

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ELMO LEONARDO XAVIER TANAJURA

**INVESTIGAÇÕES QUANTO AOS PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM NO
PROCESSAMENTO DE DADOS GPS VISANDO A GERAÇÃO DO MDT DO
ESPORÃO ARENOSO DA ILHA DO MEL**

**CURITIBA
2008**

ELMO LEONARDO XAVIER TANAJURA

**INVESTIGAÇÕES QUANTO AOS PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM NO
PROCESSAMENTO DE DADOS GPS VISANDO A GERAÇÃO DO MDT DO
ESPORÃO ARENOSO DA ILHA DO MEL**

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

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Claudia Pereira Krueger

**CURITIBA
2008**

Tanajura, Elmo Leonardo Xavier

Investigações quanto aos parâmetros que influenciam no processamento de dados GPS visando a geração do MDT do esporão arenoso da Ilha do Mel / Elmo Leonardo Xavier Tanajura. - Curitiba, 2008.

106 f.: il., tabs, grafs.

Orientadora: Profa. Dra. Claudia Pereira Krueger
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.
Inclui Bibliografia.

Sistema de posicionamento global. 2. Satélites artificiais de navegação. 3. Coordenadas geográficas. 4. Mel, Ilha do (PR). I. Krueger, Claudia Pereira. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD 526.982



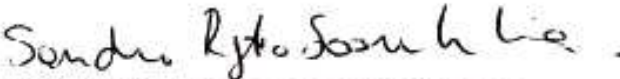
TERMO DE APROVAÇÃO

ELMO LEONARDO XAVIER TANAJURA

**"INVESTIGAÇÕES QUANTO AOS PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM NO
PROCESSAMENTO DE DADOS GPS VISANDO A GERAÇÃO DO MDT DO
ESPORÃO ARENOSO DA ILHA DO MEL"**

Dissertação nº 222 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientadora:


Prof. Dr. Claudia Pereira Krueger
Departamento de Geomática, UFPR
Prof. Dr. Marcelo Renato Lameur
Centro de Estudos do Mar, UFPR
Prof. Dr. Sandro Reginato Soares de Lima

Curitiba, 30 de julho de 2008.

Aos meus pais Eliece e Vanilde

Aos meus avós maternos: João Inácio e Maria Ramos (*in memoriam*)

Aos meus avós paternos: Antonio Mota e Áurea Lopes (*in memoriam*)

Por todo o amor e fé

Depositados ao longo de anos

AGRADECIMENTOS

A Deus e todos os Orixás pela vida, guia e proteção.

Aos meus pais e toda minha família pelo apoio prestado em todos os momentos.

À professora Cláudia Pereira Krueger, pela confiança e incentivo no desenvolvimento deste trabalho.

À UFPR e o curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, todos os seus professores e servidores e laboratórios, em especial ao Laboratório de Geodésia Espacial, por toda estrutura fornecida.

Ao IBGE, CEM, SEMA, Fundação Araucária, Manfra, Paranacidade e Batalhão de Polícia Ambiental do Paraná pelas informações, apoio e dados oferecidos.

À CAPES, pelo fomento e a disponibilidade do Portal de Periódicos.

Aos amigos João Júnior, Vagner Ferreira e Juliana Moulin por me incentivarem a ingressar no curso.

Aos amigos Ângela Cristina, Rodrigo Mikosz, Claudionor Ribeiro e Jaime Freiburger Jr. pelos conselhos, motivação e apoio.

Aos professores da UFRRJ: João Bahia, Luiz Guimarães, Mauro Antunes, Marlene Uberti e Daniel Carvalho pelo apoio e amizade.

A todos que colaboraram nos levantamentos de campo, em especial: Nassau, Suelen, Diuliana, Silvio Ney, Márcio Kuznicki, Daniel Perozzo, Orismar Nunes, Cescila de Cássia e a turma de Levantamentos Geodésicos de 2007/2 da Engenharia Cartográfica.

Aos amigos que fiz no curso, aos quais tenho muita consideração: Maurício Sejas, Sydney Dias, João Cortes, John Alejandro, Ozório Júnior, Márcis Gualberto, Ricardo Villar, Marco Nadal, Ernesto Shibayama, Niarquios, Érica, Silvio Andolfato, Alessandro Sales, Jair Silveira (*in memoriam*), Alessandra Palmerio, Fabiani das Dores, Karol, Maria de Lourdes, Madalena, Roberto Luz, Mosar, Renan, Naíssa, Caroline, Mara Rubia, Vaneza, Michele, Marcelo, Márcio Schimidt, André Luiz, Tatiana Taura, João Paulo, Fernando Santil, Fabiana, Paula, Rogers, Verali Mônica, Mariney Nunes, Sr. Plínio e Dona Benedita.

Aos grandes amigos da República *Uns Miserês*, Física e Biblioteca: Paulo Dã, Hélio Bueno, Pedro Henrique Bueno, Bruno Felipe, Alexandre Bambuxa, Diego Dagoo, Márcio, Thiago Milico, Henry, Mário e Milena.

Aos membros do C.A.C.P.G.C.G.U.F.P.R.O.C.Q.M.S.O.C por todos os eventos e debates, os quais foram de uma imensa contribuição cultural.

Aos projetos Musicais *Regueira Dussaku* e *Banda Sei lá*, pelos bons momentos de entretenimento.

RESUMO

O uso do NAVSTAR GPS vem recentemente se difundindo nas mais diversas áreas. No ambiente costeiro é uma ferramenta fundamental nas aplicações de monitoramento de linha de costa. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a variação volumétrica de um esporão arenoso localizado na Ilha do Mel, município de Paranaguá, Estado do Paraná, Brasil. Ao mesmo tempo em que foram analisados alguns fatores que influenciaram diretamente no processamento dos dados GPS e conseqüentemente na qualidade das coordenadas geradas. Os levantamentos geodésicos pelo método relativo cinemático foram realizados em três campanhas (Fevereiro/2006, Dezembro/2007 e Abril/2008), com informações coletadas a um de intervalo 3 segundos e processadas com 3 e 15 segundos. Os levantamentos dispuseram de 10 bases compostas por estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) e Manfra, além de bases alocadas nas imediações da área de trabalho. Essas estações permitiram que os dados coletados nas duas primeiras etapas fossem processados com diferentes linhas de base. Na terceira e última etapa dos levantamentos foram realizados com os métodos relativo cinemático, absoluto e diferencial (RTK + DGPS). Os resultados alcançados apresentam a análise da variação volumétrica dos MDT's e o nível de degradação das coordenadas geodésicas com o aumento da linha de base além de permitir a avaliação da praticidade dos levantamentos e as precisões relativas das coordenadas de acordo com as condições impostas.

Palavras-Chave: MDT; Métodos de levantamentos GPS; Linha de Base; Degradação de coordenadas

ABSTRACT

The use of NAVSTAR GPS is recently publishing in the several areas. In the coastal environment it is a fundamental tool for applications as shorelines monitoring. The purpose of this work is to evaluate the volumetric variation from a Spit located in Ilha do Mel, Paraná State, Brazil. Some factors were analyzed, that influenced in GPS data processing and in the quality of coordinates. The geodetic surveying, by relative kinematic method, were made in three campaigns (February/2006, December/2007 and April/2008), the information were collected with 3 seconds of recording interval and they were processing with 3 and 15 seconds of interval. The surveyings have 10 bases consisting of stations from *Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo* (RBMC), Manfra and stations allocated for the proximity of work region. These stations allowed that the collected data in the first and second campaigns were processed with different baselines. In the last campaign the surveying were made by relative kinematic, absolute and differential (RTK + DGPS) methods. The reached results shows the volumetric variation analyses of DTM's and the degradation level of geodetic coordinates according to baseline increasing and it allowed to evaluate the practically of surveying and the accuracy of coordinates according to applied conditions.

Key words: DTM, GPS Surveying Methods, Baseline; Degradation of coordinates

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DA ILHA DO MEL	22
FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DA ILHA NO LITORAL PARANAENSE	23
FIGURA 3 – VISTA AÉREA DO ESPORÃO ARENOSO	24
FIGURA 4 – PRINCÍPIO BÁSICO DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES	25
FIGURA 5 – ESBOÇO DA CONSTELAÇÃO DO NAVSTAR GPS	27
FIGURA 6 – POSICIONAMENTO ABSÓLUTO ESTÁTICO	34
FIGURA 7 – POSICIONAMENTO RELATIVO	35
FIGURA 8 – POSICIONAMENTO RELATIVO CINEMÁTICO CONTÍNUO	36
FIGURA 9 – PRINCÍPIO DE UM DGPS	37
FIGURA 10 – PRINCÍPIO DE UM POSICIONAMENTO RTK	38
FIGURA 11 – DISTRIBUIÇÃO DAS ESTAÇÕES DA REDE BRASILEIRA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO	39
FIGURA 12 – EXEMPLO DE GRADE REGULAR	41
FIGURA 13 – ILUSTRAÇÃO DO CAMINHAMENTO REALIZADO NO ESPORÃO ARENOSO NOS ANOS DE 2006 E 2007	46
FIGURA 14 – ESQUEMA COM A DISPOSIÇÃO DAS ESTAÇÕES BASE	51
FIGURA 15 – DETERMINAÇÃO DAS COORDENADAS DA ESTAÇÃO CASA	53
FIGURA 16 – DETERMINAÇÃO DAS COORDENADAS DA ESTAÇÃO CEM3	53
FIGURA 17 – DETERMINAÇÃO DAS COORDENADAS DA ESTAÇÃO TOCA	54
FIGURA 18 – ESPORÃO E ÁREA TESTE	56
FIGURA 19 – ANTENAS GPS EM UM ÚNICO BASTÃO	57
FIGURA 20 – POSIÇÃO DAS SUBÁREAS NO ESPORÃO	60
FIGURA 21 – GRADE REGULAR DAS SUBÁREAS	61
FIGURA 22 – SUPERFÍCIES DEFINIDAS NA SUBÁREA 1	61
FIGURA 23 – GRÁFICOS DOS DESVIOS PADRÃO DAS COORDENADAS GERADAS (15s)	66
FIGURA 24 – GRÁFICOS ESCALONADOS DOS DESVIOS DE MTO06 E MCE06	67
FIGURA 25 – GRÁFICOS ESCALONADOS DOS DESVIOS DE MUN06 E MPA06	68
FIGURA 26 – DISPERSÃO ENTRE LATITUDES (MTO06 x MPA06)	69
FIGURA 27 – DISPERSÃO ENTRE LONGITUDES (MTO06 x MPA06)	70
FIGURA 28 – DISPERSÃO ENTRE ALT. ELIPSOIDAIAS (MTO06 x MPA06)	70
FIGURA 29 – ALTITUDES GEOMÉTRICAS DAS TRAJETÓRIAS	71
FIGURA 30 – DIAGRAMA DA CONSTELAÇÃO DE SATÉLITES GPS PARA AS ESTAÇÕES NEIA E UFPR	75
FIGURA 31 – GRÁFICOS DOS GDOP'S DAS ESTAÇÕES NEIA E UFPR	76
FIGURA 32 – ESQUEMA ILUSTRATIVO DA DISPOSIÇÃO DAS LINHAS DE BASE	78
FIGURA 33 – CAMINHAMENTO DA ESTAÇÃO MÓVEL NA ÁREA TESTE	79
FIGURA 34 – DISPOSIÇÃO DAS ANTENAS UTILIZADAS NO RASTREIO	81
FIGURA 35 – GRÁFICO DAS DIFERENÇAS ENTRE O COMPONENTE NORTE	84
FIGURA 36 – GRÁFICO DAS DIFERENÇAS ENTRE A COMPONENTE LESTE	84
FIGURA 37 – GRÁFICO DAS DIFERENÇAS ENTRE A COMPONENTE ALTITUDE	85
FIGURA 38 – GRÁFICO DAS CLASSES PARA 15 SEGUNDOS DE INTERVALO	89
FIGURA 39 – GRÁFICO DAS CLASSES PARA 3 SEGUNDOS DE INTERVALO	89
FIGURA 40 – MDT'S PADRÃO - S1T03 a S5T03	91
FIGURA 41 – GRÁFICOS DOS VOLUMES DAS SUBÁREAS	92
FIGURA 42 – MDT'S S1T03 E S1UN	93
FIGURA 43 – MDT'S S2T03 E S2UN	93
FIGURA 44 – COMPARAÇÃO ENTRE MDT'S S4T03, S4CE E S4UN	94
FIGURA 45 – GRÁFICOS DOS VOLUMES DAS SUBÁREAS - INTERVALO DE 3 E 15 SEGUNDOS	95

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – VALORES MÁX., MÍN. E MÉDIOS DOS DESVIOS PADRÃO EM 2006 (15s).	64
TABELA 2 – VALORES MÁX., MÍN. E MÉDIOS DOS DESVIOS PADRÃO EM 2006 (3s)...	64
TABELA 3 – VALORES MÁX., MÍN. E MÉDIOS DOS DESVIOS PADRÃO EM 2007(15s)..	73
TABELA 4 – VALORES DOS DESVIOS PADRÃO EM 2008	80
TABELA 5 – DIFERENÇAS ENTRE AS COMPONENTES DAS COORDENADAS PADRÃO	83
TABELA 6 – DIFERENÇAS E CORREÇÕES DOS ERROS SISTEMÁTICOS NAS COMPONENTES DE MAB08 (m)	86
TABELA 7 – QUANTIDADE DE PONTOS CLASSIFICADOS POR LINHA DE BASE – 15 SEGUNDOS.....	88
TABELA 8 – QUANTIDADE DE PONTOS CLASSIFICADOS NO INTERVALO DE GRAVAÇÃO 3 SEGUNDOS.	88
TABELA 9 – VOLUMES DAS SUBÁREAS PARA DADOS COM 15 SEGUNDOS DE INTERVALO DE GRAVAÇÃO (m ³)	90
TABELA 10 – VOLUMES DAS SUBÁREAS PARA DADOS COM 3 SEGUNDOS DE INTERVALO DE GRAVAÇÃO (m ³).....	90
TABELA 11 – VOLUME DAS SUBÁREAS NOS ANOS DE 2006 E 2007	97

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – CARACTERÍSTICAS DO CÓDIGO E DA FASE PORTADORA.....	29
QUADRO 2 – SINAIS GPS PARA TRÊS GERAÇÕES DE BLOCOS	30
QUADRO 3 – CARACTERÍSTICAS DOS TRÊS SISTEMAS DE POSICIONAMENTO	32
QUADRO 4 – CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS DE POSICIONAMENTO	33
QUADRO 5 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PROMARK 2	47
QUADRO 6 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO ASHTECH Z12	47
QUADRO 7 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO TRIMBLE 4000SSi	48
QUADRO 8 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO LEICA GPS 1200	48
QUADRO 9 – ESTAÇÕES BASE EMPREGADAS NOS LEVANTAMENTOS.....	49
QUADRO 10 – COORDENADAS GEODÉSICAS DAS ESTAÇÕES BASE	50
QUADRO 11 – INFORMAÇÕES DAS CAMPANHAS.	55
QUADRO 12 – COORDENADAS GEODÉSICAS DA ESTAÇÃO CAS1	57
QUADRO 13 – NÚMERO DE VETORES CLASSIFICADOS EM FUNÇÃO DAS AMBIGÜIDADES (2006).....	59
QUADRO 14 – NÚMERO DE VETORES CLASSIFICADOS EM FUNÇÃO DAS AMBIGÜIDADES (2007).....	59
QUADRO 15 – NÚMERO DE VETORES CLASSIFICADOS EM FUNÇÃO DAS AMBIGÜIDADES – ÁREA TESTE (2008).....	59
QUADRO 16 – NOMENCLATURA DOS MDT'S DAS SUBÁREAS COM INTERVALO DE GRAVAÇÃO DE 15 SEGUNDOS.....	87
QUADRO 17– NOMENCLATURA DOS MDT'S DAS SUBÁREAS COM O INTERVALO DE GRAVAÇÃO DE 3 SEGUNDOS	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

alt.	- Altitude
C/A	- Coarse Acquisition
CEM	- Centro de Estudos do Mar
CEP	- Complexo Estuarino de Paranaguá
COMPASS	- ingl. Compass Satellite Navigation System
DGPS	- ingl. Differential Global Positioning System
DNIT	- Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes
DORIS	- ingl. Doppler Orbitography and Radio-positioning Integrated by Satellite
ERDGPS	- Estações de Referências DGPS
GDOP	- ingl. Geometric Dilution of Precision
GGTO	- ingl. GPS to Galileo Time Offset
GLONASS	- rus. Global' naya Navigatsionnaya Sputnikkovaya Sistema
GNSS	- ingl. Global Navigation Satellite System.
GPS	- ingl. Global Positioning System
GTRF	- ingl. Galileo Terrestrial Reference Frame
IAP	- Instituto Ambiental do Paraná
IBAMA	- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGS	- ingl. International GNSS Service for Geodynamics
ingl.	- Inglês
IRNSS	- ingl. Indian Regional Navigational Satellite System
ITRF	- ingl. International Terrestrial Reference Frame
LAGE	- Laboratório de Geodésia Espacial
lat.	- Latim
max.	- Máximo
MDT	- Modelo Digital de Terreno
méd.	- Médio
mín.	- Mínimo
MNT	- Modelo Numérico de Terreno
NAVSTAR	- ingl. Navigation System with Time and Ranging

