0016 & -0,0019 & 0,0159 & -0,0013 & 0,0011 & -0,0035 & 0,0077 & -0,0574 & 0,0757 \end{bmatrix} 10^{-5}$$

ANEXO 2 – VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DOS DADOS RASTREADOS COM O PROGRAMA TEQC

A qualidade dos dados rastreados foi verificada por meio da opção *quality check* do programa TEQC. Os arquivos diários de observação da estação IMBI, no formato RINEX, foram usados como arquivos de entrada para o aplicativo e este forneceu como arquivos de saída os indicados no decorrer deste anexo. O significado dos símbolos utilizados na plotagem do diagrama ilustrativo que se encontra no início de cada arquivo diário é o que segue:

QC Symbol codes for ASCII plot:

Symbol codes for "SV":
(hierarchy is left-to-right, top-to_bottom)

C	receiver clock slip	m	n-msec multipath jump
I	ionospheric phase slip	M	multipath MP1 and MP2 slips
1	multipath MP1 slip only	2	multipath MP2 slip only
3	write switch case	4	write switch case
-	missing data	.	A/S off; L1 C/A
:	A/S off; L1 P1	~	A/S off; L1 C/A L2 P2
*	A/S off; L1 P1 L2 P2	,	A/S on; L1 C/A
;	A/S on; L1 P1	o	A/S on; L1 C/A L2 P2
y	A/S on; L1 P1 L2 P2	L	Bit 0 of LLI set (rx lost lock)

Symbol codes for "Clk" (receiver clock):
(hierarchy is left-to-right, top-to_bottom)

-	reset by – msec	+	reset by + msec
^	missing observation epoch(s)		

A2.1 CAMPANHA DE 1997

Dia GPS 118

```

SV+-----+ SV
27|ooo                                     oooooooooooooooooooooo| 27
 2|ooooo                                   oooooooooooooooooooooo| 2
 7|ooooooo                                 oooooooooooooo| 7
 4|oooooooooooooo                         ooooooooooo      ;| 4
 9|oooooooooooooooooooo                   oo| 9
 5|1ooooooooooooooooooooo1;              | 5
26|ooooooo                                ooooooo        oooooooooo| 26
24| ooooooooooooooooooooo                ooooo2          | 24
30|   ooooooooooooooooooooo              | 30
 6|   ooooooooooooooooooooooooooooo      | 6
10|   ;oooooooooooooo                   ooooooooooooooooooo | 10
17|   ooooooooooooooooooooooooooooo      | 17
25|   ooooooooooo                        ;oooooooooooooooooo | 25
23|   ooooooooooooooooooooooooooooo      | 23
22|   ooooooooooooooooooo                1ooooooooooooo    | 22
21|   ooooooooooooooooooooooooooooo      | 21
28|   *****                             | 28
 3|   ooooooooooooooooooooooooooooo      | 3
 1|   ooooooooooooooooooooooooooooo      | 1
31|   ooooooooooooooooooooo              ooooooo          | 31
15|   ooooooooooooooooooooooooooooo      | 15
29|   ooooooooooooooooooooooooooooo      | 29
14|   ooooooooooooooooooooooooooooo;     | 14
16|   ooooooooooooooooooooooooooooo      | 16
18|   ooooooooooooooooooooooooooooo      | 18
19|   ooooooooooooooooooooooooooooo      | 19
Obs|7887778767778888777898789899898887898988867678889898998aa777787776556|Obs
Clk|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|Clk
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
00:05: 0.000                                     23:45:29.904
1997 Apr 28                                     1997 Apr 28

```

```

*****
QC of RINEX file(s) : IMB1180.970
*****
Time of start of window : 1997 Apr 28 00:05: 0.000
Time of end of window : 1997 Apr 28 23:45:29.904
Time line window length : 23.67 hour(s), ticked every 3.0 hour(s)
Observation interval : 30.0000 seconds
Total satellites w/ obs : 26
NAVSTAR GPS SVs w/o OBS : 8 11 12 13 20 32
Rx tracking capability : 12 SVs
Poss. # of obs epochs : 2842
Epochs w/ observations : 2842
Complete observations : 20632
Deleted observations : 71
Moving average MP1 : 0.436936 m
Moving average MP2 : 0.467959 m
Points in MP moving avg : 50
No. of Rx clock offsets : 96
Total Rx clock drift : -96.000000 ms
Rate of Rx clock drift : -4.055 ms/hr
Avg time between resets : 14.797 minute(s)
Report gap > than : 10.00 minute(s)
but < than : 90.00 minute(s)
epochs w/ msec clk slip : 0
other msec mp events : 0 (: 6) {expect <= 1:50}
IOD signifying a slip : >400.0 cm/minute
IOD slips : 0
IOD or MP slips : 0
first epoch last epoch hrs dt #expt #have % mp1 mp2 o/slps
SUM 97 4 28 00:05 97 4 28 23:45 23.67 30 n/a 20632 n/a 0.44 0.47 20632

```

Dia GPS 120

```

SV+-----+ SV
27|oo                                     oooooooooooooooooooooo| 27
 2|oooo                                     oooooooooooooooooooo|  2
 7|ooooooo                                oooooooooooooo|    7
 4|ooooooooooooooooo                       oooooooooooooo   ;|  4
 9|ooooooooooooooooooooo                   oo|              9
24|ooooooooooooooooooooo                   oooo1              | 24
 5|;ooooooooooooooooooooo.                |                    |  5
26|ooooooo      ooooooo                    ooooooooooo|    26
30|      oooooooooooooooooooooo1          |                    |  30
 6|      oooooooooooooooooooooo          |                    |  6
10|      ;ooooooooooooo                    oooooooooooooo   |  10
17|      oooooooooooooooooooooo          |                    |  17
25|      oooooooooooooo      ;ooooooooooooo |                    |  25
23|      oooooooooooooooooooooo          |                    |  23
22|      oooooooooooooooooooooo      ;ooooooooooooo   |    22
21|      oooooooooooooooooooooo          |                    |  21
28|      *****                          |                    |  28
 3|      oooooooooooooooooooooo          |                    |  3
 1|      oooooooooooooooooooooo          |                    |  1
31|      oooooooooooooooooooooo      ooooooooooo   |    31
15|      oooooooooooooooooooooo          |                    |  15
29|      oooooooooooooooooooooo          |                    |  29
14|      1ooooooooooooooooooooo1          |                    |  14
16|      oooooooooooooooooooooo;          |                    |  16
18|      oooooooooooooooooooooo;          |                    |  18
19|      oooooooooooooooooooooo          |                    |  19
Obs|88777786677888887778987998999888888988886767788988889999a8777787766556|Obs
Clk|-----|Clk
  +-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----+
00:02:30.000                                     23:46:29.906
1997 Apr 30                                     1997 Apr 30

```

```

*****
QC of RINEX file(s) : IMBI1200.970
*****

```

```

Time of start of window : 1997 Apr 30 00:02:30.000
Time of end of window : 1997 Apr 30 23:46:29.906
Time line window length : 23.73 hour(s), ticked every 3.0 hour(s)
Observation interval : 30.0000 seconds
Total satellites w/ obs : 26
NAVSTAR GPS SVs w/o OBS : 8 11 12 13 20 32
Rx tracking capability : 12 SVs
Poss. # of obs epochs : 2849
Epochs w/ observations : 2849
Complete observations : 20652
Deleted observations : 43
Moving average MP1 : 0.425408 m
Moving average MP2 : 0.466169 m
Points in MP moving avg : 50
No. of Rx clock offsets : 94
Total Rx clock drift : -94.000000 ms
Rate of Rx clock drift : -3.961 ms/hr
Avg time between resets : 15.149 minute(s)
Report gap > than : 10.00 minute(s)
but < than : 90.00 minute(s)
epochs w/ msec clk slip : 0
other msec mp events : 0 (: 11) {expect <= 1:50}
IOD signifying a slip : >400.0 cm/minute
IOD slips : 0
IOD or MP slips : 0