NNSS	- ingl. Navy Navigation Satellite System
NNW	- ingl. North-Northwest
PDGPS	- ingl. Precise Differential Global Positioning System
PR	- ingl. Pseudorange
QZSS	- ingl. Quasi-Zenith Satellite System
RBMC	- Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RTCM	- ingl. Radio Technical Committee for Maritime Service
RTK	- ingl. Real Time Kinematic
rus.	- Russo
S/A	- ingl. Selective Availability
SIG	- Sistemas de Informações Geográficas
SEMA	- Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SGS85	- ingl. Soviet Geodetic System 1985
SIRGAS	- Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
TIMATION	- ingl. Time Navigation
TIN	- ingl. Triangular Irregular Network
UTC(SU)	- Universal Time Coordinated (Soviet Union)
UTC(USNO)	- Universal Time Coordinated (United States Naval Observatory)
UTM	- Universal Transversa de Mercator
WADGPS	- ingl. Wide Area DGPS
WGS84	- ingl. World Geodetic System – 1984
WSW	- ingl. West-Southwest

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	JUSTIFICATIVA	18
1.2	OBJETIVOS	19
1.2.1	Objetivo Geral	19
1.2.2	Objetivos específicos	20
2	CONSIDERAÇÕES GERAIS	20
2.1	ÁREA DE ESTUDO.....	20
3	REVISÃO DE LITERATURA	25
3.1	O POSICIONAMENTO POR SATÉLITES.....	25
3.1.1	O NAVSTAR-GPS.....	26
3.1.2	Observáveis	27
3.1.3	Modernização do GPS	29
3.1.4	<i>O Global Navigation Satellite System (GNSS)</i>	30
3.1.5	Métodos de Levantamentos	32
3.1.5.1	Posicionamento Absoluto	33
3.1.5.2	Posicionamento Relativo	34
3.1.5.3	Posicionamento Diferencial	36
3.1.6	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC).....	38
3.2	MODELO DIGITAL DE TERRENO	40
3.2.1	Grade Regular.....	41
3.2.2	Interpoladores	42
3.2.3	Cálculos dos volumes	44
4	MATERIAL E MÉTODOS	46
4.1	LEVANTAMENTOS DE CAMPO	46
4.1.1	Equipamentos Utilizados.....	47
4.1.2	Estações Base	49
4.1.2.1	Determinação das Coordenadas Geodésicas das Estações Base	52
4.1.3	Descrição das Campanhas	54
4.2	PROCESSAMENTO DOS DADOS	58
4.2.1	Dados GPS	58
4.2.2	Geração dos MDT's	60
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
5.1	ANÁLISE DAS COORDENADAS PROCESSADAS.....	62
5.1.1	Campanha de 2006.....	62
5.1.2	Campanha de 2007.....	72
5.1.3	Campanha de 2008.....	79
5.2	VARIAÇÕES VOLUMÉTRICAS DO ESPORÃO ARENOSO	87
5.2.1	Análises dos MDT's gerados na Campanha de 2006	87
5.2.2	Variação volumétrica ao longo dos anos.....	96
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	99
	REFERÊNCIAS.....	101
	ANEXO I.....	107
	ANEXO II.....	109
	APÊNDICE I.....	112
	APÊNDICE II.....	117

1 INTRODUÇÃO

Estudos relatam que as primeiras ocupações na costa brasileira foram por grupos de pescadores e coletores que se instalaram na costa litorânea por volta de 4550 a.C. O principal vestígio desse grupo é um tipo de sítio denominado Sambaqui, tema de interesse científico desde a segunda metade do século XIX. A distribuição dos sítios é bastante ampla, iam desde a Amazônia até a região sul do Brasil, apesar de serem mais abundantes nesta região, em sua maioria no estado de Santa Catarina (GASPAR, 2000).

A faixa litorânea do litoral brasileiro compreende cerca de 8000 km de extensão e abrange os mais variados tipos de sistemas costeiros de relevância ambiental, tais como: manguezais, restingas, dunas, praias, ilhas, costões rochosos, baías, brejos, falésias, estuários, recifes de corais e outros ambientes importantes do ponto de vista ecológico. Este arcabouço de riquezas naturais está ameaçado pela ação antrópica. (IBAMA, 2007).

Desde o lançamento do primeiro satélite artificial, o SPUTNIK I, em 4 de Outubro de 1957, várias ciências puderam usufruir dessa nova era que estaria por vir. A Geodésia Espacial teve um significativo avanço no que concerne ao posicionamento. Porém, o marco inicial do posicionamento por satélites tem suas origens no antigo NNSS (*Navy Navigation Satellite System*), também conhecido como TRANSIT, que utilizava o efeito *Doppler* para posicionar o observador (VANÍCEK, 1986).

Este sistema serviu de base para o Departamento de Defesa Norte Americano desenvolver dois projetos paralelos, o TIMATION (*Time Navigation*) elaborado pela Marinha e o 621B pela Força Aérea Norte Americana, eles se fundiram em apenas um dando origem ao NAVSTAR-GPS (*Navigation Satellite with Time and Ranging – Global Positioning System*), ou simplesmente GPS (SEEBER, 1993).

Paralelo ao surgimento do NAVSTAR – GPS a Federação Russa desenvolve o GLONASS (*Global' naya Navigatsionnaya Sputnikkovaya Sistema*). A possibilidade de uma independência dos EUA, no que diz respeito ao posicionamento por satélites, dentre outros fatores motivou a União Européia, Agência Espacial Européia

e a iniciativa privada de alguns países a desenvolverem o seu próprio sistema, o GALILEO. Este por sua vez encontra-se em fase de desenvolvimento.

Os estudos referentes ao monitoramento da erosão costeira tem sido foco de pesquisas perante a comunidade científica internacional. As técnicas utilizadas para o monitoramento variam desde o uso de imagens de satélites, fotografias aéreas, LIDAR (*Light Detection And Ranging*) e levantamentos GPS.

Análises de variabilidade de linha de costa foram realizadas no Egito, onde WHITE & EI ASMAR (1999) comparam a posição do Delta do Rio Nilo em épocas distintas (1984, 1987, 1990 e 1991) a partir de técnicas de segmentação de imagens TM LANDSAT 5, nesse período foram constatadas taxas de erosão e deposição ao longo da costa do Delta do Nilo.

Pesquisas intensivas no âmbito do monitoramento costeiro têm sido realizadas por algumas entidades Norte Americanas. O *Bureau of Economic Geology - University of Texas at Austin* possui um grupo de estudos pioneiro nas aplicações da tecnologia LIDAR em zonas costeiras. Entre vários projetos deste grupo, destaca-se o *Texas Shoreline Change Project*, onde é desenvolvido um moderno monitoramento da linha de costa e suas variações ao longo do Golfo do México (GIBEAUT *et al*, 2000). O *U.S. Geological Survey* (USGS) através do *Coastal and Marine Geology Program* também tem conduzido pesquisas nessa linha. O programa tem desenvolvido métodos para o mapeamento da região costeira dos Estados Unidos, parte do Alaska e Hawaii, analisando o movimento da linha de costa e atualizando periodicamente o banco de dados históricos com informações de erosão e deposição (USGS, 2007).

Pesquisas direcionadas ao ambiente costeiro, mais especificamente a partir levantamentos baseados no posicionamento GPS, foram introduzidas no Brasil por KRUEGER (1996), que na ocasião verificou as soluções de alta precisão com o uso do GPS no ambiente marinho em duas áreas distintas, Mar do Norte (Alemanha) e Ponta do Poço (Brasil).

Metodologias para mapeamento de linha de costa a partir de técnicas de sensoriamento remoto, fotogrametria e levantamento GPS também tem sido empregadas no litoral do Estado do Paraná (KRUEGER, 1999; SILVA 2003; BABINSCK, 2006).

Algumas alternativas para aplicações batimétricas foram obtidas através da integração de dados espectrais provenientes de imagens do satélite IKONOS

(TEDESCO, 2003), além do método GPS Diferencial Preciso, utilizado na análise de reduções batimétricas na Baía de Guanabara no Rio de Janeiro (RAMOS, 2007).

Investigações relacionadas ao posicionamento baseado em *Estações de Referências DGPS* (ERDGPS) foram executadas ao longo de duas rotas marítimas (BRIONES & KRUEGER, 1999).

XAVIER (2000) apresenta uma metodologia empregada na análise da estabilidade de uma rede local GPS, localizada no litoral paranaense, entre os municípios de Matinhos e Pontal do Paraná.

1.1 JUSTIFICATIVA

Atualmente problemas relativos ao ambiente marinho têm sido abordados com frequência. Grupos de pesquisas científicas ligados à área costeira vêm realizando trabalhos com o propósito de contornar problemas das mais diversas categorias.

As praias compreendem um ambiente sedimentar dinâmico. De acordo com o BIRD (1996, p. 74), 70% das costas arenosas do mundo estão sofrendo processos erosivos, 10% estão em progradação e 20% restantes encontram-se em relativa estabilidade. No Brasil esse fenômeno tem se tornado cada vez mais evidente causado pela dinâmica de circulação costeira, a elevação do nível relativo do mar e as intervenções antrópicas (SOUZA & SUGUIO, 1996, p. 405).

Os ambientes costeiros são extremamente dinâmicos, neles convergem processos terrestres, oceânicos e atmosféricos, que alteram constantemente suas características (ANGULO, 2004).

Os primeiros estudos relativos à costa paranaense têm início na década de 40, a partir de BIGARELLA (1946), desde então pesquisadores não têm medido esforços para realizar estudos inerentes a problemas ambientais no litoral do estado.

O litoral do estado do Paraná é caracterizado por possuir áreas com alta vulnerabilidade a processos erosivos. Tais problemas decorrem da interferência entre a intensa dinâmica natural e a ocupação inadequada do solo. Nas imediações das desembocaduras estuarinas essas modificações se agravam, as variações da morfologia dos deltas de maré vazante têm contribuído com progradação ou retrogradação da costa (IBAMA, 2006, p. 348).

MIHÁLY (1997) estudou a dinâmica sedimentar do litoral norte paranaense e extremo sul paulista com o objetivo principal de identificar tendência na distribuição das características sedimentológicas e o monitoramento da dinâmica da desembocadura lagunar do Ararapira (SP/PR).

Mais especificamente no complexo estuarino de Paranaguá, onde está situada a Ilha do Mel, o fluxo sedimentar que se desloca ao longo da costa, ao chegar à desembocadura do complexo proporciona uma série de perturbações e desvios das tendências de transporte de sedimentos (LAMOUR, 2007).

A Ilha do Mel é uma região que vem sendo muito afetada com esses problemas. Segundo ANGULO (1993) mais de 50% da sua linha de costa está classificada como moderadamente instável, no que diz respeito a processos erosivos, inclusive a região do esporão arenoso.

Nessas circunstâncias é de fundamental importância a necessidade de um acompanhamento dessas variações por meio de levantamentos geodésicos. O que além de proporcionar a elaboração e organização de uma série de dados espaciais da região de estudo pretende-se retratar a situação atual do esporão arenoso.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Investigar os parâmetros (e.g. linha de base, intervalo de gravação de dados) que influenciam no processamento dos dados GPS visando analisar a variação volumétrica do esporão arenoso da Ilha do Mel, empregando-se ainda de diferentes métodos de posicionamento GPS.

1.2.2 Objetivos específicos

Efetuar levantamentos de campo com o emprego de diferentes métodos de posicionamento, processar os dados coletados em campo e analisar as precisões alcançadas com eles.

Analisar a degradação do posicionamento em função de diferentes comprimentos de linhas de base.

Verificar a variação volumétrica do esporão arenoso com o emprego de diferentes intervalos de gravação de dados no posicionamento relativo cinemático contínuo.

Indicar quais métodos de posicionamento GPS são adequados para o monitoramento costeiro levando-se em consideração a relação custo/benefício.

Colaborar com outras áreas que tenham interesse em usufruir dos resultados gerados por esse trabalho, dando suporte à pesquisas futuras a serem desenvolvidas na região de estudo.

Contribuir para a elaboração de predições futuras de variações das regiões costeiras no que diz respeito à tendência a processos erosivos e deposicionais.

Cooperar com as autoridades governamentais com relação à tomada de decisões inerentes ao planejamento ambiental na região.

2 CONSIDERAÇÕES GERAIS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A Ilha do Mel encontra-se vinculada ao município de Paranaguá-PR, estando sob sua jurisdição e proteção ao encargo do Instituto Ambiental do Paraná (IAP) e do Batalhão de Polícia Militar do Paraná (PARANAGUÁ, 2008). Está localizada na parte central do litoral do Estado do Paraná, na desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), ocupando uma área de aproximadamente 2,762 ha (SEMA, 2004).

De acordo com a configuração geomorfológica e as características da dinâmica costeira, é possível identificar no Paraná três tipos principais de costas: as estuarinas ou protegidas (1317 km), as oceânicas ou de mar aberto (61 km) e as de desembocaduras (105 km) (ANGULO & ARAÚJO 1996). Segundo PRINTCHARD (1967) um ambiente estuarino é um corpo aquoso litorâneo raso e geralmente salobro com circulação mais ou menos restrita, que mantém comunicação constante com o oceano aberto.

As costas estuarinas ou protegidas, caracterizadas principalmente pela presença de mangues, localizam-se no interior dos estuários, e são influenciadas principalmente pelas variações das marés (ANGULO, 1996).

O Complexo Estuarino de Paranaguá é uma região de alta relevância nas pesquisas realizadas no litoral paranaense. Um dos aspectos que caracteriza essa região diz respeito às atividades antrópicas que são influenciadas pela dinâmica dos sedimentos na costa, como os problemas de assoreamento no canal de acesso portuário do CEP. Esse processo de assoreamento prejudica as atividades do porto de Paranaguá (MARTINS et al, 2004).

A Ilha do Mel está situada a cerca de 4 km de Pontal do Paraná e a 24 km de Paranaguá. O acesso se dá pela BR 277 até Paranaguá ou Pontal do Paraná (Rodovias PR 407 e 412), de onde partem os barcos para a ilha. A travessia dura em média 30 minutos a partir de Pontal do Paraná e uma hora e meia de Paranaguá (Figura 1).

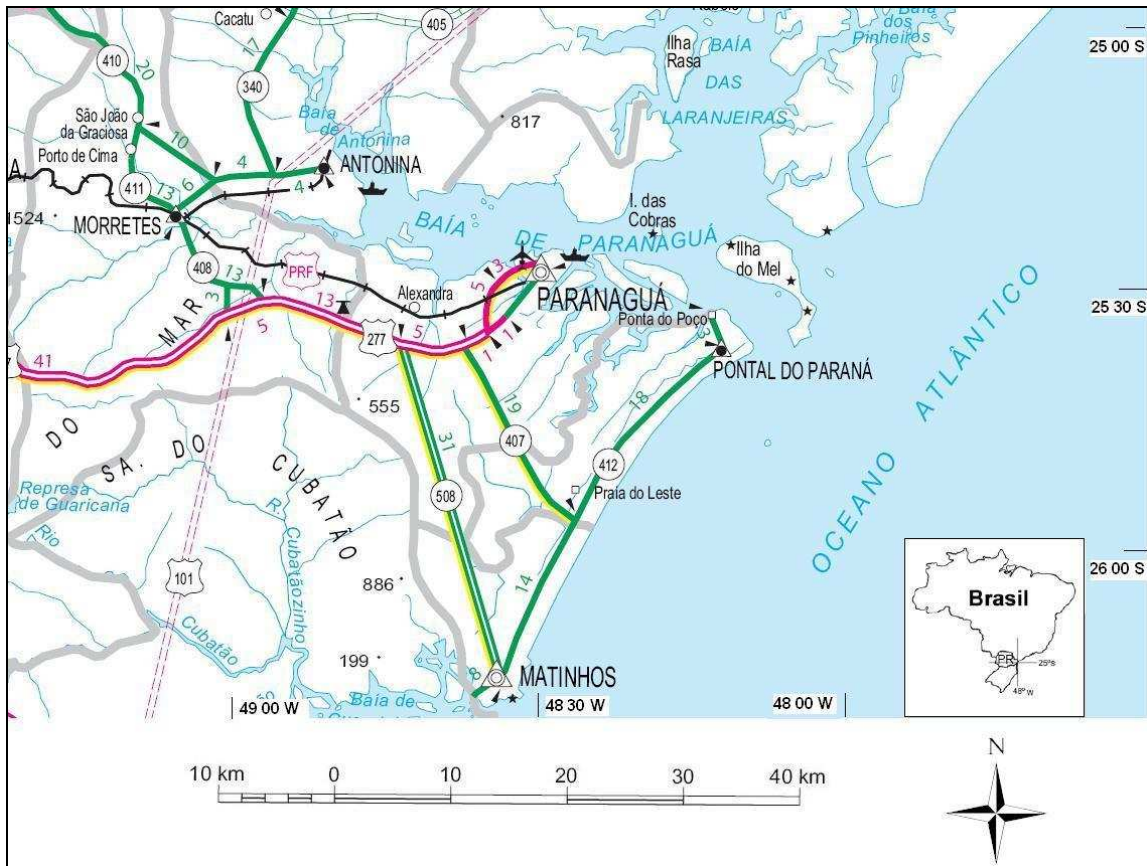


FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DA ILHA DO MEL
 Fonte: Adaptado de DNIT (2002)

A Ilha do Mel é margeada pelos Canais Norte e Sueste e pelo Canal da Galheta ao Sul, na proximidade com Pontal do Paraná. Este último é o acesso dos navios em direção ao Porto de Paranaguá.

O relevo e a vegetação da Ilha do Mel proporcionaram a formação de 13 praias: Encantadas ou Prainha, Praia de Fora, Praia do Miguel, Praia Grande, Praia do Farol, Praia da Fortaleza, Praia do Farol do Cassual, Praia da Ponta do Hospital, Praia da Ponta Oeste/ Coroazinha, Praia do Cedro, Praia do Limoeiro, Praia Nova Brasília e Praia do Belo (Figura 2) (SEMA, 2004).



FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DA ILHA NO LITORAL PARANAENSE
 Fonte: Adaptado de GIANNINI *et al* (2004).

Dados obtidos sobre o processo erosivo existente na Ilha do Mel, especificamente sobre o seu istmo, foram analisados por PARANHOS FILHO (1996) com dados temporais de linhas de costa nos anos de 1953, 1985, 1991, 1992 e 1995. Análises de perfis permitiram a caracterização sedimentológica das praias da ilha. Com isso foi constatado que a erosão no istmo é episódica.

Com o uso do GPS, SOUZA (2002) avaliou as variações volumétricas no Istmo da Ilha do Mel, buscando desenvolver um estudo geodésico nessa área, obtendo informações que permitiram a geração dos MDT do istmo, possibilitando calcular as variações volumétricas entre diferentes épocas (1997, 1999 e 2001), quantificando assim a erosão ou progradação ocorridas nestes períodos.

Os mecanismos de dinâmica costeira essencialmente comandados pela ação dos agentes oceanográficos (ondas, marés e correntes litorâneas) sofrem, por vezes, alterações permanentes ou transitórias, por efeito da ocorrência de eventos

episódicos como: tormentas, furacões, deslocamentos da foz de rios, desenvolvimentos de deltas, acreção e erosão de bancos arenosos submersos junto às linhas de costa, entre outros (TESSLER & GOYA, 2005).

O esporão arenoso em estudo está compreendido entre a Ponta do Farol das Conchas e o istmo da Ilha do Mel (Figura 3). Segundo GIANNINI *et al* (2004), a intensificação do processo erosivo no istmo de Nova Brasília durante a década de 1990 foi simultânea à formação de um esporão arenoso ancorado na ponta do Farol, na extremidade sul da praia com duas componentes de crescimento: longitudinal, para WSW, e transversal (regressiva), para NNW. Na direção longitudinal, a terminação do esporão, com um pequeno embaiamento à retaguarda, avança gradualmente em direção à parte sul do istmo, à velocidade de crescimento média estimada de cerca de $100 \text{ m} \cdot \text{ano}^{-1}$. Nesse mesmo período o crescimento transversal do esporão foi de cerca de 200 m. O processo progradacional é evidenciado pelo rápido aparecimento de dunas frontais incipientes, sucessivamente transformadas em dunas frontais estabelecidas através da substituição da vegetação rasteira, estoloniforme pela arbustiva.



FIGURA 3 – VISTA AÉREA DO ESPORÃO ARENOSO
Fonte: IBAMA (2006, p. 385)

3 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção apresenta-se uma revisão de literatura no que concerne ao posicionamento por satélites e quanto ao Modelo Digital de Terreno.

3.1 O POSICIONAMENTO POR SATÉLITES

O princípio básico do posicionamento por satélites é baseado na geometria tridimensional, onde as coordenadas cartesianas de um ponto poderão ser obtidas de acordo com os fundamentos da álgebra vetorial.

Fazendo uma analogia a um sistema com origem no centro de massa da Terra (Sistema Terrestre) e com satélites em órbita, pode-se definir a posição de um ponto B na superfície física da Terra conforme apresentado na Figura 4.

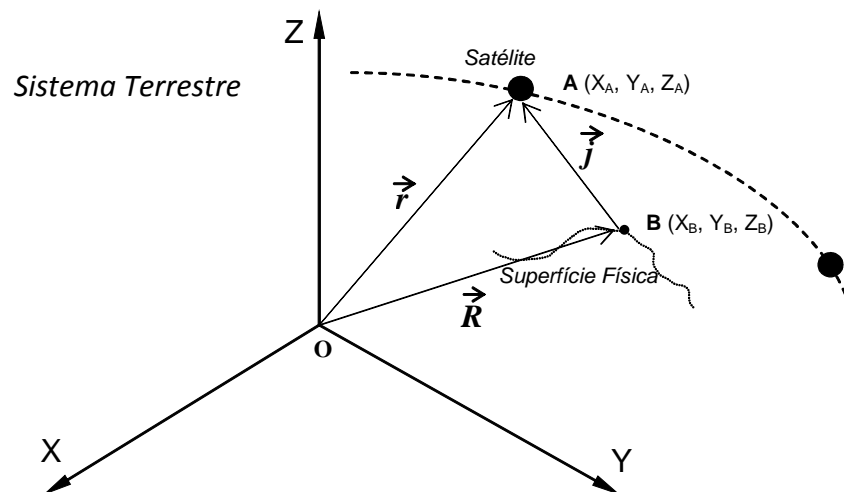


FIGURA 4 – PRINCÍPIO BÁSICO DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES
Fonte: O autor (2008)

$$\vec{R} = \vec{r} - \vec{j} \quad (1)$$

O vetor \vec{r} é determinado pelas coordenadas do satélite que são oriundas das efemérides dos satélites. O vetor \vec{j} é identificado a partir do rastreamento de informações oriundas do satélite por um receptor/antena em B. Restando dessa forma o vetor \vec{R} como incógnita, que por sua vez é determinado pela soma vetorial descrita na Equação 1.

3.1.1 O NAVSTAR-GPS

O NAVSTAR – GPS é atualmente o sistema de posicionamento mais utilizado pelos usuários em todo o mundo. Desenvolvido nos Estados Unidos desde 1973, o sistema era restrito a aplicações militares, com serviços limitados aos usuários civis. As aplicações Geodésicas com este sistema tiveram início a partir de 1983 (SEEBER, 1993, p. 209).

O Sistema é composto atualmente (Julho, 2008) por uma constelação de 32 satélites (Figura 5) distribuídos em 6 planos orbitais com aproximadamente 55° de inclinação com o plano do equador e com uma altitude média de 20.200 Km acima da superfície terrestre. A constelação é composta pelos Blocos II, IIA, IIR e IIR-M (USNO, 2008), com previsão de lançamento do Bloco IIF para 2008 (NAVCEN, 2008).

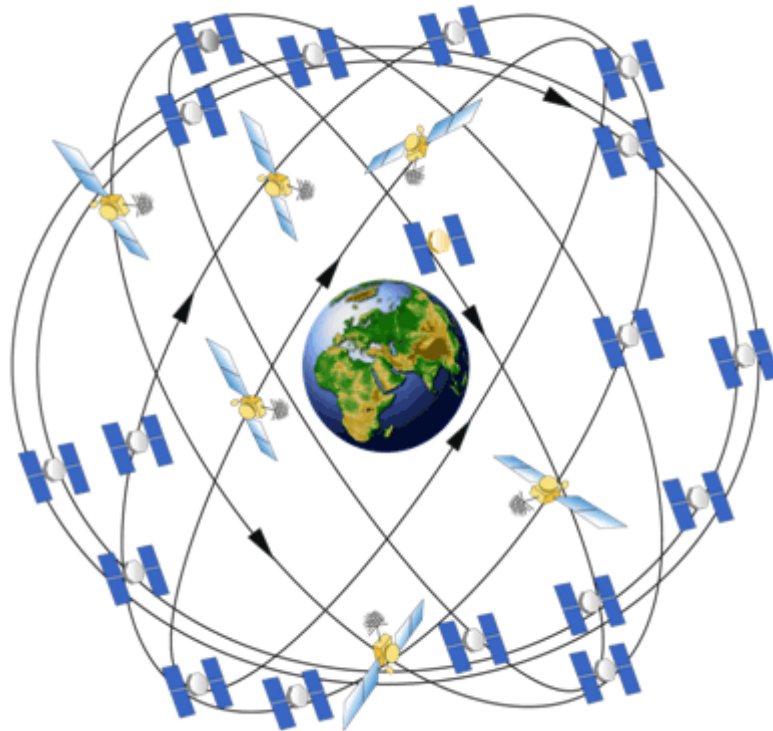


FIGURA 5 – ESBOÇO DA CONSTELAÇÃO DO NAVSTAR GPS
Fonte: <http://pnt.gov/public/images/constellation.gif>

O Anexo I apresenta algumas informações referentes aos satélites em operação da constelação GPS.

3.1.2 Observáveis

Os sinais emitidos pelos satélites GPS são os códigos, as ondas portadoras e as mensagens de navegação. Os códigos possibilitam a obtenção da distância entre as antenas do satélite e do receptor, denominada de pseudodistância, que segundo SEEBER (1993, p. 252) é uma das quatro observáveis básicas que podem ser identificadas para o GPS. Resultam do tempo decorrido da propagação do sinal entre as antenas (satélite/receptor), multiplicado pela velocidade da luz no vácuo. Denomina-se pseudodistância em função de erros presentes nas observações, principalmente pelo não sincronismo entre os relógios do receptor e satélite.

A equação de observação da pseudodistância (PR) através da medida do código C/A para uma época genérica (t) é representada matematicamente para uma estação B qualquer por (SEEBER, 1993, p. 252):

$$PR_B^i(t)^C = c(t_r - T_t) = R_B^i(t) + c\delta_B(t) + c\delta_a(t) + c\delta^i(t) + \varepsilon_B \quad (2)$$

Onde:

c : Velocidade de propagação da luz no vácuo;

t : Época genérica;

C : Código C/A

t_r : Tempo em que o sinal foi recebido no receptor instalado em B;

T_t : Tempo em que o sinal foi transmitido do satélite i ;

R_B^i : Distância geométrica entre a antena do satélite i e a antena do receptor instalado em B;

δ_a : Erro devido ao atraso na propagação do sinal na atmosfera (troposfera e ionosfera) entre a antena do receptor e a antena do satélite;

δ^i : Erro do relógio do satélite i em relação ao tempo GPS;

δ_B : Erro de sincronização do relógio do receptor instalado em B com relação ao tempo GPS;

ε_B : Demais erros (ruído do receptor, efeito de multicaminho, variação do centro de fase da antena).

A pseudodistância obtida através da medida da fase da onda portadora possui uma maior precisão comparada à obtida por meio do código. A medida da fase da portadora é resultado da diferença entre o sinal emitido pelos satélites e a sua respectiva réplica gerada pelo receptor. A particularidade da Equação 3 está relacionada à adição do termo das ambigüidades. Esse termo denota a quantidade

de ciclos inteiros compreendidos entre o satélite e o receptor. A equação é definida por (SEEBER, 1993, p. 258):

$$PR_B^i(t)^\phi = R_B^i(t) + c\delta t_B(t) + c\delta t_a(t) + c\delta t^i(t) + c\left(\frac{N}{f_{CR}}\right)(t) + \varepsilon_B \quad (3)$$

Onde:

ϕ : Fase da onda portadora;

N : Ambigüidade;

f_{CR} : Freqüência da portadora.

O Quadro 1 apresenta as principais características do código e da fase portadora:

CARACTERÍSTICA	CÓDIGO	PORTADORA
Comprimento de Onda	P: 29,3 m	L1: 19,05 cm
	C/A: 293 m	L2: 24,45 cm
Ruído da Observação	P: 0,3 – 1 m	
Receptores Antigos	C/A: 3 – 10 m	1 – 3 mm
Receptores Modernos	P: 2 a 5 cm	< 0,2 mm
Efeitos da propagação	Atraso ionosférico	Avanço ionosférico
	$+\Delta T_{ION}$	$-\Delta T_{ION}$
Ambigüidade	Não ambíguo	Ambíguo

QUADRO 1 – CARACTERÍSTICAS DO CÓDIGO E DA FASE PORTADORA

Fonte: SEEBER, 1993, p. 256

3.1.3 Modernização do GPS

De acordo com LEICK (2004) a modernização do GPS está ligada aos diversos avanços na tecnologia de satélites e receptores. Na concepção original, a constelação GPS é composta pelos denominados blocos II/IIA, IIR e o recentemente

lançado IIR-M. Ainda está para ser lançado o bloco IIF (NAVCEN, 2008). A principal novidade nos blocos IIR-M e IIF é a presença de novos sinais (L1M, L2M, L5C). O Quadro 2 apresenta os sinais presentes nos satélites dos blocos IIR , IIR-M e IIF.

SINAL	IIR	IIR-M	IIF
L1 C/A	X	X	X
L1 P(Y)	X	X	X
L1M			X
L2C	X	X	X
L2 P(Y)	X	X	X
L2M		X	X
L5C			X

QUADRO 2 – SINAIS GPS PARA TRÊS GERAÇÕES DE BLOCOS

Fonte: LEICK, 2004, p. 73.

A presença da nova portadora L5 nos futuros satélites lançados proporcionará vantagens ao usuário com relação à precisão das observações, visto que o novo sinal possuirá maior potência e taxa de transmissão além de uma faixa mais larga de comprimento de onda (CASTRO, 2006).

Este novo sinal civil opera com uma frequência central de 1.176,45 MHz e largura de faixa de 24 MHz. Sua portadora apresenta duas componentes ortogonais (fase e quadratura) e cada uma destas componentes é modulada por uma seqüência binária a uma taxa de 10,23 MHz. A componente em fase é também chamada de canal de dados e a componente em quadratura, chamada de canal piloto (ARINC, 2002).

3.1.4 O *Global Navigation Satellite System* (GNSS)

O NAVSTAR-GPS não é o único sistema de navegação baseado em satélites artificiais. A Federação Russa possui em operação o seu próprio sistema, o GLONASS, além disso, a União Européia juntamente com Agência Espacial Européia estão desenvolvendo o sistema GALILEO (SEEBER, 2003, p. 383).

O termo *Global Navigation Satellite System* (GNSS) foi adotado na 10ª Conferência Internacional de Navegação Aérea, em 1991. Além dos três principais sistemas de navegação existentes, compõem o GNSS outros sistemas em desenvolvimento, não muito abrangentes com relação à sua cobertura, são eles:

- *Compass – Compass Satellite Navigation System* – Sistema Chinês desenvolvido pela *China Satellite Navigation Engineering Center*;
- *IRNSS – Indian Regional Navigation Satellite System* - Sistema Indiano desenvolvido pela *Indian Space Research Organization*;
- *QZSS Quasi-Zenith Satellite System* – Sistema Japonês desenvolvido pela *Advanced Space Business Corporation*.

O GLONASS, sistema Russo começou a ser desenvolvido efetivamente no início 1982, quando foi lançado seu primeiro satélite. Assim como o GPS, ele foi planejado para conter um mínimo 24 satélites distribuídos em 3 planos orbitais separados entre si de 120°. Atualmente (Julho, 2008) o sistema conta com 12 satélites em operação. Mais detalhes sobre a constelação GPS no Anexo II.

De acordo com LAGO *et al* (2002) o GPS e o GLONASS possuem características semelhantes, tanto no que se refere aos aspectos orbitais quanto aqueles de controle terrestre, fato que possibilita a sua utilização para os mesmos tipos de aplicação. Uma das maiores diferenças entre eles diz respeito à frequência da portadora, cada satélite do GLONASS transmite sua própria frequência (LEICK, 2004, p. 86 e 87). Porém, o código é o mesmo para todos os satélites (SEEBER, 2003, p. 386).