```

	first epoch	last epoch	hrs	dt	#expt	#have	%	mp1	mp2	o/slps
SUM 97	4 30 00:02	97 4 30 23:46	23.73	30	n/a	20652	n/a	0.43	0.47	20652

Dia GPS 123

```

SV+-----+ SV
27|oo                                oooooooooooooooooo| 27
2|oooo                                oooooomoooooooooo| 2
7|oooooo                                mooooooooooooo| 7
4|ooooooooooooo                        ooooooooooooo  .o| 4
9|ooooooooooooooooo                    ooo| 9
24|ooooooooooooooooo                    oooo12          | 24
5|ooooooooooooooooooooo;              1| 5
26|ooooooo                ooooooo                oooooooooo| 26
30|      oooooooooooooooooooooo2          | 30
6|      oooooooooooooooooooooooooo        | 6
10|      ;oooooooooooo                oooooomooooooooo    | 10
17|      oooooooooooooooooooooooooo        | 17
25|      ooooooooooo                ;ooooooooooooomo      | 25
23|      oooooooooooooooooooooo          | 23
22|      ooooooooooooooooooo                1oomooooooooo  | 22
21|      oooooooooooooooooooooooooo        | 21
28|      *****1                          | 28
3|      oooooooooooooooooooooo          | 3
1|      oooooooooooooooooooooo          | 1
31|      oooooooooooooooooooooo          oooooomo        | 31
15|      oooooooooooooooooooooomooooo    | 15
29|      oooooooooooooooooooooomooooooooo | 29
14|      1ooooooooooooomoooooooooooo;    | 14
16|      oooooomoooooooooooooooooooo;    | 16
18|      oooooomooooooooooooooooooooomoo; | 18
19|      omooooooooooooooooooooomooooo   | 19
Obs|88777876777888877788877888789899998888898886767788988889988a977777877665567|Obs
Clk|-----|Clk
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
00:00:29.989                                23:59:59.964
1997 May 3                                1997 May 3

```

```

*****
QC of RINEX file(s) : IMBI1230.970
*****

```

```

Time of start of window : 1997 May 3 00:00:29.989
Time of end of window : 1997 May 3 23:59:59.964
Time line window length : 23.99 hour(s), ticked every 3.0 hour(s)
Observation interval : 30.0000 seconds
Total satellites w/ obs : 26
NAVSTAR GPS SVs w/o OBS : 8 11 12 13 20 32
Rx tracking capability : 12 SVs
Poss. # of obs epochs : 2880
Epochs w/ observations : 2879
Complete observations : 20879
Deleted observations : 36
Moving average MP1 : 0.451527 m
Moving average MP2 : 0.487358 m
Points in MP moving avg : 50
No. of Rx clock offsets : 106
Total Rx clock drift : -25.000000 ms
Rate of Rx clock drift : -1.042 ms/hr
Avg time between resets : 13.580 minute(s)
Report gap > than : 10.00 minute(s)
but < than : 90.00 minute(s)
epochs w/ msec clk slip : 0
other msec mp events : 16 (: 52) {expect <= 1:50}
IOD signifying a slip : >400.0 cm/minute
IOD slips : 0
IOD or MP slips : 15

```

	first epoch	last epoch	hrs	dt	#expt	#have	%	mp1	mp2	o/slps
SUM 97	5 3 00:00	97 5 3 23:59	23.99	30	n/a	20879	n/a	0.45	0.49	1392

A2.2 CAMPANHA DE 2000

Dia GPS 131

```

SV+-----+ SV
 4|~2 .~2. | 4
 9|~2. .~2. | 9
24|~. .~. m.~ | 24
 5|~1 .1~ | 5
10|~1. .~2. .~ | 10
25|.~2 m~. | 25
30|~22 .~ | 30
 6|~2 .~ | 6
17|.~2 | 17
23|.~2. | 23
22|.~.~. .~22. | 22
26|.~2. .~2. | 26
21|.~2 | 21
 3|.~2~I. | 3
15|.~1. | 15
29|.~2. .~2 | 29
31|.~2. m~2. | 31
11|.~22. | 11
 1|.~2. | 1
16|.~2 | 16
 7|.~. .~2. | 7
18|.~2 | 18
19|.~22 | 19
27|.~.~. | 27
 8|.~2~.~. | 8
13|.~.~. | 13
 2|.~2. | 2
Obs|9998888789999aa9aaa88888778889989888889abaaabbbabaaaa87888aa9879999988|Obs
Clk|-----|Clk
  +-----+
00:00:14.999 23:59:59.999
2000 May 10 2000 May 10
*****
QC of RINEX file(s) : IMBI1310.000
*****
Time of start of window : 2000 May 10 00:00:14.999
Time of end of window : 2000 May 10 23:59:59.999
Time line window length : 24.00 hour(s), ticked every 3.0 hour(s)
Observation interval : 15.0000 seconds
Total satellites w/ obs : 27
NAVSTAR GPS SVs w/o OBS : 12 14 20 28 32
Rx tracking capability : 12 SVs
Poss. # of obs epochs : 5760
Epochs w/ observations : 5507
Complete observations : 45512
Deleted observations : 953
Moving average MP1 : 0.580674 m
Moving average MP2 : 0.689574 m
Points in MP moving avg : 50
No. of Rx clock offsets : 112
Total Rx clock drift : 0.000000 ms
Rate of Rx clock drift : 0.000 ms/hr
Avg time between resets : 12.855 minute(s)
Report gap > than : 10.00 minute(s)
but < than : 90.00 minute(s)
epochs w/ msec clk slip : 0
other msec mp events : 3 (: 100) {expect <= 1:50}
IOD signifying a slip : >400.0 cm/minute
IOD slips : 1
IOD or MP slips : 1
first epoch last epoch hrs dt #expt #have % mp1 mp2 o/slps
SUM 00 5 10 00:00 00 5 10 23:59 24.00 15 n/a 45512 n/a 0.58 0.69 45512

```


Dia GPS 133

```

SV+-----+ SV
 4|22. .~2. .~2. | 4
 9|~.2 .~2. .~2. | 9
24|~. .2~.M. .~2. | 24
30|~. 1.~. | 30
17|~. ~2. . | 17
 6|~. ~2. .~. | 6
 5|~.2 .1~. | 5
10|~. .~2. .~. | 10
25|I.~. .~. | 25
23| .~. ~2. . | 23
22| .2 ~22. .~m | 22
26| . ~. .~2.~ | 26
21| ~.2 | 21
 3| ~I | 3
15| 2~. | 15
29| ~2. .~1~.2. | 29
31| 2~.I .~12M | 31
11| .~1 | 11
 1| 1~. | 1
16| .~M | 16
 7| .M. .~. | 7
18| .2~I22 | 18
19| .~2 | 19
27| .~. | 27
 8| 2~2 | 8
13| .~2. | 13
 2| .~22 | 2
Obs|999888889 9aaa88987877888989a888889aaaabbbbbbaaaa87889a98779999888|Obs
Clk|-----|Clk
+-----+
00:00: 0.000 23:59:59.999
2000 May 12 2000 May 12