O Projeto do Galileo compõe uma constelação de 30 satélites divididos em três órbitas circulares numa altitude orbital de 23.616 km para cobrir toda a superfície terrestre. Eles serão apoiados por uma rede mundial de estações terrestres. O sistema proverá 10 sinais de navegação nas seguintes faixas de frequência (GALILEO, 2002):

- 1164-1215 MHz (E5a e E5b)
- 1215-1300 MHz (E6)
- 1559-1592 MHz (E2-L1-E11)

O Quadro 3 lista importantes características dos três sistemas, sendo GPS, GLONASS e Galileo.

	GPS	GLONASS	GALILEO
Início desenvolvimento	1973	1972	2001
1º satélite lançado	27/06/1977	12/10/1982	28/12/2005
Satélites Ativos (04/07/08)	32	12	1
Planos orbitais	6	3	3
Inclinação	55°	64,8°	56°
Altura da órbita	20.180 km	19.100 km	23.616 km
Período	11h 58 min	11h 15 min	~14 h
Sistema de Referência	WGS84	SGS85	GTRF
Sistema de tempo	Tempo GPS	Tempo GLONASS	GALILEO (GST)
Correção do tempo	UTC(USNO)	UTC(SU)	GGTO
Característica do sinal	Identificação por código	Identificação por frequência	Identificação por código
Frequências	L1, L2, (L5)	L1, L2, (L5)	E5a, E5b, E6, E2-(L1)-E1
Códigos	Diferente para cada satélite	Idêntico para cada satélite	Diferente para cada satélite
Influências artificiais no sistema	S/A (até 05/2001); AS	nenhuma	Sinais PRS serão restritos.

QUADRO 3 – CARACTERÍSTICAS DOS TRÊS SISTEMAS DE POSICIONAMENTO

Fonte: RÜFFER e HEMMERT (2005, p. 523). Extraído e adaptado de FREIBERGER JR (2007).

3.1.5 Métodos de Levantamentos

Na literatura são diversas as classificações que são atribuídas aos posicionamentos GPS. De uma maneira geral, eles podem ser divididos em: Absoluto, Relativo e Diferencial, subdividindo-se em outros, conforme ilustra o Quadro 4.

MÉTODOS DE POSICIONAMENTO		
ABSOLUTO	RELATIVO	DIFERENCIAL
Estático	Estático	DGPS
Cinemático	Estático Rápido	RTK
	Stop and go	PDGPS
	Cinemático	WADGPS
	Pseudocinemático	

QUADRO 4 – CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS DE POSICIONAMENTO
 Fonte: Adaptado de KRUEGER (1996).

3.1.5.1 Posicionamento Absoluto

O Posicionamento Absoluto (Figura 6), também conhecido por posicionamento por ponto, é caracterizado por utilizar-se de apenas um único receptor no rastreo. Segundo MONICO *et al* (1997), é freqüente ter como observável principal a pseudodistância (código C/A). As coordenadas do satélite estão implícitas na distância geométrica que o separa do receptor e são obtidas a partir das efemérides transmitidas.

A precisão deste posicionamento varia de 13 a 25m (95%) em tempo real. Pode chegar a um metro se os dados são adquiridos com um receptor de dupla freqüência e pós-processados com efemérides precisas e parâmetros de correção do relógio.

Um Posicionamento Absoluto pode ser Estático ou Cinemático (Quadro 4), a diferença entre eles diz respeito à condição da antena. No primeiro caso a antena se encontra parada e o objetivo principal é uma determinação pontual. No segundo caso a antena se encontra em movimento e o que se deseja obter é uma trajetória.

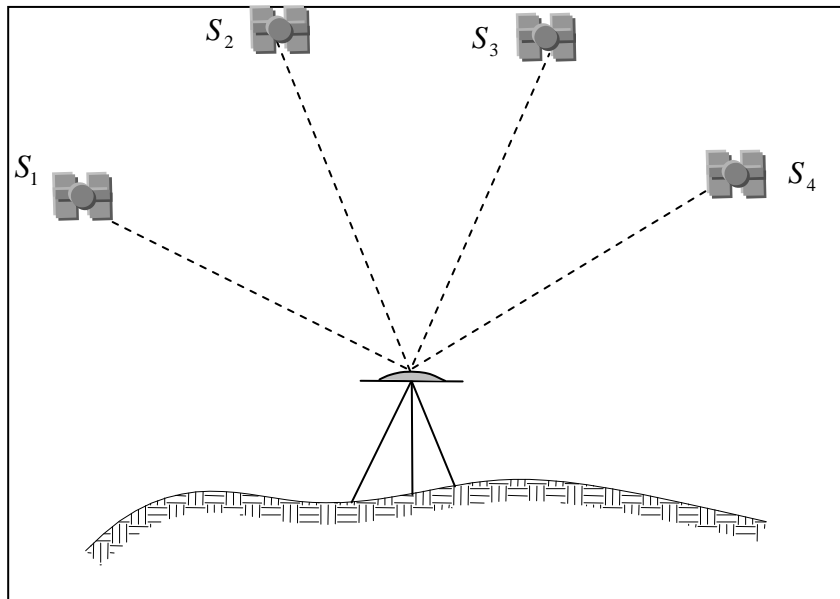


FIGURA 6 – POSICIONAMENTO ABSOLUTO ESTÁTICO
Fonte: O autor (2008).

3.1.5.2 Posicionamento Relativo

Um Posicionamento Relativo é caracterizado pelo rastreamento simultâneo dos satélites em no mínimo dois receptores. Um receptor deve ser instalado em uma estação de coordenadas conhecidas, denominada de Base e o outro aparelho é instalado no local onde se deseja obter as coordenadas geodésicas, denominado de estação móvel ou itinerante (Figura 7).

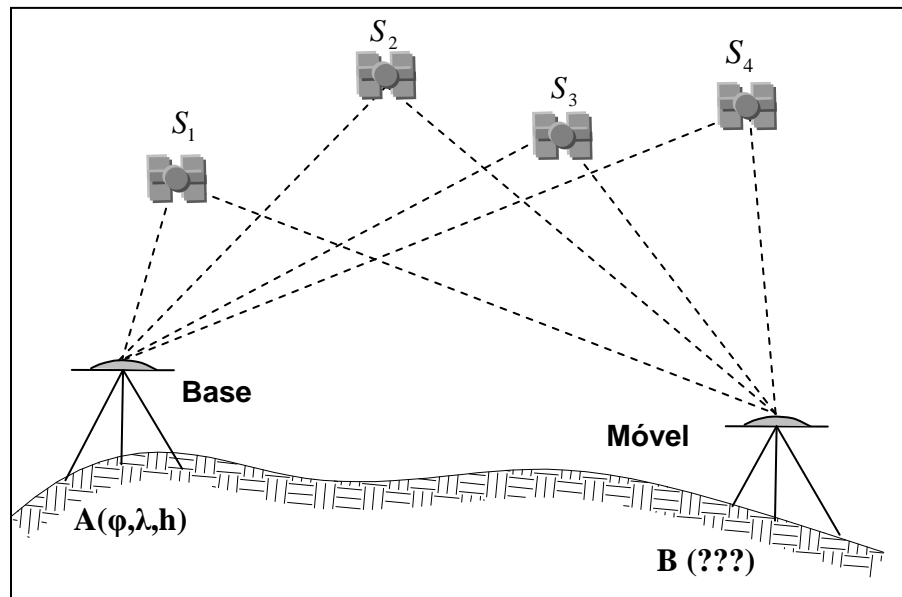


FIGURA 7 – POSICIONAMENTO RELATIVO
 Fonte: O autor (2008).

O Posicionamento Relativo (Quadro 4) está dividido em Estático, Estático Rápido, *Stop and Go*, Pseudocinemático e Cinemático. Nos dois primeiros casos a antena da estação itinerante encontra-se estacionária e nos demais ela está em movimento.

Uma das principais vantagens do Posicionamento Relativo em relação ao Absoluto diz respeito à sua contribuição para uma significativa redução de erros, especialmente do erro do relógio do satélite, erro de órbita e da propagação do sinal na atmosfera. Ele pode ser efetuado utilizando-se diferentes tipos de observação, como o da fase do código, da fase do código suavizada pela portadora e da fase da portadora (KRUEGER, 1996).

O Método de Posicionamento Relativo Cinemático contínuo (Figura 8) caracteriza-se pelo movimento do receptor/antena GPS para a determinação de uma trajetória. Uma das suas vantagens está relacionada à alta produtividade, pois um grande número de pontos pode ser determinado em menor tempo.

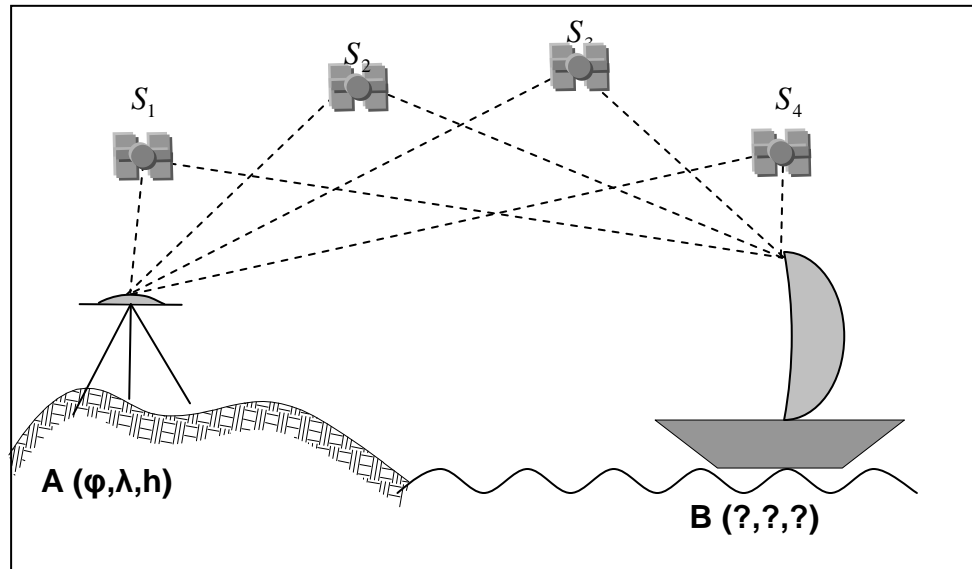


FIGURA 8 – POSICIONAMENTO RELATIVO CINEMÁTICO CONTÍNUO

Fonte: O autor (2008).

O intervalo de gravação dos dados utilizado normalmente é de 1 segundo, contudo, podem-se empregar outros (3 segundos, 5 segundos, etc).

Nestas aplicações é bastante comum a perda de sinal durante a coleta dos dados. Na etapa inicial do rastreamento faz-se necessário realizar um período de inicialização com o objetivo de armazenar dados por algumas épocas no momento estático, os quais possibilitam no processamento a resolução das ambigüidades.

3.1.5.3 Posicionamento Diferencial

Os Métodos Diferenciais de Posicionamento se caracterizam pelas suas particularidades de obtenção de coordenadas geodésicas em tempo real. Conforme apresentado no Quadro 4, eles podem se dividir em DGPS (*Differential GPS*), RTK (*Real Time Kinematic*), PDGPS (*Precise DGPS*) e WADGPS (*Wide Area DGPS*). Esses métodos se caracterizam quanto às observáveis empregadas (código, código suavizado pela portadora e fase da portadora) e o número de estações de referência empregadas.

O princípio do GPS Diferencial (DGPS) consiste no posicionamento de uma estação móvel através das correções diferenciais geradas na estação de referência

(Figura 9). Essas correções são enviadas em tempo real por meio de um sistema de comunicação (rádio de transmissão, linha telefônica ou satélites de comunicação) e dentro de um formato apropriado, definido pela *Radio Technical Committee for Maritime Service* (RTCM) (KRUEGER,1996).

No DGPS as correções diferenciais são calculadas para o código e/ou código suavizado pela portadora e transmitidas para a estação móvel. Nesse método pode-se considerar um decréscimo da sua precisão em função do aumento da sua linha de base a uma taxa de aproximadamente 10 ppm, ou seja, 1 cm a cada quilômetro (HOFMANN-WELLENHOF *et al* 1994).

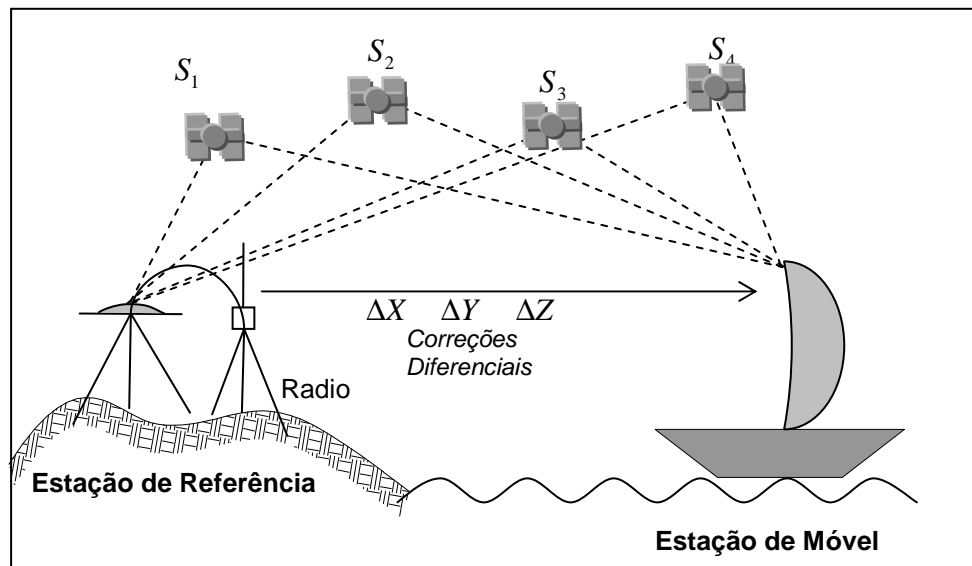


FIGURA 9 – PRINCÍPIO DE UM DGPS
Fonte: Adaptado de SEEBER, 1993, p. 342

A técnica RTK (Figura 10) foi criada com o propósito de melhorar a precisão atingida pelo DGPS. A principal diferença entre os dois métodos é que a estação de referência RTK envia correções diferenciais da fase da onda portadora ou informações da própria onda portadora para a estação móvel.

Para bases curtas (até 10 km) a estação de referência e o receptor móvel podem rastrear simultaneamente a mesma constelação de satélites, gerando certa correlação entre os erros em ambas as estações, pois além da eliminação dos erros dos relógios são considerados semelhantes nas estações os efeitos atmosféricos e os erros nas órbitas, tornando efetivas no receptor móvel as correções geradas na

estação de referência. Ambas as estações devem rastrear pelo menos cinco satélites, para se ter uma boa solução das ambigüidades (RAMOS, 2007).

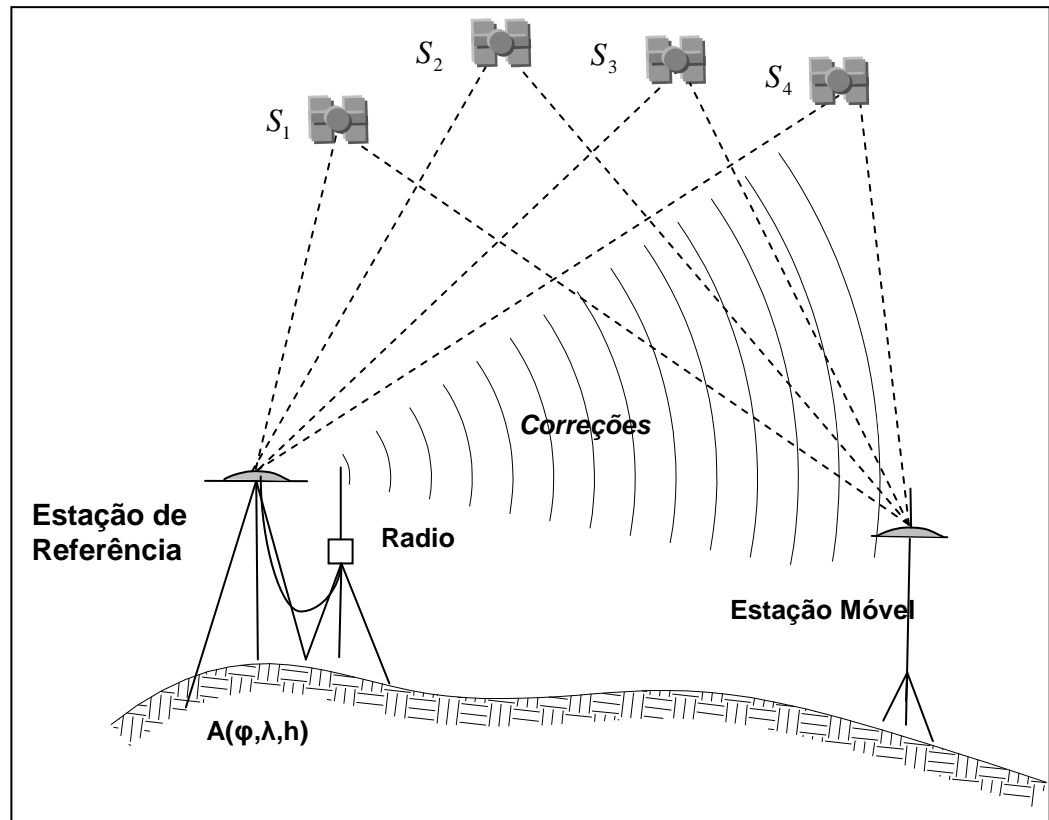


FIGURA 10 – PRINCÍPIO DE UM POSICIONAMENTO RTK
Fonte: O autor (2008).