```

```

*****
QC of RINEX file(s) : IMBI1330.000
*****

Time of start of window : 2000 May 12 00:00: 0.000
Time of end of window : 2000 May 12 23:59:59.999
Time line window length : 24.00 hour(s), ticked every 3.0 hour(s)
Observation interval : 15.0000 seconds
Total satellites w/ obs : 27
NAVSTAR GPS SVs w/o OBS : 12 14 20 28 32
Rx tracking capability : 12 SVs
Poss. # of obs epochs : 5761
Epochs w/ observations : 5159
Complete observations : 42508
Deleted observations : 981
Moving average MP1 : 0.605336 m
Moving average MP2 : 0.685874 m
Points in MP moving avg : 50
No. of Rx clock offsets : 105
Total Rx clock drift : -1.000000 ms
Rate of Rx clock drift : -0.042 ms/hr
Avg time between resets : 13.714 minute(s)
Report gap > than : 10.00 minute(s)
but < than : 90.00 minute(s)
epochs w/ msec clk slip : 0
other msec mp events : 1 (: 123) {expect <= 1:50}
IOD signifying a slip : >400.0 cm/minute
IOD slips : 6
IOD or MP slips : 11
first epoch last epoch hrs dt #expt #have % mp1 mp2 o/slps
SUM 00 5 12 00:00 00 5 12 23:59 24.00 15 n/a 42508 n/a 0.61 0.69 3864

```


Dia GPS 137

```

SV+-----+ SV
22|~~~~~.22..| 22
16|~~~~~.21.| 16
 1|~~~~~.~2~.| 1
19|~~~~~2~2| 19
18|~~~~~..| 18
27|~~~~~2I.| 27
13|..~~~~~2.| 13
24|..~~~~~.~~~~~| 24
 4|~~~~~.~2. .m~~~~~| 4
31| .~~~~~22| 31
 2| .~~~~~..| 2
 8| .~~~~~2.| 8
10| .~~~~~.~~~~~| 10
 7| .~~~~~22..| 7
26| .~~~~~22..| 26
 9| .~~~~~..| 9
 5| .~~~~~| 5
30| .~.~~~~~| 30
29| .1~.~~~~~2.| 29
 6| .~~~~~| 6
17| .~| 17
25| .| 25
Obs|999999999aaaaabbbbbaaabb9aaaaaa98887778877799a99888777799899999977888889|Obs
Clk|-- -- -- -- --|Clk
+-----+
13:15:45.000 23:59:30.000
2000 May 16 2000 May 16

```

```

*****
QC of RINEX file(s) : IMBI1370.000
*****

```

```

Time of start of window : 2000 May 16 13:15:45.000
Time of end of window : 2000 May 16 23:59:30.000
Time line window length : 10.73 hour(s), ticked every 3.0 hour(s)
Observation interval : 15.0000 seconds
Total satellites w/ obs : 22
NAVSTAR GPS SVs w/o OBS : 3 11 12 14 15 20 21 23 28 32
Rx tracking capability : 12 SVs
Poss. # of obs epochs : 2576
Epochs w/ observations : 1846
Complete observations : 15974
Deleted observations : 320
Moving average MP1 : 0.567122 m
Moving average MP2 : 0.672671 m
Points in MP moving avg : 50
No. of Rx clock offsets : 52
Total Rx clock drift : 0.000000 ms
Rate of Rx clock drift : 0.000 ms/hr
Avg time between resets : 12.380 minute(s)
Report gap > than : 10.00 minute(s)
but < than : 90.00 minute(s)
epochs w/ msec clk slip : 0
other msec mp events : 1 (: 39) {expect <= 1:50}
IOD signifying a slip : >400.0 cm/minute
IOD slips : 1
IOD or MP slips : 1
first epoch last epoch hrs dt #expt #have % mp1 mp2 o/slps
SUM 00 5 16 13:15 00 5 16 23:59 10.73 15 n/a 15974 n/a 0.57 0.67 15974

```


Dia GPS 139

```

SV+-----+ SV
 4|1 ..~~~~~2~2 .~~~~~2~| 4
 9|~21 ..~~~~~| 9
24|~11. 2~~~~1..2 .~~~~~| 24
 5|~~~~~2. 11~~~~~| 5
10|~~~~~2. .~~~~~2. .~| 10
25|~2~1~. .~~~~~. .| 25
30|~~~~~1. 2~~~~~| 30
 6|~~~~~2 2~~~~~| 6
17|~~~~~. .~| 17
23| .~~~~~. | 23
22| 2~~~~~1. .~~~~~12 | 22
26| M~~~~~12 .M~~~~~2I | 26
21| .~~~~~. | 21
 3| ..~~~~~2I | 3
15| .1~~~~~2. | 15
29| .~~~~~. .1~2 | 29
31| .~~~~~. .~~~~~11. | 31
11| .~~~~~I. | 11
 1| 2~~~~~22 | 1
16| .1~~~~~21 | 16
 7| .~ .~~~~~. | 7
18| .~~~~~. | 18
19| .~~~~~. | 19
27| .~~~~~. | 27
 8| .~~~~~. | 8
13| 21~~~~~1. | 13
 2| .~I~~~~~2. | 2
Obs|9888889999aaaaa8888788778899889888899aaaabbbbabbbaaaa88879a987799997889|Obs
Clk|-----|Clk
+-----+
00:00:29.999 23:59:30.000
2000 May 18 2000 May 18

```

```

*****
QC of RINEX file(s) : IMBI1390.000
*****

```

```

Time of start of window : 2000 May 18 00:00:29.999
Time of end of window : 2000 May 18 23:59:30.000
Time line window length : 23.98 hour(s), ticked every 3.0 hour(s)
Observation interval : 15.0000 seconds
Total satellites w/ obs : 27
NAVSTAR GPS SVs w/o OBS : 12 14 20 28 32
Rx tracking capability : 12 SVs
Poss. # of obs epochs : 5757
Epochs w/ observations : 2879
Complete observations : 23714
Deleted observations : 489
Moving average MP1 : 0.734471 m
Moving average MP2 : 0.694026 m
Points in MP moving avg : 50
No. of Rx clock offsets : 113
Total Rx clock drift : +1.000000 ms
Rate of Rx clock drift : +0.042 ms/hr
Avg time between resets : 12.735 minute(s)
Report gap > than : 10.00 minute(s)
but < than : 90.00 minute(s)
epochs w/ msec clk slip : 0
other msec mp events : 0 (: 150) {expect <= 1:50}
IOD signifying a slip : >400.0 cm/minute
IOD slips : 4
IOD or MP slips : 7
first epoch last epoch hrs dt #expt #have % mp1 mp2 o/slps
SUM 00 5 18 00:00 00 5 18 23:59 23.98 15 n/a 23714 n/a 0.73 0.69 3388

```


Dia GPS 46

```

SV+-----+ SV
24|CC                                     mmmmm-mmmmmmm| 24
4|CCmmI                                 Imm-mmmmmmm| 4
9|CCmmommi                               mmm| 9
2|CCmmommmmm                             om-mmmmmmm| 2
17|CCmmommmmmmmmm                        mmmmmmm| 17
5|CCmmommmmmmmmm                        | 5
10|Cmmommmmmmmmmmm                      | 10
30|  ommmmmmmmmmmmmm                    | 30
6|      ommmmmmmmmmmmmmI                | 6
18|      mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm          | 18
26|      ,mmmmmmmmmmmm                    | 26
29|      mmmmmmmmmI                       omn-mmmmmmm| 29
15|      o      mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm    | 15
21|      ommmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm  | 21
14|      Immmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm  | 14
22|      mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm  | 22
1|      mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm  | 1
3|      mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm  | 3
25|      mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm  | 25
19|      mm      mmmmmmmmmI                | 19
11|      mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm  | 11
16|      mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm  | 16
20|      mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm  | 20
23|      mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm  | 23
13|      ommmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm  | 13
28|      mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm  | 28
27|      ommmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm  | 27
7|      IImmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmI| 7
8|      ommmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm  | 8
Obs|67667666666797666667766667776666454455554444466667866654455677 776776|Obs
Clk|+--+--+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----|Clk
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
00:02:15.000                                23:57:59.998
2005 Feb 15                                2005 Feb 15
*****
QC of RINEX file(s) : IMBI0460.050
*****
Time of start of window : 2005 Feb 15 00:02:15.000
Time of end of window : 2005 Feb 15 23:57:59.998
Time line window length : 23.93 hour(s), ticked every 3.0 hour(s)
Observation interval : 15.0000 seconds
Total satellites w/ obs : 29
NAVSTAR GPS SVs w/o OBS : 12 31 32
Rx tracking capability : 12 SVs
Poss. # of obs epochs : 5744
Epochs w/ observations : 5461
Complete observations : 29027
Deleted observations : 667
Moving average MP1 : 0.718552 m
Moving average MP2 : 0.661627 m
Points in MP moving avg : 50
No. of Rx clock offsets : 296
Total Rx clock drift : -2.000000 ms
Rate of Rx clock drift : -0.084 ms/hr
Avg time between resets : 4.851 minute(s)
Report gap > than : 10.00 minute(s)
but < than : 90.00 minute(s)
epochs w/ msec clk slip : 4
other msec mp events : 1795 (: 3999) {expect <= 1:50}
IOD signifying a slip : >400.0 cm/minute
IOD slips : 318
IOD or MP slips : 2096
first epoch last epoch hrs dt #expt #have % mp1 mp2 o/slps
SUM 05 2 15 00:02 05 2 15 23:57 23.93 15 n/a 29027 n/a 0.72 0.66 14

```


Dia GPS 48

```

SV+-----+ SV
24|CCC| 24
4|CCCmmmm;m| 4
9|CCCmmmmommmmmmmmm;| 9
2|CCCmmmmommmmmmmmmmm| 2
17|CCCmmmmommmmmmmmmmmmmmm;| 17
5|CCCmmmmommmmmmmmmmmmmmm;L| 5
10| CmmmmommmmmmmmmmmmmmmmmmmmmL| 10
30| ommmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm;L| 30
6| mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm1L| 6
18| mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmommmmmmmmmmm| 18
26| mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm2| 26
29| mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm| 29
21| mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm| 21
14| mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm;| 14
15| mmommmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmL| 15
22| mmommmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm| 22
1| Lmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm| 1
3| mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmL| 3
25| mmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmmm| 25
19| ommm| 19
11| mmmmmmm| 11
16| mmm| 16
Obs|677666667666666566566678777666665666577766666677767766666665444443444|Obs
Clk| --- -+-- +-----+--+ -+-----+--+--- + ---+-----+--+-----+--+-----|Clk
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
00:00:14.998 12:32:45.004
2005 Feb 17 2005 Feb 17

```

```

*****
QC of RINEX file(s) : IMBI0480.050
*****

```

```

Time of start of window : 2005 Feb 17 00:00:14.998
Time of end of window : 2005 Feb 17 12:32:45.004
Time line window length : 12.54 hour(s), ticked every 3.0 hour(s)
Observation interval : 15.0000 seconds
Total satellites w/ obs : 22
NAVSTAR GPS SVs w/o OBS : 7 8 12 13 20 23 27 28 31 32
Rx tracking capability : 12 SVs
Poss. # of obs epochs : 3011
Epochs w/ observations : 3011
Complete observations : 16696
Deleted observations : 400
Moving average MP1 : 0.644070 m
Moving average MP2 : 0.666518 m
Points in MP moving avg : 50
No. of Rx clock offsets : 152
Total Rx clock drift : +6.000000 ms
Rate of Rx clock drift : +0.478 ms/hr
Avg time between resets : 4.951 minute(s)
Report gap > than : 10.00 minute(s)
but < than : 90.00 minute(s)
epochs w/ msec clk slip : 8
other msec mp events : 1089 (: 2293) {expect <= 1:50}
IOD signifying a slip : >400.0 cm/minute
IOD slips : 2
IOD or MP slips : 1134
first epoch last epoch hrs dt #expt #have % mp1 mp2 o/slps
SUM 05 2 17 00:00 05 2 17 12:32 12.54 15 n/a 16696 n/a 0.64 0.67 15

```


Dia GPS 190

```

SV+-----+ SV
15|C2 .~~~~m~~~~m~~~~I~| 15
22|CI~ .~m~~~~m~~~~II| 22
3|C~2~ M~~~~m~~~~I~| 3
14|C~~~22 .~m~~~~M~| 14
1|C~~~~m~~~ .~~~~M~| 1
25|C~~~~m~~~~ 2~m~~~~I .MI~| 25
11|C~~~~m~~~~~ .~M~| 11
20|CII2~m~~~~m~~~2 2| 20
19|C~~~~2 .~~~M~I .m~~~~M~| 19
23| I~~~~m~~~~m~~~~m2 | 23
24| .~m~~~~mI~I m~~~~m2 | 24
13| .2m~m~~~~m~~~~m~~~2 | 13
16| mI~I~I~m~2 .M~m~~~~m22. | 16
27| .I~~~~m~~~~m~~~~2m | 27
4| .~I~m~~~~ .~M~~~~m~~~~~ | 4
8| I2m~~~~m~~~~mI~I | 8
2| .~ .~m~~~~m~~~~m~ | 2
28| .~m~~~~m~~~~m~I~2~ | 28
10| .~m~~~~m~~~~I. .~M~m~~~~~ | 10
7| .~~~~m~~~~m2. | 7
29| .~m~~~~m~~~~I .m~ | 29
26| I~~~~m~~~~mI2 .mM~~~I | 26
9| 2~~~~m~~~~m~~~2 | 9
5| .~I~m~~~~m~~~~m~~~2 | 5
30| 2~~~~m~~~~m~~~~m~. | 30
6| .~m~~~~m~~~~m~~~~I | 6
21| .II~m~~~~m~~~~I~m2~I~ | 21
18| .2~~~~m~~~~m~~~~I2~ | 18
Obs|999888788999898889998777888887788899998886777888889999989999989889|Obs
Clk| |Clk
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
00:00: 0.000 23:59:30.000
2005 Jul 9 2005 Jul 9

```

```

*****
QC of RINEX file(s) : IMBI1900.050
*****
Time of start of window : 2005 Jul 9 00:00: 0.000
Time of end of window : 2005 Jul 9 23:59:30.000
Time line window length : 23.99 hour(s), ticked every 3.0 hour(s)
Observation interval : 30.0000 seconds
Total satellites w/ obs : 28
NAVSTAR GPS SVs w/o OBS : 12 17 31 32
Rx tracking capability : 12 SVs
Poss. # of obs epochs : 2880
Epochs w/ observations : 2848
Complete observations : 21999
Deleted observations : 431
Moving average MP1 : 0.422833 m
Moving average MP2 : 0.719560 m
Points in MP moving avg : 50
No. of Rx clock offsets : 0
Total Rx clock drift : 0.000000 ms
Rate of Rx clock drift : 0.000 ms/hr
Report gap > than : 10.00 minute(s)
but < than : 90.00 minute(s)
epochs w/ msec clk slip : 1
other msec mp events : 62 (: 388) {expect <= 1:50}
IOD signifying a slip : >400.0 cm/minute
IOD slips : 44
IOD or MP slips : 127
first epoch last epoch hrs dt #expt #have % mp1 mp2 o/slps
SUM 05 7 9 00:00 05 7 9 23:59 23.99 30 n/a 21999 n/a 0.42 0.72 173