3.1.6 Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC)

A RBMC é um projeto do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em cooperação com outras instituições. Teve início em 1991 com o propósito de distribuir Estações GPS de rastreamento permanente ao longo do território nacional (FORTES, 1995).

A rede conta em Julho de 2008 com um total de 42 estações entre ativas e em teste (Figura 11).

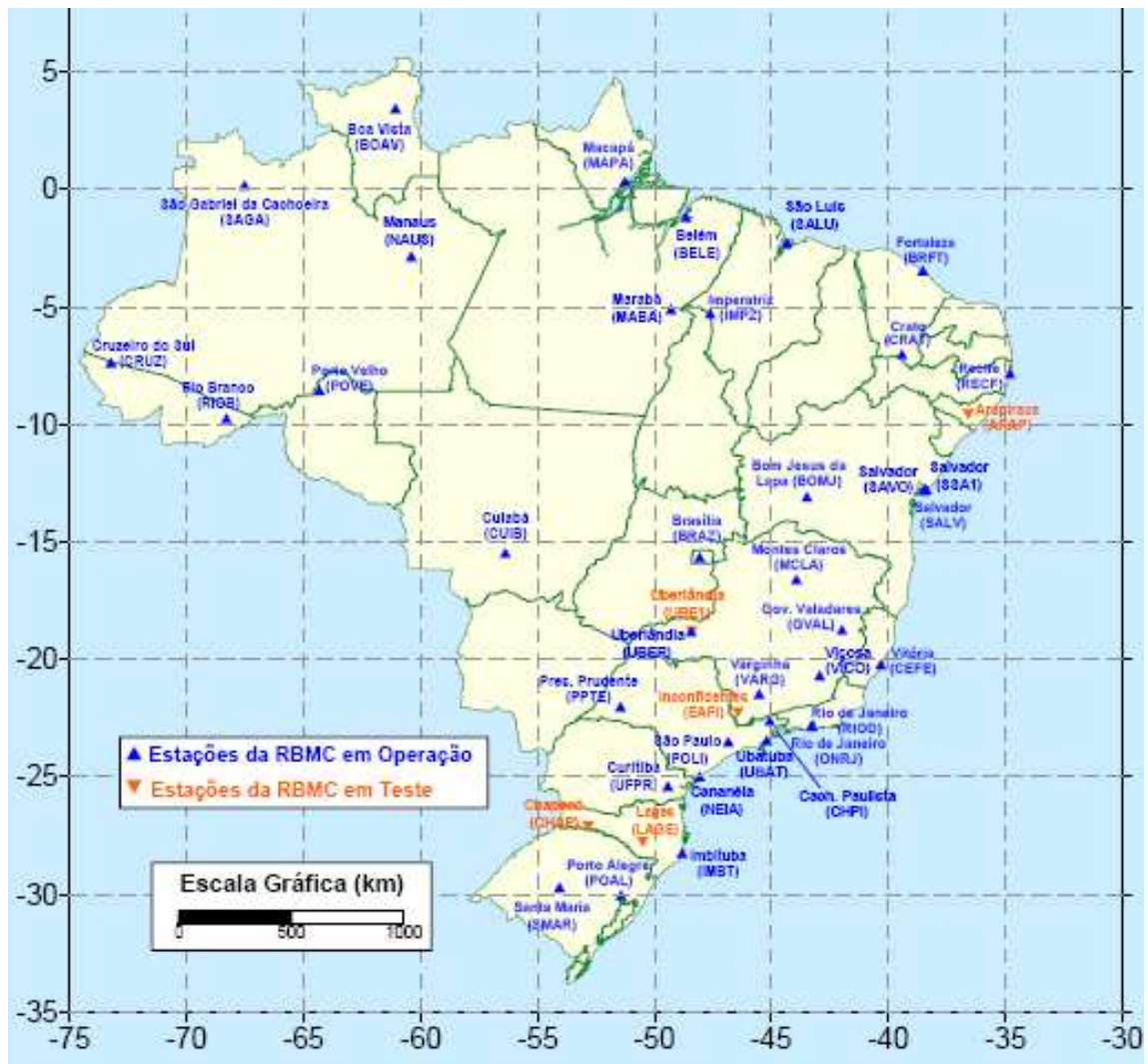


FIGURA 11 – DISTRIBUIÇÃO DAS ESTAÇÕES DA REDE BRASILEIRA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO

Fonte: Adaptado de IBGE (2007).

As coordenadas das estações da RBMC são componentes importantes na composição dos resultados finais dos levantamentos a ela referenciados. Nesse aspecto, a grande vantagem da RBMC é que todas as suas estações fazem parte da Rede de Referência SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), cujas coordenadas finais têm precisão da ordem de ± 5 mm, configurando-se como uma das redes mais precisas do mundo. Outra característica importante da RBMC é que suas observações vêm contribuindo, desde 1997, para a densificação regional da rede do IGS (*International GNSS Service for Geodynamics*), garantindo uma maior precisão dos produtos do IGS, tais como órbitas precisas.

A operação das estações da RBMC é totalmente automatizada. As observações são organizadas, ainda na memória do receptor, em arquivos diários, correspondendo a sessões iniciando às 00h 01min e encerrando às 24h 00min (tempo universal), com intervalo de gravação de dados de 15 segundos (IBGE, 2007).

3.2 MODELO DIGITAL DE TERRENO

Um Modelo Digital de Terreno (MDT) ou Modelo Numérico de Terreno (MNT) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Dados de relevo, informação geológicas, levantamentos de profundidades do mar ou de um rio, informações meteorológicas, dados geofísicos e geoquímicos são exemplos típicos de fenômenos representados por um MDT (CÂMARA & FELGUEIRAS, 2004).

A qualidade de um MDT dependerá diretamente da fonte de dados da qual ele foi obtido, que a depender de sua finalidade, exigirá uma grande ou pequena densidade de informações. Assim como todo dado georreferenciado, suas características serão propagadas para os produtos gerados a partir do MDT.

Dentre alguns usos do MDT pode-se citar (BURROUGH, 1986):

- Armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos;
- Análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens, seções transversais, áreas, volumes;
- Elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio à análise de geomorfologia e erodibilidade;
- Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas;
- Apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

3.2.1 Grade Regular

O modelo grade também conhecido como *grid* ou matriz de altitude é construído de modo a ter-se um conjunto de pontos dispostos tridimensionalmente numa malha retangular gerada a partir dos pontos amostrais. A interseção das linhas com as colunas desta grade são chamadas de nós, que possuem a localização espacial definida pelas coordenadas tridimensionais (x,y,z) . Os valores da ordenada z , devem retratar da forma mais fiel possível, a superfície a ser modelada. Como na maioria das vezes a grade apresenta seus nós regularmente espaçados (Figura 12), é em geral conhecida como grade regular. A grade é arranjada de forma que sua área retangular coincida com a área a ser modelada.

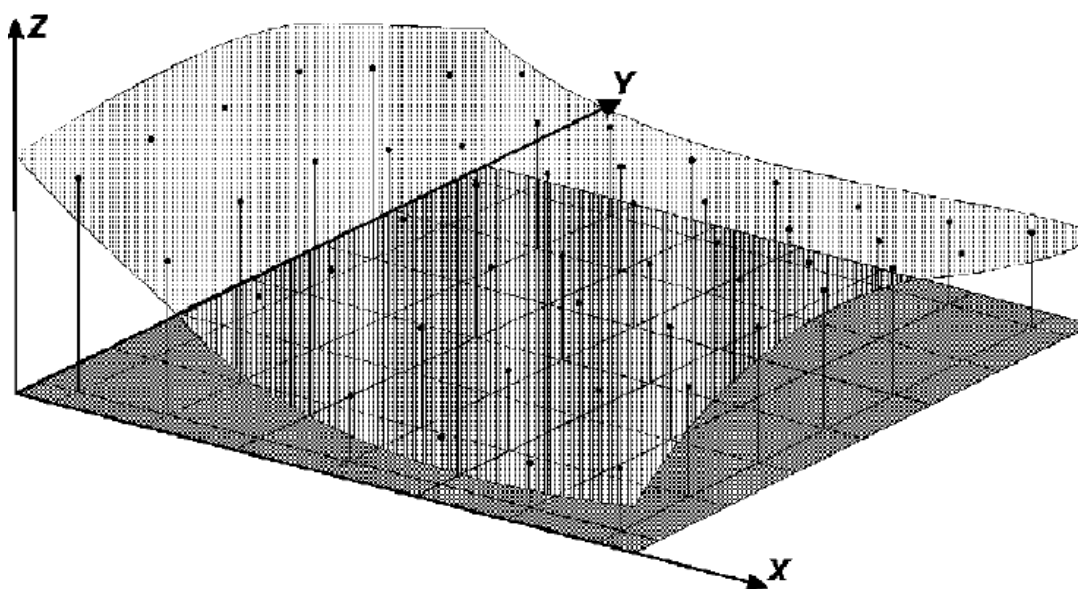


FIGURA 12 – EXEMPLO DE GRADE REGULAR.
Fonte: CÂMARA e FELGUEIRAS (2004).

Durante o processo de construção do modelo, para se obter as posições planialtimétricas dos nós da grade, torna-se necessária a execução de uma estimativa, uma vez que os dados após a fase de aquisição estão normalmente dispostos de maneira dispersa e irregular. A estimativa é o processo de determinação da ordenada “z” num determinado ponto da superfície, a partir de um

conjunto ou subconjunto de pontos amostrais vizinhos. Na construção do modelo por grade, portanto, substitui-se o conjunto de pontos amostrais por uma grade de pontos, cujos valores de “z” nos nós são obtidos por um processo de estimação dos pontos amostrais. Os métodos de estimação dos nós da grade serão discutidos no próximo capítulo, quando serão apresentadas as formas de construção dos modelos digitais de terreno (SIMÕES, 1993).

3.2.2 Interpoladores

Na obtenção de um MDT faz-se necessária a utilização de técnicas de interpolação dos dados de altimetria. O emprego dos interpoladores na confecção do modelo é utilizado para preencher os locais do terreno onde as informações altimétricas são inexistentes.

Um princípio básico, compartilhado por todos os métodos de interpolação é que pontos próximos tendem a ter características semelhantes do que pontos distantes. Esses métodos podem ser caracterizados como (BURROUGH, 1986):

Determinísticos ou probabilísticos: Eles são baseados diretamente nos valores medidos na vizinhança e/ou fórmulas matemáticas aplicadas a estes mesmos valores. Os métodos geoestatísticos são modelos estatísticos probabilísticos que incluem autocorrelação, a qual expressa a intensidade de similaridade entre as amostras medidas em relação à distância e direção.

Locais ou globais: Os interpoladores globais determinam uma função que é aplicada em toda a região a interpolar; uma alteração num valor de entrada afeta o mapa inteiro. Os interpoladores locais aplicam algoritmos repetidamente a subconjuntos do conjunto total de pontos; uma alteração num valor de entrada afeta apenas o resultado de um subconjunto.

Transição gradual ou abrupta: Estes interpoladores produzem superfícies que variam de forma gradual ou abrupta.

Exatos ou aproximados: Os interpoladores exatos respeitam os valores da amostra sobre a qual o modelo é baseado, portanto, a superfície passa através de todos os pontos da amostra. Os interpoladores aproximados baseiam-se no fato de

que em muitas amostras existem tendências globais com variações suaves e simultaneamente flutuações locais que variam rapidamente.

YANG *et al* (2004) realizaram um estudo comparativo com os doze métodos de interpolação implementados no Software SURFER 8.0 em um experimento com MDT, são eles:

- Inverso do quadrado da distância
- Krigagem
- Mínima curvatura
- Método modificado de Shepard
- Vizinho Natural
- Vizinho mais próximo
- Regressão polinomial
- Função de Base radial
- Triangular com interpolação Linear
- Média móvel
- Dados métricos
- Polinomial local

Os métodos foram comparados entre si analisando a precisão de cada um e o tempo computacional utilizado no processamento das informações.

A conclusão obtida foi que não existe um melhor método de interpolação, pois tudo dependerá das circunstâncias de cada situação. Porém alguns métodos se destacaram negativamente em relação aos outros: Regressão Polinomial, Dados Métricos e Polinomial Local obtiveram os maiores valores de desvios padrão; Função de Base Radial, Krigagem e Inverso do Quadrado da Distância obtiveram os maiores tempos de processamento. Os demais métodos atingiram resultados relativamente semelhantes entre si.

SOUZA (2002) afirma que o algoritmo Inverso do Quadrado da Distância é o que melhor representa a superfície do solo para a geração do MDT, uma vez que ele possui a característica de suavizar a superfície em estudo.

BOTELHO *et al* 2005 compararam os resultados entre os interpoladores Vizinho Mais Próximo e o Inverso do Quadrado da Distância, em dados de Laser Scanner e verificaram que o primeiro obteve um resultado mais condizente com a superfície física do terreno. Todavia, cabe ressaltar que este trabalho foi realizado num local de pequena inclinação, assim sendo, não se pode desmerecer o resultado do interpolador Inverso do Quadrado da Distância para locais de médias e grandes inclinações.

Baseado nas conclusões desses autores, pode-se afirmar que existe um certo grau uma subjetividade na escolha de um interpolador, pois cada um deles possui vantagens e desvantagens que muitas vezes se assemelham. Sendo assim optou-se pela escolha do Inverso do Quadrado da Distância para as aplicações nesse trabalho, pois esse interpolador além de representar melhor a superfície do solo apresenta um baixo tempo de processamento.

3.2.3 Cálculos dos volumes

O volume de um MDT pode ser determinado através de métodos de integração numérica. Estes métodos consistem em determinar o valor de uma integral definida sob uma função, que nesse caso específico é definida pela superfície do terreno. O somatório desses valores ao longo de uma seção retorna ao valor do volume do MDT.

No software SURFER encontram-se implementados três métodos para cálculo de volumes, são eles:

A Regra dos Trapézios:

$$A_i = \frac{\Delta x}{2} [G_{i,1} + 2G_{i,2} + 2G_{i,3} + \dots + 2G_{i,nCol-1} + G_{i,nCol}] \quad (4)$$

$$Volume \approx \frac{\Delta y}{2} [A_1 + 2A_2 + 2A_3 + \dots + 2A_{i,nCol-1} + A_{i,nCol}] \quad (5)$$

A Regra de Simpson:

$$A_i = \frac{\Delta x}{3} [G_{i,1} + 4G_{i,2} + 2G_{i,3} + 4G_{i,2} + \dots + 2G_{i,nCol-1} + G_{i,nCol}] \quad (6)$$

$$Volume \approx \frac{\Delta y}{3} [A_1 + 4A_2 + 2A_3 + 4A_3 + \dots + 2A_{i,nCol-1} + A_{i,nCol}] \quad (7)$$

A Regra 3/8 de Simpson:

$$A_i = \frac{3\Delta x}{8} [G_{i,1} + 3G_{i,2} + 3G_{i,3} + 2G_{i,2} + \dots + 2G_{i,nCol-1} + G_{i,nCol}] \quad (8)$$

$$Volume \approx \frac{3\Delta y}{8} [A_1 + 3A_2 + 3A_3 + 2A_3 + \dots + 2A_{i,nCol-1} + A_{i,nCol}] \quad (9)$$

Onde:

Δx = Espaçamento do *grid* entre colunas

Δy = Espaçamento do *grid* entre linhas

$G_{i,j}$ = Valor do *grid* na linha *i* e coluna *j*

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LEVANTAMENTOS DE CAMPO

Os levantamentos geodésicos foram efetuados em 3 campanhas distintas (Fevereiro de 2006, Dezembro de 2007 e Abril de 2008), nas duas primeiras campanhas o esporão arenoso foi percorrido por toda sua extensão pela estação itinerante adquirindo informações a um intervalo de gravação de 3 segundos ao longo de secções com espaçamentos aproximadamente homogêneos (Figura 13). Na ultima campanha os levantamentos foram efetuados apenas em uma pequena parte do esporão, denominada Área Teste, mais detalhes na Seção 4.1.3

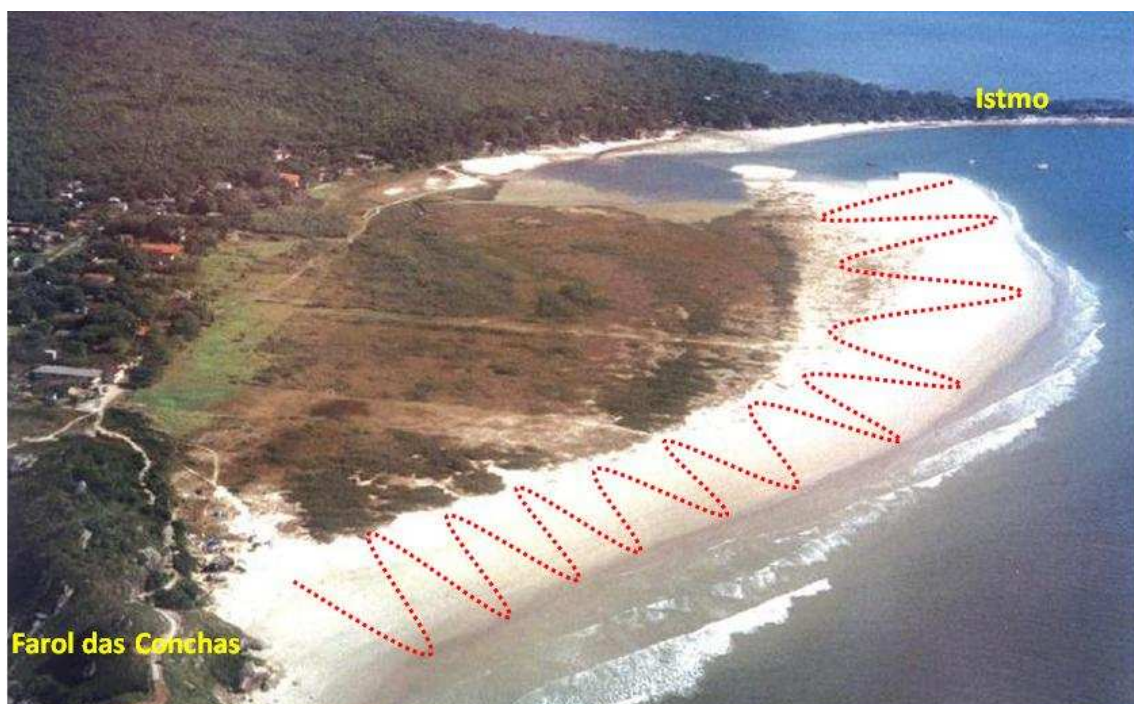


FIGURA 13 – ILUSTRAÇÃO DO CAMINHAMENTO REALIZADO NO ESPORÃO ARENOSO NOS ANOS DE 2006 E 2007

Fonte: Adaptado de IBAMA (2006, p. 385)

4.1.1 Equipamentos Utilizados


Os equipamentos empregados nas campanhas foram receptores GPS de uma e duas freqüências utilizados como estações base e itinerante nos levantamentos geodésicos.

As especificações técnicas de cada equipamento estão listadas nos Quadros 5 a 8.

PROMARK 2	
	Método de Posicionamento Relativo - (Precisão)
	Estático
	<ul style="list-style-type: none"> • Horizontal: 5mm + 1 ppm • Vertical: 10mm + 2 ppm
	Cinemático Contínuo
	<ul style="list-style-type: none"> • Horizontal: 12mm + 2,5 ppm • Vertical: 15mm + 2,5 ppm
Sintonia de Satélites	
12 canais independentes	Código C/A e fase da portadora L1


QUADRO 5 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PROMARK 2

Fonte: Manual do Promark 2 (ASHTECH, 2004)


ASHTECH Z12	
	Método de Posicionamento - (Precisão)
	Relativos: Estático, Estático Rápido, Pseudo- Cinemático
	5 mm + 1 ppm
	DGPS
	<1 m (PDOP <4)
Sintonia de Satélites	
12 canais independentes	Código C/A e fase das ondas portadora L1, L2

QUADRO 6 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO ASHTECH Z12

Fonte: Manual do ASHTECH Z12 (ASHTECH, 1995)

TRIMBLE 4000SSi		
	Método de Posicionamento Relativo - (Precisão)	
	Estático	Cinemático Contínuo
	<ul style="list-style-type: none"> • Horizontal: 5 mm + 1 ppm • Vertical: 10 mm + 1 ppm 	<ul style="list-style-type: none"> • Horizontal: 1 cm + 2 ppm (Linha de Base $\leq 10\text{Km}$) 2 cm + 1 ppm (Linha de Base $> 10\text{Km}$) • Vertical: 2 cm + 1 ppm (Linha de Base $\leq 10\text{Km}$)
	Obs: Acima de 5 satélites e utilizando as frequências L1 e L2	Obs: Intervalos de gravação para levantamentos contínuo é de 1 segundo e para <i>Stop & go</i> 2 segundos (min. 5 satélites).
	Sintonia de Satélites	
	9 canais independentes	Código C/A e fase das ondas portadora L1 e L2

QUADRO 7 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO TRIMBLE 4000SSi
 Fonte: Manual do TRIMBLE 4000SSi (TRIMBLE, 1998)

LEICA GPS 1200			
	Método de Posicionamento - (Precisão)		
	Relativo Estático	Relativo Cinemático	RTK
	Horizontal: 5 mm + 0.5 ppm Vertical: 10 mm + 0.5 ppm	Horizontal: 10 mm + 1 ppm Vertical: 20 mm + 1 ppm	Horizontal: 10 mm + 1ppm Vertical: 20mm + 1ppm
	Sintonia de Satélites		
	12 Canais L1 e 12 Canais L2	Código C/A e fase das ondas portadora L1, L2	

QUADRO 8 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO LEICA GPS 1200
 Fonte: Manual do Leica GPS 1200 (LEICA GEOSYSTEMS, 2006)

4.1.2 Estações Base

Foram empregadas nos levantamentos sete Estações Base, sendo quatro delas de monitoramento contínuo, duas situadas em Curitiba – PR (PARA e UNIC), uma em Imbituba – SC (IMBT) e uma em Cananéia – SP (NEIA); as demais (TOCA, CASA e CEM3) foram instaladas nas proximidades do levantamento (Figura 14). O Quadro 9 traz algumas informações complementares destas estações base no que se refere ao comprimento aproximado da linha de base e ao intervalo de gravação utilizado.

Nome	Informação	Localização	Linha de Base (≈km)	Intervalo de Gravação (seg.)
TOCA	Transportada de PARA e CEM3	Ilha do Mel	0,5	03
CASA	Transportada de PARA e NEIA	Ilha do Mel	0,7	03
CEM3	Transportada de PARA e POAL ¹	Pontal do Paraná-PR	6,0	15
NEIA	RBMC-IBGE	Cananéia-SP	70	15
PARA²	RBMC-IBGE	Curitiba-PR	94	15
UNIC	Manfra - UNICEMP	Curitiba-PR	107	01
IMBT	RBMC-IBGE	Imbituba-SC	300	15

QUADRO 9 – ESTAÇÕES BASE EMPREGADAS NOS LEVANTAMENTOS

Fonte: O autor (2008)

¹ Estação da RBMC localizada em Porto Alegre -RS

² A Estação PARA passa a ser designada Estação UFPR a partir de 08/05/2007.

No Quadro 10 encontram-se indicadas as coordenadas geodésicas (latitude, longitude e altitude elipsoidal) das Estações Base com seus respectivos desvios padrão (σ) em metros e a qual sistema de referência cada uma delas estão vinculadas.

Estação	Latitude (S)	σ (m)	Longitude (W)	σ (m)	Altitude Elipsoidal (m)	σ (m)	Sistema de Referência
TOCA	25°32' 30,78177"	0,002	48°18' 12,02976"	0,002	2,3 25	0,005	WGS 84
CASA	25°32' 27,94866"	0,005	48°18' 17,20718"	0,006	2, 831	0,015	SIRGAS 2000
CEM3	25°34' 26,76780"	0,018	48°21' 1,46895"	0,020	7,1 13	0,027	WGS 84
NEIA	25°01' 12,86150"	0,001	47°55' 29,88670"	0,001	6 ,060	0,004	SIRGAS 2000
PARA	25°26' 54,12690"	0,001	49°13' 51,43730"	0,002	9 25,77	0,002	SIRGAS 2000
UFPR	25°26' 54,12690"	0,001	49°13' 51,43720"	0,001	9 25,81	0,004	SIRGAS 2000
UNIC	25°26' 50,84240"	0,001	49°21' 33,44630"	0,001	960,15	0,011	SIRGAS 2000
IMBT	28°14' 05,42200"	0,001	48°39' 20,59700"	0,001	3 1,41	0,004	SIRGAS 2000

QUADRO 10 – COORDENADAS GEODÉSICAS DAS ESTAÇÕES BASE

Fonte: O autor (2008)

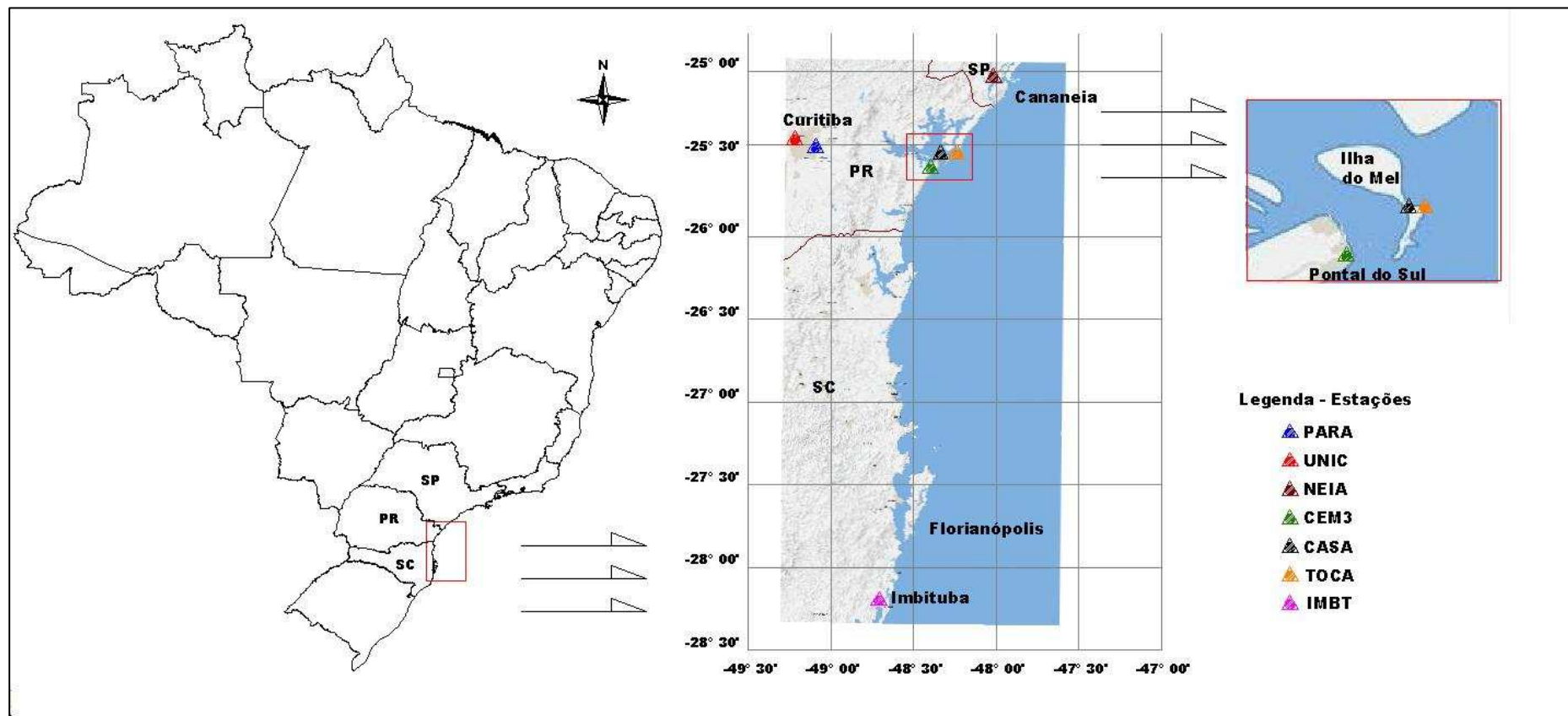


FIGURA 14 – ESQUEMA COM A DISPOSIÇÃO DAS ESTAÇÕES BASE
 Fonte: O autor (2008)

As Estações TOCA e CASA foram implantadas especificamente para o levantamento do esporão arenoso, ambas foram escolhidas estrategicamente nas proximidades da área levantada.

Buscou-se que as distâncias de cada uma dessas bases com a estação itinerante (linha de base) fossem mínimas, contribuindo dessa forma para uma solução cinemática com maior qualidade e melhor precisão no processamento dos dados. De posse desta solução obtém-se o volume do esporão arenoso que servirá de “volume padrão” para as análises a serem realizadas posteriormente.

Informações complementares sobre as estações implantadas consultar suas respectivas monografias no Apêndice I.

4.1.2.1 Determinação das Coordenadas Geodésicas das Estações Base

Conforme descrito no Quadro 9, as Estações TOCA, CASA e CEM3, utilizadas nos levantamentos, foram implantadas nas imediações da área de estudo. Empregou-se o método de posicionamento Relativo Estático, o qual consiste em utilizar no mínimo dois receptores GPS (de preferência de dupla frequência), no qual um deles deve estar ocupando um ponto com coordenadas conhecidas (estação de referência), o outro equipamento deve estar localizado no ponto onde se deseja obter as novas coordenadas.

Geralmente para os pontos de coordenadas conhecidas são utilizados vértices de alguma rede de monitoramento contínuo, sendo assim o usuário necessita de apenas um receptor para a determinação de coordenadas, desde que o mesmo seja de dupla frequência.

As Figuras 15 a 17 ilustram as triangulações efetuadas para a determinação das três estações base implantadas na área de estudo.