```

Dia GPS 191

```

SV+-----+ SV
15|~2 .~~~~~m~~~~~m~MII~| 15
22|I~~ .~m~~~~~m~M~I| 22
3|~I~ .~~~~~m~M~| 3
14|~~~~m 1~~~~m~M~| 14
25|~~~~m~~~~~2 .~M~~~~I M~| 25
1|~~~~m~I~I~ 2~m~M~| 1
11|~~~~m~~~~~m ~~~~| 11
20|2II~m~~~~~m~~~~~2 2| 20
19|~~~~m2 .~m~M .~m~m~| 19
23| I~m~~~~~m~~~~~m2 | 23
24| m~~~~~m~2II m~m~~~~~M | 24
13| .~.I~m~~~~~m~~~~~22. | 13
16| .~.~~~~.I~22 .~m~~~~~m. | 16
27| .2~m~~~~~m~~~~~I | 27
4| 2~m~I~ .m~~~~~m | 4
8| I2~~~~~m~~~~~ImI~ | 8
2| .~ .~~~~~m~ | 2
28| .~m~~~~~m~mII.I | 28
10| 2~m~~~~~m. .~m~~~~~2 | 10
7| .~m~~~~~m~~~~~2 | 7
29| .~m~~~~~m~~~~~2 .~m~ | 29
26| .I~m~~~~~m~~~~~2 .~m~22 | 26
9| .m~~~~~m~ | 9
5| m2~I~I~m~~~~~22 | 5
30| .~m~~~~~m~~~~~m. | 30
6| 22~~~~~m~~~~~I~m~~~~~2. | 6
21| .Im~~~~~m~~~~~I~m~2 | 21
18| .~m~~~~~m~~~~~m~2~ | 18
Obs|99988788899889888999877888888778899999888667777888889999989999988889|Obs
Clk| |Clk
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
00:00: 0.000 23:59:30.000
2005 Jul 10 2005 Jul 10

```

```

*****
QC of RINEX file(s) : IMBI1910.050
*****
Time of start of window : 2005 Jul 10 00:00: 0.000
Time of end of window : 2005 Jul 10 23:59:30.000
Time line window length : 23.99 hour(s), ticked every 3.0 hour(s)
Observation interval : 30.0000 seconds
Total satellites w/ obs : 28
NAVSTAR GPS SVs w/o OBS : 12 17 31 32
Rx tracking capability : 12 SVs
Poss. # of obs epochs : 2880
Epochs w/ observations : 2848
Complete observations : 22083
Deleted observations : 348
Moving average MP1 : 0.404622 m
Moving average MP2 : 0.718540 m
Points in MP moving avg : 50
No. of Rx clock offsets : 0
Total Rx clock drift : 0.000000 ms
Rate of Rx clock drift : 0.000 ms/hr
Report gap > than : 10.00 minute(s)
but < than : 90.00 minute(s)
epochs w/ msec clk slip : 0
other msec mp events : 59 (: 360) {expect <= 1:50}
IOD signifying a slip : >400.0 cm/minute
IOD slips : 38
IOD or MP slips : 105
first epoch last epoch hrs dt #expt #have % mp1 mp2 o/slps
SUM 05 7 10 00:00 05 7 10 23:59 23.99 30 n/a 22083 n/a 0.40 0.72 210

```

Dia GPS 192

```

SV+-----+ SV
15|~ .~~~~m~~~~mM~~~~Im| 15
22|I~ .m~~~~m~~~~mMmI| 22
3|~2 .~m~~~~m~| 3
14|~~~m~ .~m~~~~m~| 14
1|~~~m~~II~ .~~~~m~| 1
25|~~~m~~~~ .Mm~~~~I 2~m~| 25
11|~~~m~~~~I2 .~m~| 11
20|2IIIm~~~~m~~~~2I 2| 20
19|~~~m~2 m~~~~2M m~~~~m~| 19
23| I~m~~~~m~~~~2 | 23
24| .~~~~I~m~2III M~~~~~ | 24
13| .~I~m~~~~m~. | 13
16| .~I~m~Im~2~ .~m~~~~m~2M | 16
27| .I~m~~~~m~~~~.I | 27
4| I~m~m~I~ .~m~~~~m~2~ | 4
8| m~~~~m~~~~m~ | 8
2| .2~ .~m~~~~m~ | 2
28| .~m~~~~m~~~~III~ | 28
10| .~m~~~~m~22. .~m~M~~~~~ | 10
7| 22m~~~~m~~~~2 | 7
29| 2~m~~~~m~~~~I .m~~~ | 29
26| .I~m~~~~m~22 .m.M~2~ | 26
9| ~~~~~m~~~~2 | 9
5| .~I~m~m~m~~~~m~2. | 5
30| .~m~~~~m~~~~m~2 | 30
6| .mI~m~~~~m~~~~I | 6
21| .I~m~~~~m~~~~.Im~2~ | 21
18| .~m~~~~m~~~~m~2~ | 18
Obs|998787888998898899997778888877788999998886677788788899999889999988889|Obs
Clk| |Clk
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
00:00: 0.000 23:59:30.000
2005 Jul 11 2005 Jul 11

```

```

*****
QC of RINEX file(s) : IMBI1920.050
*****
Time of start of window : 2005 Jul 11 00:00: 0.000
Time of end of window : 2005 Jul 11 23:59:30.000
Time line window length : 23.99 hour(s), ticked every 3.0 hour(s)
Observation interval : 30.0000 seconds
Total satellites w/ obs : 28
NAVSTAR GPS SVs w/o OBS : 12 17 31 32
Rx tracking capability : 12 SVs
Poss. # of obs epochs : 2880
Epochs w/ observations : 2827
Complete observations : 21881
Deleted observations : 400
Moving average MP1 : 0.413619 m
Moving average MP2 : 0.742080 m
Points in MP moving avg : 50
No. of Rx clock offsets : 0
Total Rx clock drift : 0.000000 ms
Rate of Rx clock drift : 0.000 ms/hr
Report gap > than : 10.00 minute(s)
but < than : 90.00 minute(s)
epochs w/ msec clk slip : 0
other msec mp events : 58 (: 346) {expect <= 1:50}
IOD signifying a slip : >400.0 cm/minute
IOD slips : 43
IOD or MP slips : 104
first epoch last epoch hrs dt #expt #have % mp1 mp2 o/slps
SUM 05 7 11 00:00 05 7 11 23:59 23.99 30 n/a 21881 n/a 0.41 0.74 210

```


Dia GPS 194

```

SV+-----+ SV
15|~ I~~~~m~~~~m~~| 15
22|m2 .~m~~~~mMI2| 22
3|m~2 .~~~~m~~~~| 3
14|m~2~ M~~~~m~~~~| 14
1|m~~~~II~ ~~~~~m~~~~| 1
25|m~~~~~ .M~~~~.I .m~~~~| 25
11|m~~~~~mI .m~~~~| 11
20|mI~~~~m~~~~I. .2| 20
23|.~~~~m~~~~~I | 23
19|m~~~~ .~~~~m. .~~~~m~~~~| 19
24|.~~~~m~~2II .~~~~m | 24
13|.~I~m~~~~m~~2 | 13
16|.I~mI~ .~m~M~2.. | 16
27|.I~m~~~~m~~~~I | 27
4|.mI~I~ .~~~~m~~~~ | 4
8|. 2I~~~~m~~~~~I~I | 8
2|. 2~ .~~~~m~~~~~ | 2
28|. .~~~~m~~~~~IIIm | 28
10|. 22~m~~~~22 .~m~~~~ | 10
7|. m~~~~m~ | 7
29|. m2~~~~m~~~~2 .~m~ | 29
26|. .~~~~m~~~~m. .~Mm~ | 26
9|. 2~~~~m~~~~~ | 9
5|. 22~mm~~~~m~~~~2 | 5
30|. m~~~~m~ | 30
6|. .I~m~~~~m~~~~I | 6
21|. I~~~~m~~~~I~ | 21
18|. .~~~~m~~~~~2 | 18
Obs|998887889998888999977788888778889999888767777888889999999999998899|Obs
Clk| |Clk
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
00:00: 0.000 23:59:30.000
2005 Jul 13 2005 Jul 13