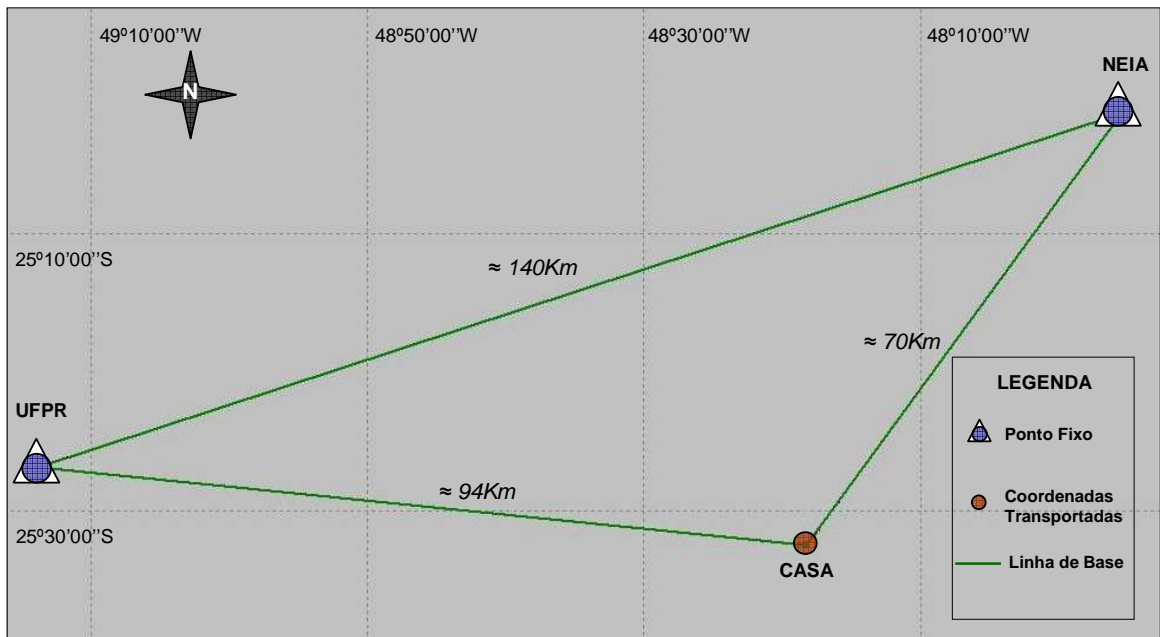


FIGURA 15 – DETERMINAÇÃO DAS COORDENADAS DA ESTAÇÃO CASA
Fonte: O autor (2008)

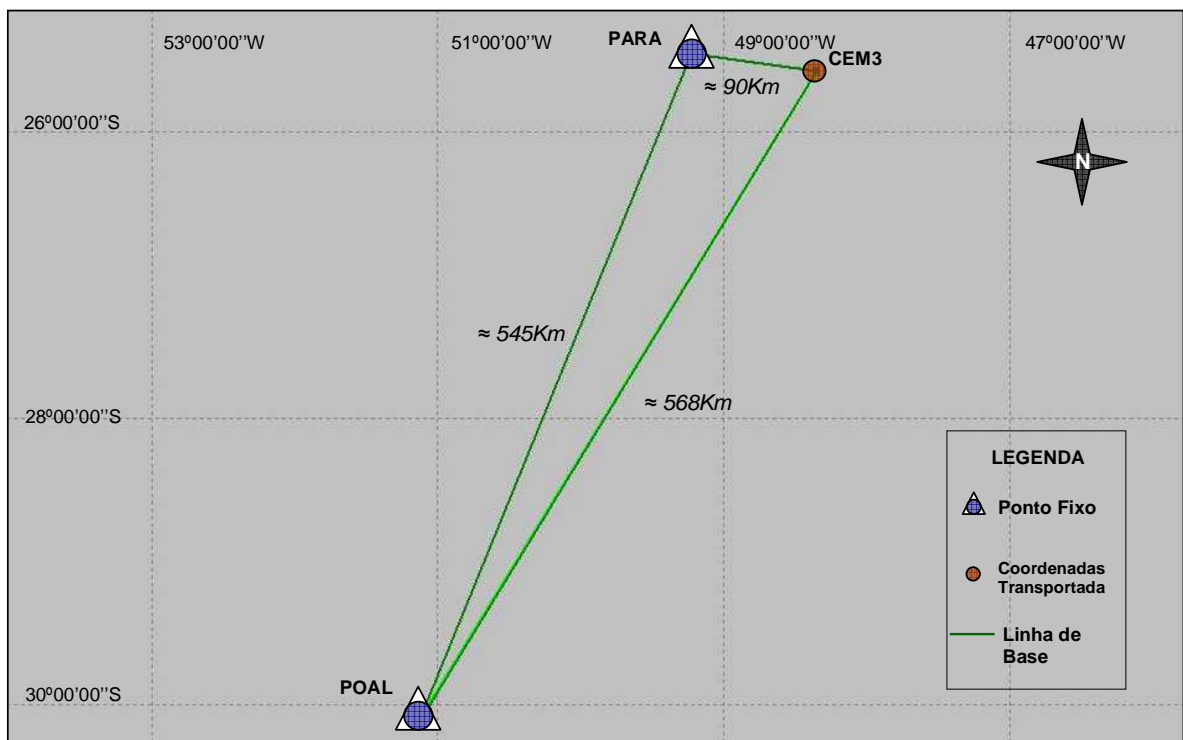


FIGURA 16 – DETERMINAÇÃO DAS COORDENADAS DA ESTAÇÃO CEM3
Fonte: O autor (2008)

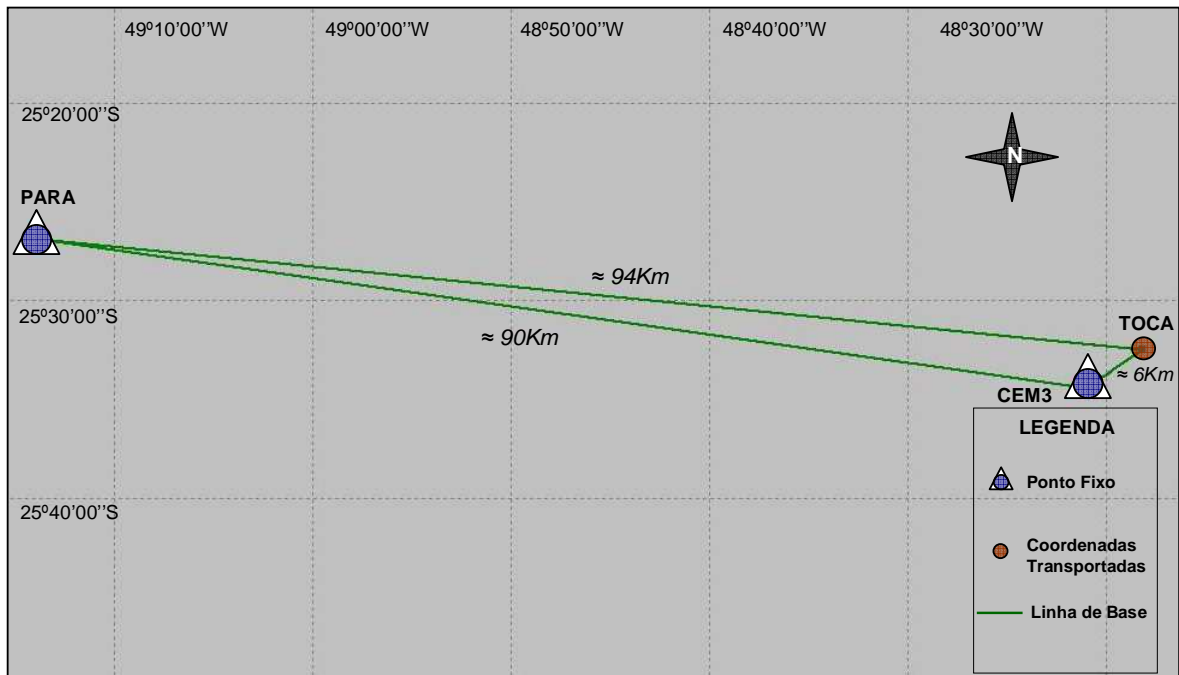


FIGURA 17 – DETERMINAÇÃO DAS COORDENADAS DA ESTAÇÃO TOCA
 Fonte: O autor (2008)

Os relatórios de ajustamento das coordenadas das três estações, após o processamento dos dados, encontram-se no Apêndice II.

4.1.3 Descrição das Campanhas

Os levantamentos geodésicos no esporão arenoso foram realizados em três campanhas distintas (Fevereiro de 2006, Dezembro de 2007 e Maio de 2008), cada uma delas com sua particularidade. O Quadro 11 apresenta as informações das campanhas.

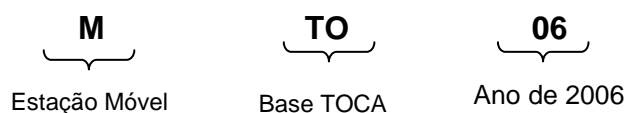
Na primeira coluna tem-se o ano do levantamento, na segunda o método de posicionamento empregado seguidas do equipamento utilizado e as estações de referência, nas colunas três e quatro, respectivamente. Na quinta coluna consta a solução empregada nos levantados realizados. Na sexta e última coluna encontra-se indicada a área em que os levantamentos foram efetuados.

ANO	Método de posicionamento	Equipamento na estação móvel	Estação Base/Referência	Solução ³	Área
2006	Relativo Cinemático	Promark 2	TOCA	MTO06	Esporão
			CEM3	MCE06	
			PARA	MPA06	
			UNIC	MUN06	
2007	Relativo Cinemático	Promark 2	CASA	MCA07	Esporão
			NEIA	MNE07	
			UFPR	MUF07	
			IMBT	MIM07	
2008	Absoluto	Ashtech Z12	-----	MAB08	Área Teste
	Relativo Cinemático	Ashtech Z12	CASA	MRC08	
	DGPS	Ashtech Z12	CASA	MDG08	
	RTK	Leica 1200	CAS1	MRT08	

QUADRO 11 – INFORMAÇÕES DAS CAMPANHAS.

Fonte: O autor (2008)

A nomenclatura das soluções se baseia no seguinte padrão:

Exemplo: **MTO06**

No ano de 2008 acrescenta-se a as iniciais do levantamento empregado, ao invés das iniciais da estação base, sendo:

Exemplo: **MRC08**

³ As Soluções consistem em designar o levantamento de acordo com a estação móvel e base utilizada, bem como o ano que ele foi efetuado. Para os anos de 2006 e 2007 tem-se a inicial da estação móvel seguida de duas letras representativas da estação base e posteriormente do ano

Considerando que no ano de 2008 a variável a ser analisada era o método de levantamento empregado, optou-se por executá-los não em toda extensão do esporão arenoso, mas sim em apenas parte dele, uma pequena área denominada Área Teste (Figura 18).



FIGURA 18 – ESPORÃO E ÁREA TESTE

Fonte: Imagem do Satélite IKONOS II adaptada pelo autor (2008)

Visando obter uma única trajetória percorrida na Área Teste, foram montadas num mesmo bastão as duas antenas GPS. Elas encontram-se excêntricas a 20 cm deste bastão, conforme indicado na Figura 19. As antenas instaladas são a ATX1230GG (Leica 1200) e a 700700B (Ashtech Z12).

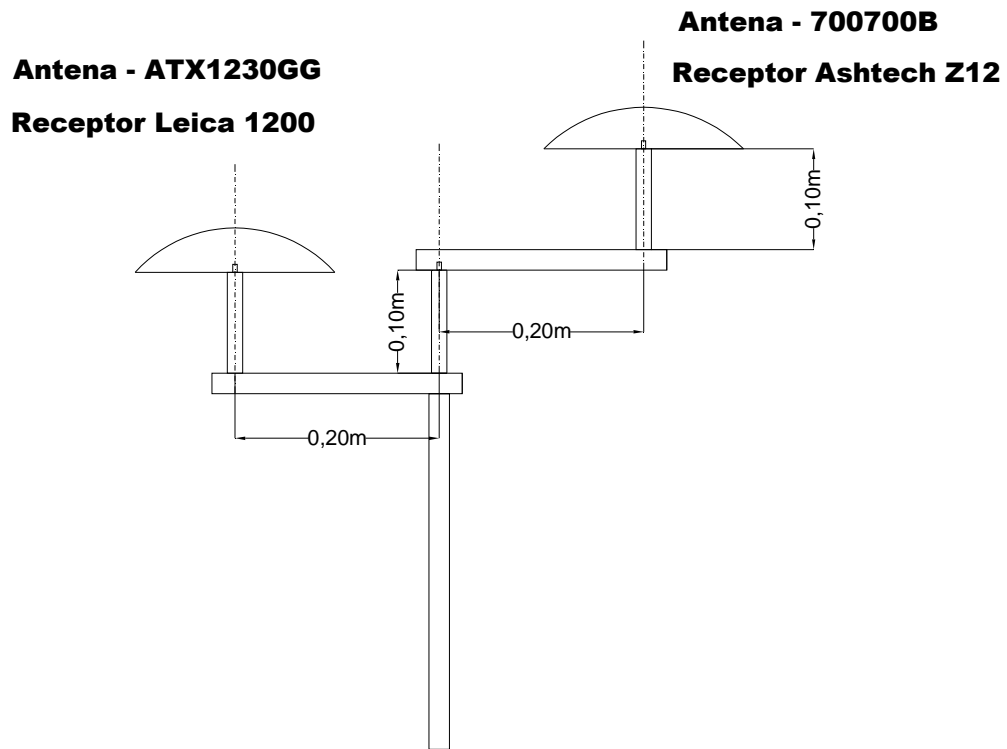


FIGURA 19 – ANTENAS GPS EM UM ÚNICO BASTÃO.
Fonte: O autor (2008)

Por se tratar de dois levantamentos diferenciais (Seção 3.1.5.3) realizados simultaneamente (RTK e DGPS), teve-se a necessidade de transportar mais uma base complementar à Estação CASA. Essa nova estação denominada CAS1 localiza-se a cerca de 3,5 m da CASA (Figura 18). O Quadro 12 apresenta as coordenadas geodésicas desta estação com seus respectivos desvios padrão em metros e a qual sistema de referência está vinculada.

Estação	Latitude (S)	σ (m)	Longitude(W)	σ (m)	Altitude Elipsoidal (m)	σ (m)	Sistema de Referência
CAS1	25° 32' 28,01589"	0,005	48° 18' 17,10608"	0,006	2,8 32	0,015	SIRGAS 2000

QUADRO 12 – COORDENADAS GEODÉSICAS DA ESTAÇÃO CAS1
Fonte: O autor (2008)

4.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Nesta etapa serão apresentados os processamentos dos dados GPS coletados nas três campanhas realizadas e a geração dos MDT's.

4.2.1 Dados GPS

Os dados GPS foram processados no programa *Ashtech Solutions 2.6* da *Thales Navigation*. Este programa possui a particularidade de classificar seus vetores processados de acordo com a solução das ambigüidades. As soluções são denominadas “Fixas” quando as ambigüidades são resolvidas na sua totalidade; “Parciais” quando acima de 50% das ambigüidades são resolvidas e “Flutuantes” quando possui abaixo de 50% das ambigüidades resolvidas.

Baseado na experiência de trabalhos anteriores, o limite de precisão dos levantamentos foi pré-definido como 0,1 m + 1 ppm tanto para horizontal quanto vertical, sendo que os dados brutos foram processados com efemérides precisas, obtidas junto ao IGS (*International GNSS Service*) gerando assim coordenadas vinculadas ao ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*).

Após o processamento dos dados geralmente as soluções parciais e flutuantes são descartadas, pois as mesmas extrapolam a precisão pré-definida. Entretanto elas são analisadas, visto que um dos propósitos deste trabalho é a análise da degradação do posicionamento por meio das coordenadas obtidas.

Os processamentos geraram quantidades diferentes de vetores. Os Quadros 13, 14 e 15 apresentam os números de vetores gerados de acordo com a resolução de suas ambigüidades, para as três campanhas realizadas.

		MTO06	MCE06	MPA06	MUN06
Ambigüidade (15 segundos)	Fixas	752	753	-	-
	Parciais	-	-	752	239
	Flutuantes	5	4	5	518
	Total	757	757	757	757
Ambigüidade (3 segundos)	Fixas	3760	-	-	2592*
	Parciais	-	-	-	1196
	Flutuantes	28	-	-	1395
	Total	3788	-	-	3788

QUADRO 13 – NÚMERO DE VETORES CLASSIFICADOS EM FUNÇÃO DAS AMBIGÜIDADES (2006)
Fonte: O autor (2008)

		MCA07	MNE07	MIM07	MUF07
Ambigüidade (15 segundos)	Fixas	317	-	-	-
	Parciais	-	215	218	209
	Flutuantes	1	103	100	109
	Total	318	318	318	318

QUADRO 14 – NÚMERO DE VETORES CLASSIFICADOS EM FUNÇÃO DAS AMBIGÜIDADES (2007)
Fonte: O autor (2008)

		MRC08
Ambigüidade (15 segundos)	Fixas	366
	Parciais	-
	Flutuantes	-
	Total	366

QUADRO 15 – NÚMERO DE VETORES CLASSIFICADOS EM FUNÇÃO DAS AMBIGÜIDADES – ÁREA TESTE (2008)
Fonte: O autor (2008)

No Quadro 13 percebe-se que com o processamento dos dados para um intervalo de gravação igual a 15 segundos, na solução MTO06 houve 752 soluções com ambigüidades fixas e 753 fixas na MCE06. Na MPA06 752 soluções parciais e para a MUN06 obteve-se uma quantidade de 518 soluções flutuantes. Ressalta-se

que para as linhas de base mais curtas (Quadro 9) obtiveram-se as melhores soluções possíveis quanto às ambigüidades.

No Quadro 14 verifica-se que praticamente 100% das soluções são fixas com a solução MCA07. As demais (MNE07, MIM07 e MUF07) apresentam em média 214 soluções parciais e 104 flutuantes.

No Quadro 15 todas as soluções foram obtidas com ambigüidades fixas.

4.2.2 Geração dos MDT's

As coordenadas geodésicas foram convertidas em UTM e interpoladas no programa SURFER versão 8.01 dando origem aos Modelos Digitais de Terreno do esporão arenoso. Este procedimento buscou computar o volume em cinco diferentes subáreas retangulares com maiores variações altimétricas distribuídas no esporão arenoso ao longo de sua formação (Figura 20).