```

```

*****
QC of RINEX file(s) : IMBI1940.050
*****

```

```

Time of start of window : 2005 Jul 13 00:00: 0.000
Time of end of window : 2005 Jul 13 23:59:30.000
Time line window length : 23.99 hour(s), ticked every 3.0 hour(s)
Observation interval : 30.0000 seconds
Total satellites w/ obs : 28
NAVSTAR GPS SVs w/o OBS : 12 17 31 32
Rx tracking capability : 12 SVs
Poss. # of obs epochs : 2880
Epochs w/ observations : 2847
Complete observations : 22008
Deleted observations : 402
Moving average MP1 : 0.401093 m
Moving average MP2 : 0.756923 m
Points in MP moving avg : 50
No. of Rx clock offsets : 0
Total Rx clock drift : 0.000000 ms
Rate of Rx clock drift : 0.000 ms/hr
Report gap > than : 10.00 minute(s)
but < than : 90.00 minute(s)
epochs w/ msec clk slip : 0
other msec mp events : 52 (: 322) {expect <= 1:50}
IOD signifying a slip : >400.0 cm/minute
IOD slips : 41
IOD or MP slips : 98
first epoch last epoch hrs dt #expt #have % mp1 mp2 o/slps
SUM 05 7 13 00:00 05 7 13 23:59 23.99 30 n/a 22008 n/a 0.40 0.76 225

```


Dia GPS 197

```

SV+-----+ SV
22|~~~| 22
3|~~2~| 3
14|~~~~~m~| 14
1|~~~~~m~~~~~I~~I2~| 1
25|~~~~~m~~~~~2~| 25
11|~~~~~m~~~~~2~~~I| 11
20|.II~~~~~m~~~~~m~~~~~2.| 20
23|II~~~~~m~~~~~m~~~~~2| 23
19|~~~~~m~~~.~~~~~.~| 19
24| m~~~~~m~~~2I22.. .M~~~~~| 24
13| ..~~~~~m~~~~~m~~~~~2~2.| 13
16| .I~I~~~~~I~~~~~m~2~~~~~| 16
27| ...~~~~~m~~~~~m~~~~~II| 27
4| .~~~~~I~m~I~~~~~.~~~~~| 4
8| .I~m~~~~~m~~~~~I~~~~~| 8
2| .~~~~~| 2
28| 2~~~~~m~~~~~m~~~~~I| 28
10| 2~~~~~m~~~~~22.| 10
7| .~~~~~m~~~~~m~~~~~| 7
29| .~~~~~m~~~~~m~~~~~| 29
26| 2~~~~~m~~~~~m~~~~~| 26
9| .~~~~~m~~~~~m~~~~~| 9
5| .~~~~~m~~~~~m~~~~~| 5
Obs|9988777887778888899998888988888889999888987777788888888877778778889|Obs
Clk|-----|-----|-----|-----|Clk
00:00 10:55
2005 Jul 16 2005 Jul 16

```

```

*****
QC of RINEX file(s) : IMBI1970.050
*****

```

```

Time of start of window : 2005 Jul 16 00:00: 0.000
Time of end of window : 2005 Jul 16 10:55: 0.000
Time line window length : 10.92 hour(s), ticked every 3.0 hour(s)
Observation interval : 30.0000 seconds
Total satellites w/ obs : 23
NAVSTAR GPS SVs w/o OBS : 6 12 15 17 18 21 30 31 32
Rx tracking capability : 12 SVs
Poss. # of obs epochs : 1311
Epochs w/ observations : 1311
Complete observations : 9911
Deleted observations : 193
Moving average MP1 : 0.378289 m
Moving average MP2 : 0.691706 m
Points in MP moving avg : 50
No. of Rx clock offsets : 0
Total Rx clock drift : 0.000000 ms
Rate of Rx clock drift : 0.000 ms/hr
Report gap > than : 10.00 minute(s)
but < than : 90.00 minute(s)
epochs w/ msec clk slip : 0
other msec mp events : 23 (: 144) {expect <= 1:50}
IOD signifying a slip : >400.0 cm/minute
IOD slips : 23
IOD or MP slips : 47
first epoch last epoch hrs dt #expt #have % mp1 mp2 o/slps
SUM 05 7 16 00:00 05 7 16 10:55 10.92 30 n/a 9911 n/a 0.38 0.69 211

```

ANEXO 3 – VALORES HORÁRIOS, DIÁRIOS E MENSAIS DO NÍVEL DO MAR EM IMBITUBA

A3.1 RESULTADOS DA FILTRAGEM DOS DADOS COM AMOSTRAGEM DE CINCO MINUTOS

A primeira etapa de filtragem visando obter valores horários de nível d'água a partir dos dados do sensor digital, originou os resultados ilustrados nas Figuras A3.1, A3.2 e A3.3.

FIGURA A3.1 – VALORES HORÁRIOS - 2002

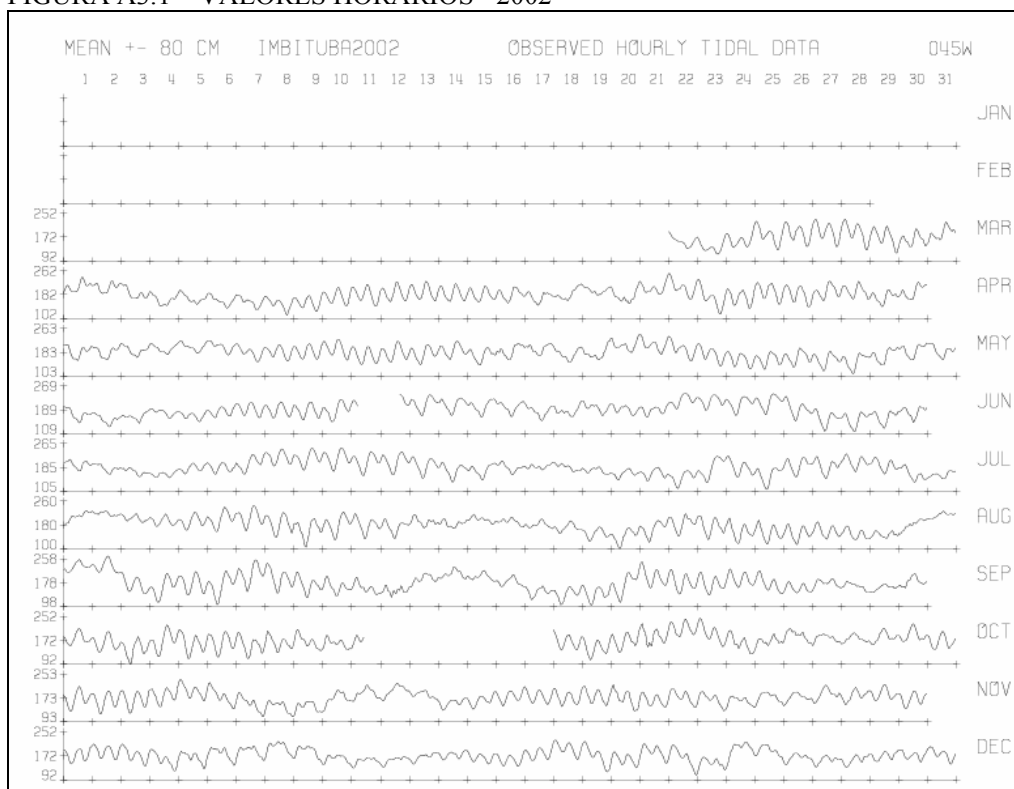


FIGURA A3.2 – VALORES HORÁRIOS - 2003

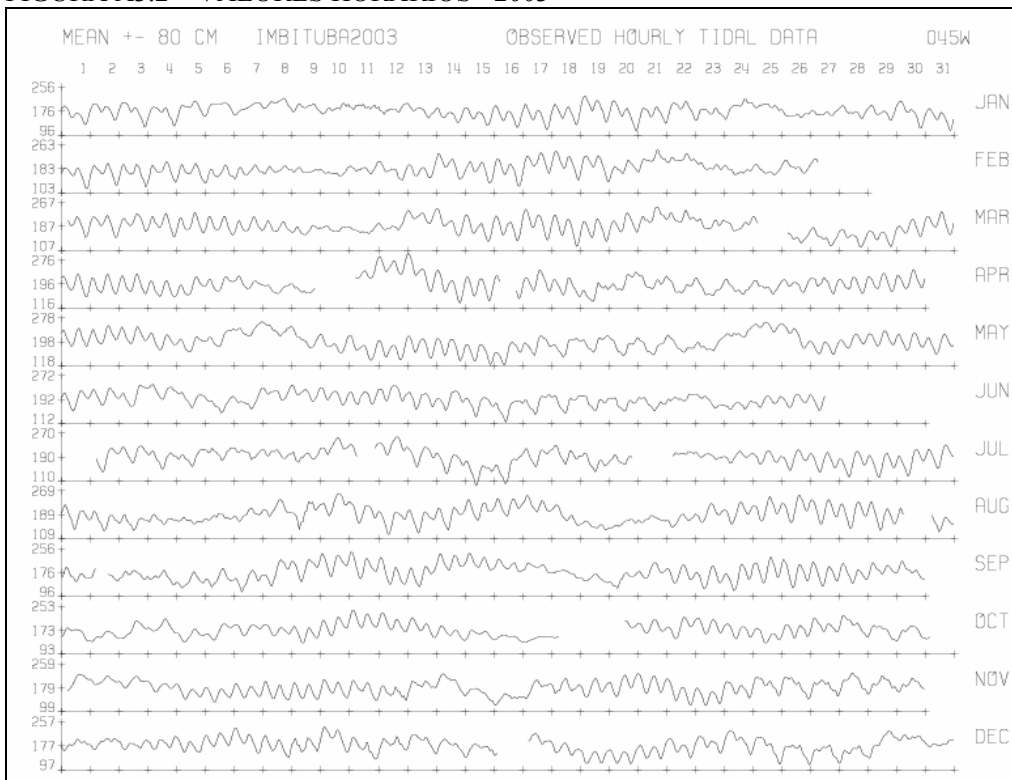
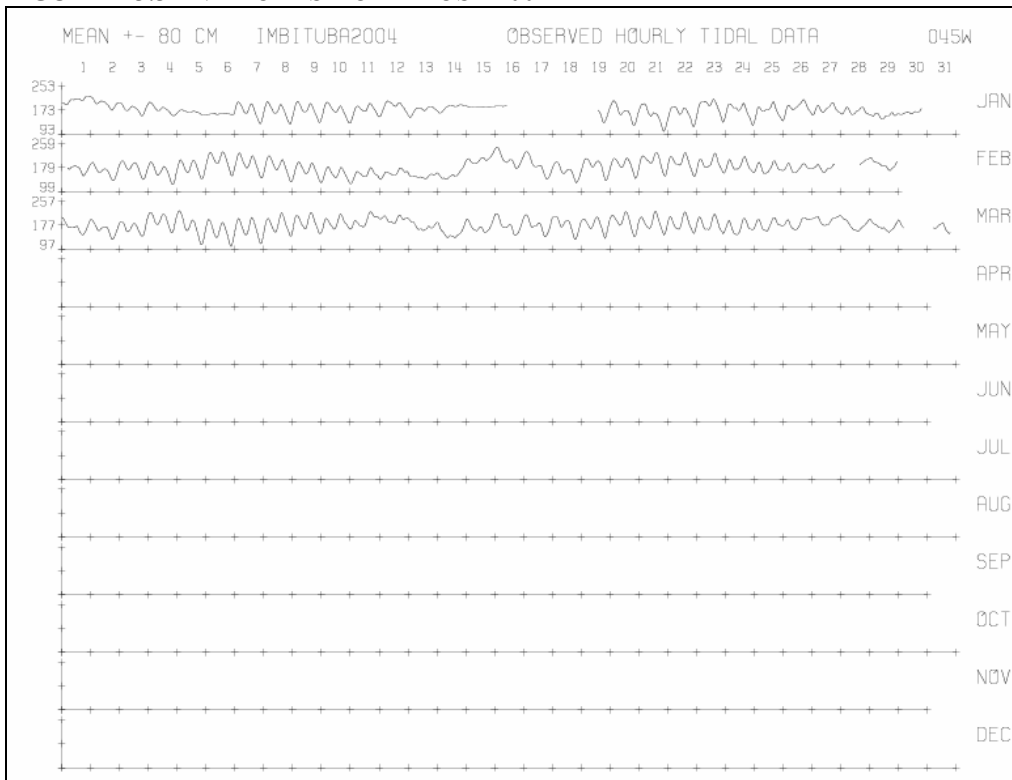


FIGURA A3.3 – VALORES HORÁRIOS - 2004



A3.2 RESULTADOS DA FILTRAGEM NO APLICATIVO SLPR2

A filtragem no aplicativo SLPR2 visando obter valores diários e mensais de nível d'água forneceu os seguintes resultados:

```

782IMBITUBA    Daily values 119-point filter
782IMBITUBA2002 11 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
782IMBITUBA2002 12 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
782IMBITUBA2002 13 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
782IMBITUBA2002 21 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
782IMBITUBA2002 22 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
782IMBITUBA2002 23 9999 9999 9999 9999 9999 9999          9999
782IMBITUBA2002 31 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
782IMBITUBA2002 32 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 1549
782IMBITUBA2002 33 1419 1626 1801 1852 1920 1869 1687 1621 1850 9999
782IMBITUBA2002 41 2084 2089 1865 1672 1687 1632 1583 1510 1562 1745 1814
782IMBITUBA2002 42 1861 1905 1857 1818 1813 1749 1857 1935 1816 2032 2047
782IMBITUBA2002 43 1729 1727 1901 1833 1905 1912 1764 1900 1820
782IMBITUBA2002 51 1887 1855 1903 1956 2025 1999 1842 1814 1875 1906 1751
782IMBITUBA2002 52 1777 1814 1865 1770 1872 1944 1786 1830 2058 2086 1944
782IMBITUBA2002 53 1749 1584 1587 1651 1578 1554 1737 1913 1906 1833
782IMBITUBA2002 61 1746 1593 1679 1781 1712 1834 1911 1882 1849 1895 9999
782IMBITUBA2002 62 9999 2101 2073 2031 1994 1855 1872 1961 1891 1909 2171
782IMBITUBA2002 63 2189 2121 2160 1937 1617 1572 1671 1839 1887
782IMBITUBA2002 71 1944 1843 1691 1640 1807 1847 2006 2173 2161 2143 2060
782IMBITUBA2002 72 2050 1939 1769 1781 1847 1880 1861 1723 1655 1616 1545
782IMBITUBA2002 73 1846 1838 1650 1892 1940 2015 1926 1630 1624 1850
782IMBITUBA2002 81 2056 2187 2025 1923 1916 2015 2051 1840 1679 1824 1820
782IMBITUBA2002 82 1770 1873 1879 1964 1904 1799 1700 1507 1453 1696 1868
782IMBITUBA2002 83 1775 1604 1533 1540 1586 1495 1480 1807 2139 1797
782IMBITUBA2002 91 2330 2276 1737 1643 1722 1737 2069 1968 1716 1649 1575
782IMBITUBA2002 92 1540 1873 2061 1985 1783 1497 1406 1422 1759 1977 1797
782IMBITUBA2002 93 1769 1881 1739 1610 1740 1656 1623 1794 1778
782IMBITUBA2002101 1783 1607 1471 1690 1663 1629 1596 1645 1660 1613 9999
782IMBITUBA2002102 9999 9999 9999 9999 9999 9999 1635 1506 1689 1889 2096
782IMBITUBA2002103 1965 1623 1692 1859 1786 1761 1832 1864 1701 9999
782IMBITUBA2002111 1683 1667 1678 1850 1975 1793 1535 1415 1446 1701 1881
782IMBITUBA2002112 1972 1832 1579 1649 1787 1790 1756 1800 1715 1666 1751
782IMBITUBA2002113 1671 1638 1728 1763 1827 1844 1839 1716 1732
782IMBITUBA2002121 1766 1858 1751 1601 1648 1768 1863 1965 1841 1613 1530
782IMBITUBA2002122 1566 1677 1741 1653 1594 1796 1954 1710 1605 1821 1645
782IMBITUBA2002123 1498 1887 1882 1642 1562 1590 1712 1767 1753 1718
782IMBITUBA2003 11 1676 1778 1745 1681 1830 1893 1901 2001 1888 1857 1885
782IMBITUBA2003 12 1840 1775 1639 1614 1604 1597 1707 1868 1690 1658 1803
782IMBITUBA2003 13 1732 1898 1905 1662 1691 1737 1750 1694 1566 1760
782IMBITUBA2003 21 1623 1699 1704 1742 1719 1681 1753 1804 1766 1728 1824
782IMBITUBA2003 22 1769 1798 1906 1799 1788 2006 2045 1910 1859 2115 2158
782IMBITUBA2003 23 1925 1774 1801 1890 9999 9999          1830
782IMBITUBA2003 31 9999 1945 1988 1966 1940 1909 1884 1837 1768 1784 1748
782IMBITUBA2003 32 1931 2181 1997 1799 1853 1958 1800 1746 1919 2165 2170
782IMBITUBA2003 33 1969 1925 9999 9999 1527 1504 1551 1821 1996 1878
782IMBITUBA2003 41 1941 1930 1933 1795 1848 2008 1982 1831 9999 9999 9999

```

782IMBITUBA2003 42 2564 2329 1894 1826 9999 2014 1850 1718 2007 2051 1897
 782IMBITUBA2003 43 1819 1830 1874 1949 1972 1959 2013 2081 1958
 782IMBITUBA2003 51 2115 2187 2189 2002 1924 2120 2399 2393 2075 1884 1756
 782IMBITUBA2003 52 1730 1838 1776 1592 1638 1854 1875 1940 1868 1858 1833
 782IMBITUBA2003 53 1874 2258 2504 2179 1813 1990 2086 1993 1927 1983
 782IMBITUBA2003 61 1960 2015 2095 2192 1967 1783 1896 2128 2132 2024 2011
 782IMBITUBA2003 62 2098 1941 1898 1772 1664 1808 1861 1833 1799 1801 1945
 782IMBITUBA2003 63 1863 1724 1851 1902 9999 9999 9999 9999 1922
 782IMBITUBA2003 71 9999 9999 2025 1893 1915 2057 2055 1985 1973 2209 9999
 782IMBITUBA2003 72 2253 2020 1747 1450 1581 1973 1979 1766 9999 9999 9999
 782IMBITUBA2003 73 1945 1916 1890 1843 1762 1714 1701 1792 1968 1896
 782IMBITUBA2003 81 1875 1709 1673 1714 1707 1785 1923 2028 2034 2235 2006
 782IMBITUBA2003 82 1753 1756 1883 2065 2194 2210 1861 1522 1590 1717 1742
 782IMBITUBA2003 83 1916 2000 2078 2131 2057 1964 1868 9999 9999 1896
 782IMBITUBA2003 91 1660 9999 1674 1570 1482 1530 1541 1782 1981 2083 1996
 782IMBITUBA2003 92 1698 1719 2083 2096 1980 1916 1743 1528 1558 1785 1717
 782IMBITUBA2003 93 1584 1656 1839 1768 1712 1725 1852 1811 1761
 782IMBITUBA2003101 1610 1534 1747 1807 1591 1697 1810 1721 1642 1890 2073
 782IMBITUBA2003102 1970 1814 1646 1585 1488 1462 9999 9999 9999 1824 1853
 782IMBITUBA2003103 1885 1704 1577 1711 1890 1890 1695 1645 9999 1732
 782IMBITUBA2003111 9999 2034 1983 1840 1643 1605 1679 1659 1673 1760 1724
 782IMBITUBA2003112 1649 1878 1957 1599 1465 1758 1838 1792 1914 1930 1633
 782IMBITUBA2003113 1531 1758 1904 1860 1840 1941 1917 1871 1781
 782IMBITUBA2003121 1821 1859 1824 1825 1804 1970 1948 1733 1840 2001 1732
 782IMBITUBA2003122 1806 1910 1755 1651 9999 9999 1671 1420 1430 1593 1728
 782IMBITUBA2003123 1857 1941 1740 1568 1530 1550 1900 2015 1873 1769
 782IMBITUBA2004 11 2039 1964 1793 1733 1633 1638 1712 1692 1715 1683 1724
 782IMBITUBA2004 12 1809 1748 1814 1841 9999 9999 9999 9999 1659 1559 1615
 782IMBITUBA2004 13 1792 1713 1685 1787 1777 1677 1576 9999 9999 1735
 782IMBITUBA2004 21 9999 1709 1739 1668 1784 1982 1926 1806 1682 1569 1550
 782IMBITUBA2004 22 1593 1506 1601 2043 2110 1846 1683 1795 1874 1959 1930
 782IMBITUBA2004 23 1895 1849 1776 1774 9999 9999 1894 1790
 782IMBITUBA2004 31 1733 1641 1720 1909 1738 1571 1636 1769 1843 1821 1926
 782IMBITUBA2004 32 1977 1740 1566 1709 1778 1770 1759 1789 1858 1835 1830
 782IMBITUBA2004 33 1776 1715 1775 1857 1934 1809 1719 9999 9999 1776
 782IMBITUBA2004 41 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
 782IMBITUBA2004 42 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
 782IMBITUBA2004 43 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
 782IMBITUBA2004 51 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
 782IMBITUBA2004 52 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
 782IMBITUBA2004 53 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
 782IMBITUBA2004 61 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
 782IMBITUBA2004 62 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
 782IMBITUBA2004 63 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
 782IMBITUBA2004 71 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
 782IMBITUBA2004 72 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
 782IMBITUBA2004 73 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
 782IMBITUBA2004 81 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
 782IMBITUBA2004 82 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
 782IMBITUBA2004 83 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
 782IMBITUBA2004 91 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
 782IMBITUBA2004 92 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
 782IMBITUBA2004 93 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
 782IMBITUBA2004101 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
 782IMBITUBA2004102 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
 782IMBITUBA2004103 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999

782IMBITUBA2004111 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
782IMBITUBA2004112 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
782IMBITUBA2004113 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
782IMBITUBA2004121 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
782IMBITUBA2004122 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999
782IMBITUBA2004123 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999 9999

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)