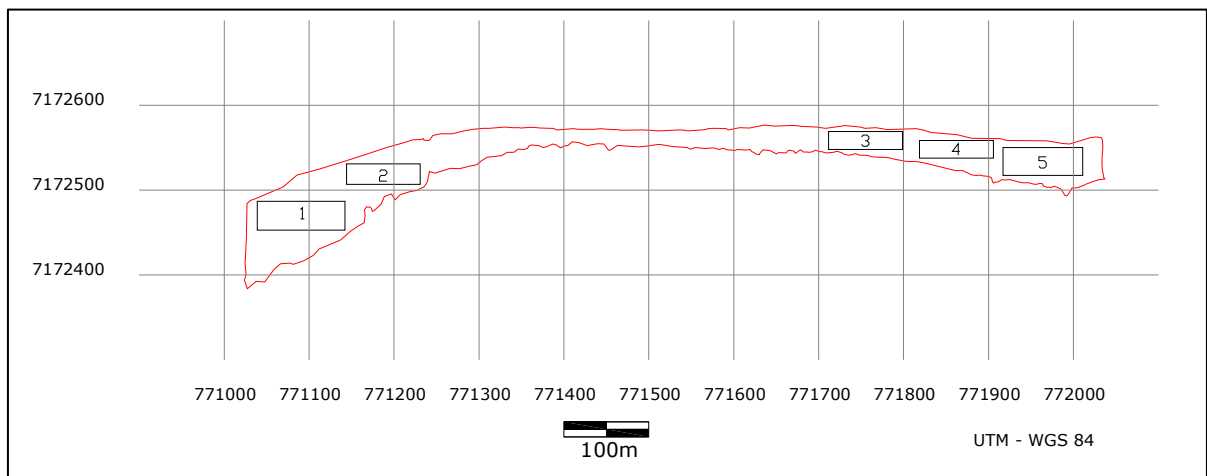


FIGURA 20 – POSIÇÃO DAS SUBÁREAS NO ESPORÃO
Fonte: O autor (2008).

A entrada de dados no SURFER é feita a partir de uma lista de coordenadas plano-retangulares que originam uma grade regular (*grid*) para as subáreas definidas (Figura 21). Para a elaboração de uma grade regular é necessária a utilização de um interpolador, visto que os dados foram coletados em campo de forma irregular.

Dentre os doze tipos de interpoladores implementados no SURFER, o “Inverso do Quadrado da Distância” foi adotado nos cálculos, conforme abordado na Seção 3.2.2.

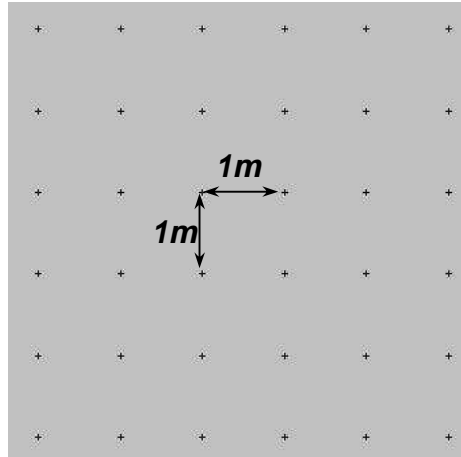


FIGURA 21 – GRADE REGULAR DAS SUBÁREAS
Fonte: O autor (2008).

A partir dos *grids* interpolados foi possível calcular o volume definido entre duas superfícies para cada subárea. Uma superfície é definida por um plano qualquer convencionado a passar pela cota ou altura $h = 0$, a outra é se trata da própria superfície geradora do MDT (Figura 22).

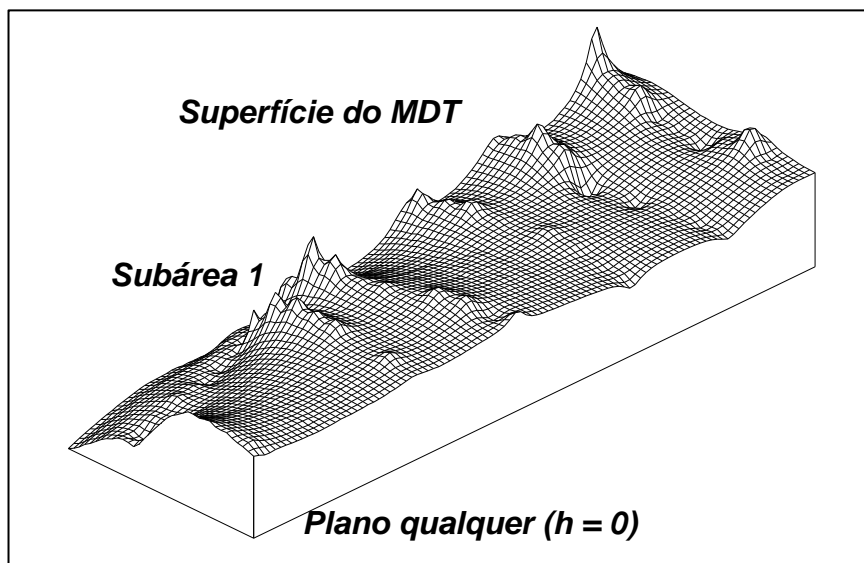


FIGURA 22 – SUPERFÍCIES DEFINIDAS NA SUBÁREA 1
Fonte: O autor (2008)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados e discutidos os resultados obtidos com o processamento dos dados coletados (Seção 4.2.1) nas três campanhas realizadas (Quadro 11). Também serão expostas as análises volumétricas do esporão arenoso e as análises dos MDT's para as diferentes campanhas

5.1 ANÁLISE DAS COORDENADAS PROCESSADAS

5.1.1 Campanha de 2006

Com o processamento dos dados coletados (Seção 4.2.1) procedeu-se uma análise das coordenadas geodésicas (φ = Latitude, λ = Longitude, h = Altitude Elipsoidal). Os resultados obtidos quantificam, a partir dos desvios padrão, os níveis de degradação do posicionamento de acordo com cada uma das soluções efetuadas em 2006 (MTO06, MCE06, MPA06, MUN06) (Quadro 13).

Nas Tabelas 1 e 2 encontram-se indicados os valores máximos, mínimos e médios dos desvios padrão para as coordenadas geradas, bem como o desvio tridimensional calculado a partir da Equação 10:

$$\sigma_{3D} = \sqrt{\sigma_{\phi}^2 + \sigma_{\lambda}^2 + \sigma_h^2} \quad (10)$$

Onde:

- σ_{3D} : Desvio tridimensional;
- σ_{ϕ} : Desvio padrão da Latitude;
- σ_{λ} : Desvio padrão da Longitude;
- σ_h : Desvio padrão da Altitude Elipsoidal.

Cabe ressaltar que o desvio tridimensional foi uma maneira de unificar a degradação do posicionamento em um único valor. Sendo assim cada coordenada passaria a ter apenas um valor de desvio padrão descrevendo suas três componentes:

- ϕ = Latitude Geodésica
- λ = Longitude Geodésica, e
- h = Altitude Elipsoidal.

TABELA 1 – VALORES MÁX., MÍN. E MÉDIOS DOS DESVIOS PADRÃO EM 2006 (15s)

Solução	757 Coordenadas geradas (metros)											
	σ_{ϕ}			σ_{λ}			σ_h			σ_{3D}		
	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd
MUN06	4,445	0,113	0,190	2,870	0,095	0,157	2,986	0,227	0,351	6,075	0,299	0,433
MTO06	4,200	0,008	0,026	2,552	0,009	0,014	2,794	0,017	0,031	5,653	0,022	0,045
MPA06	23,626	0,103	0,299	23,626	0,095	0,218	23,627	0,213	0,392	40,922	0,260	0,557
MCE06	10,687	0,013	0,036	3,929	0,012	0,021	4,613	0,026	0,043	12,285	0,031	0,063

Fonte: O autor (2008)

TABELA 2 – VALORES MÁX., MÍN. E MÉDIOS DOS DESVIOS PADRÃO EM 2006 (3s)

Solução	3788 Coordenadas geradas (metros)											
	σ_{ϕ}			σ_{λ}			σ_h			σ_{3D}		
	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd
MUN06	4,469	0,113	0,189	2,870	0,095	0,158	3,490	0,227	0,351	6,083	0,299	0,433
MTO06	5,000	0,008	0,029	2,676	0,009	0,017	3,231	0,016	0,034	6,527	0,022	0,050

Fonte: O autor (2008)

Na Tabela 1 observa-se que os máximos erros nas coordenadas geodésicas foram obtidos para o MPA06 (Quadro 11). Na média do erro tridimensional constata-se um valor na ordem de 55,7 cm, 43,3 cm, 6,3 cm e de 4,5 cm para o MPA06, MUN06, MCE06 e MTO06, respectivamente. Constata-se que os valores crescem com o aumento da linha de base.

Com o emprego de diferentes intervalos de gravação dos dados verifica-se nas Tabelas 1 e 2 que a diferença entre o desvio tridimensional médio das soluções MTO06 (3s) e MTO06 (15s) é de 5 mm. As diferenças dos mesmos desvios nas soluções MUN06(3s) e MUN06(15s) são iguais a zero.

A Figura 23 apresenta os gráficos dos desvios padrão das Latitudes, Longitudes e Altitudes Elipsoidal das coordenadas referentes ao processamento com as diferentes linhas de base para um intervalo de gravação de dados de 15 segundos para as diferentes soluções (Quadro 11). Para uma melhor compreensão, as coordenadas discrepantes foram eliminadas das amostras para que os gráficos pudessem ser apresentados em uma mesma escala. Os resultados encontram-se nas Figuras 24 e 25.

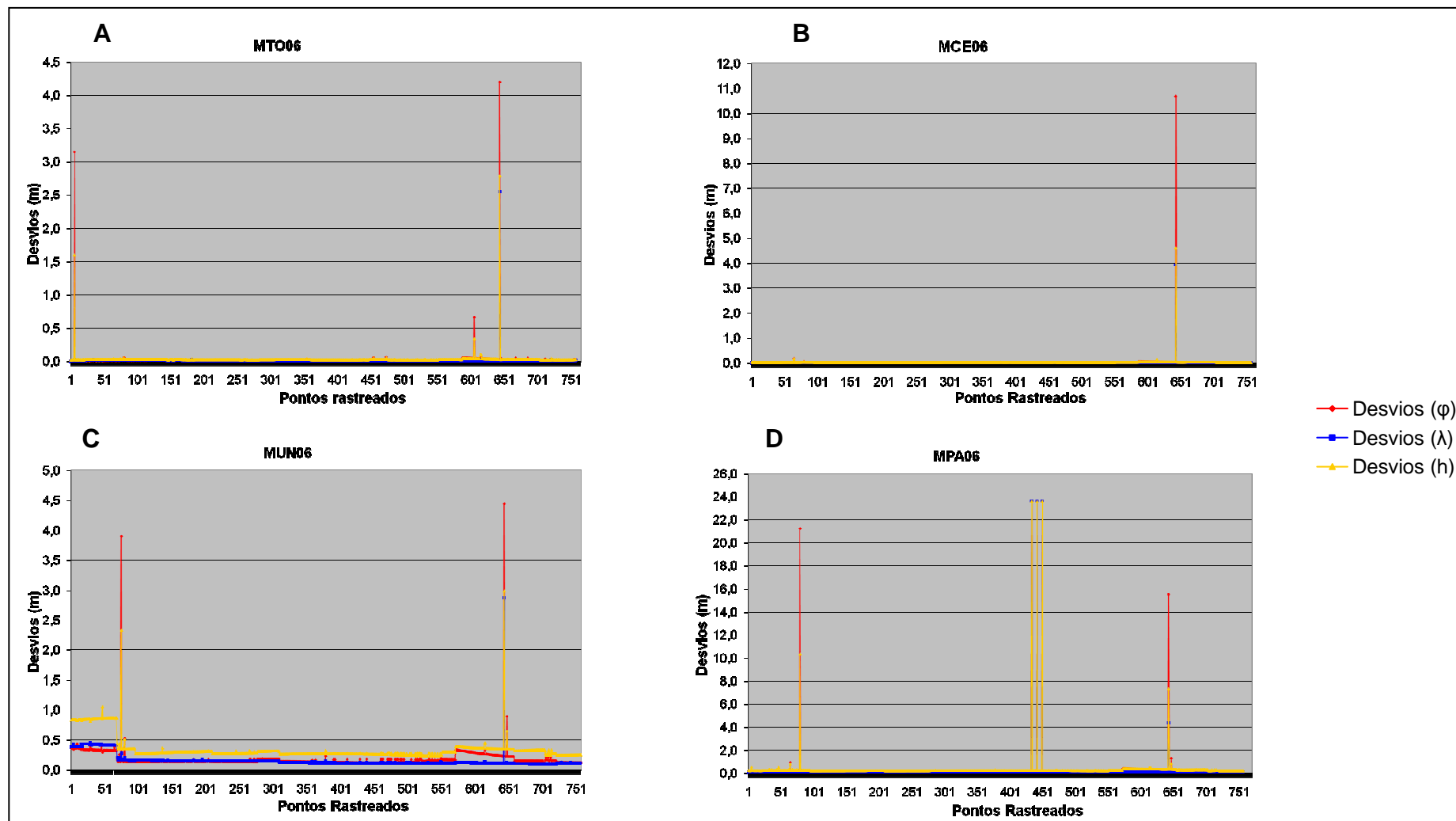


FIGURA 23 – GRÁFICOS DOS DESVIOS PADRÃO DAS COORDENADAS GERADAS (15s)
 Fonte: O autor (2008)

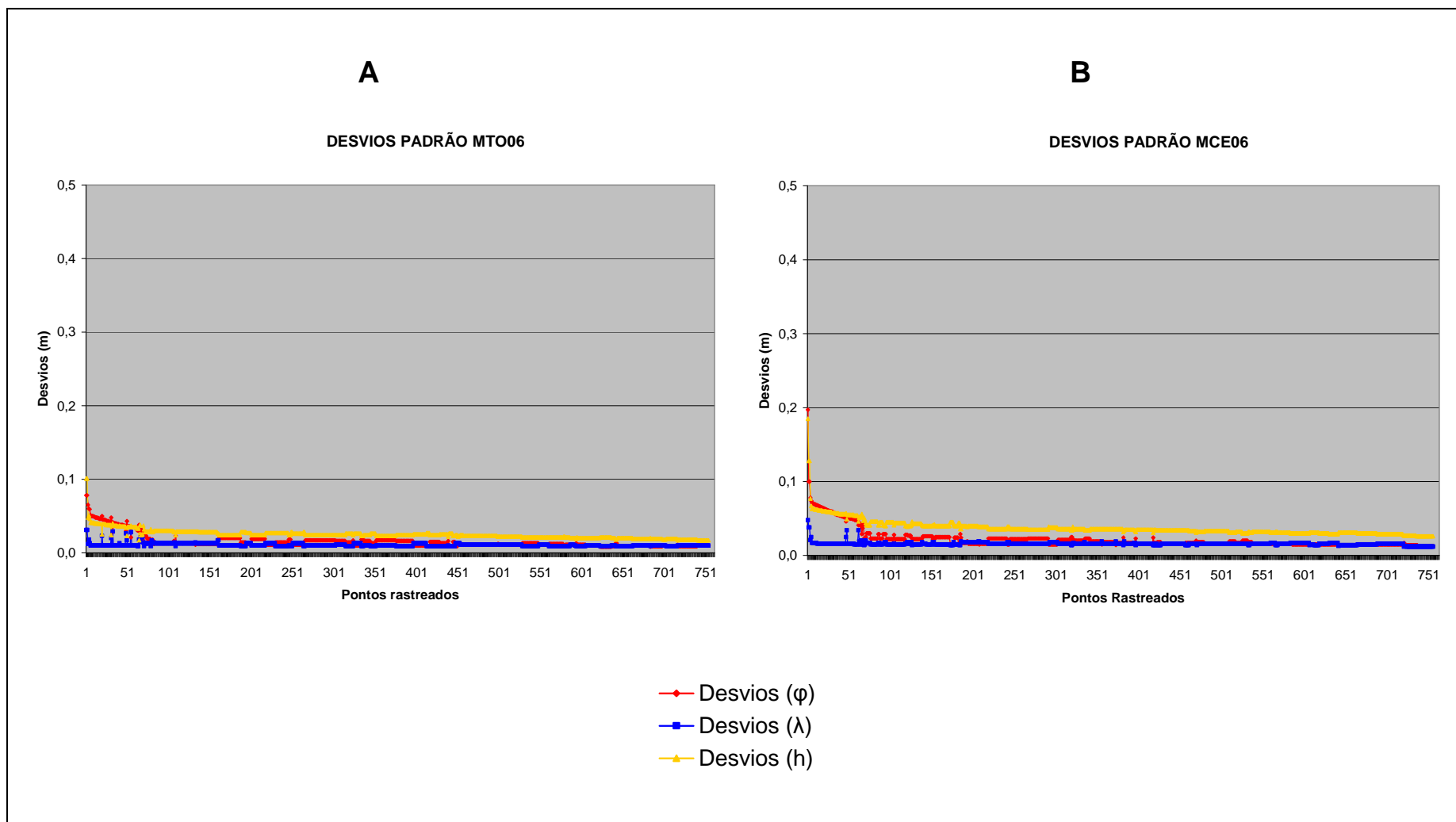


FIGURA 24 – GRÁFICOS ESCALONADOS DOS DESVIOS DE MTO06 E MCE06
Fonte: O autor (2008)

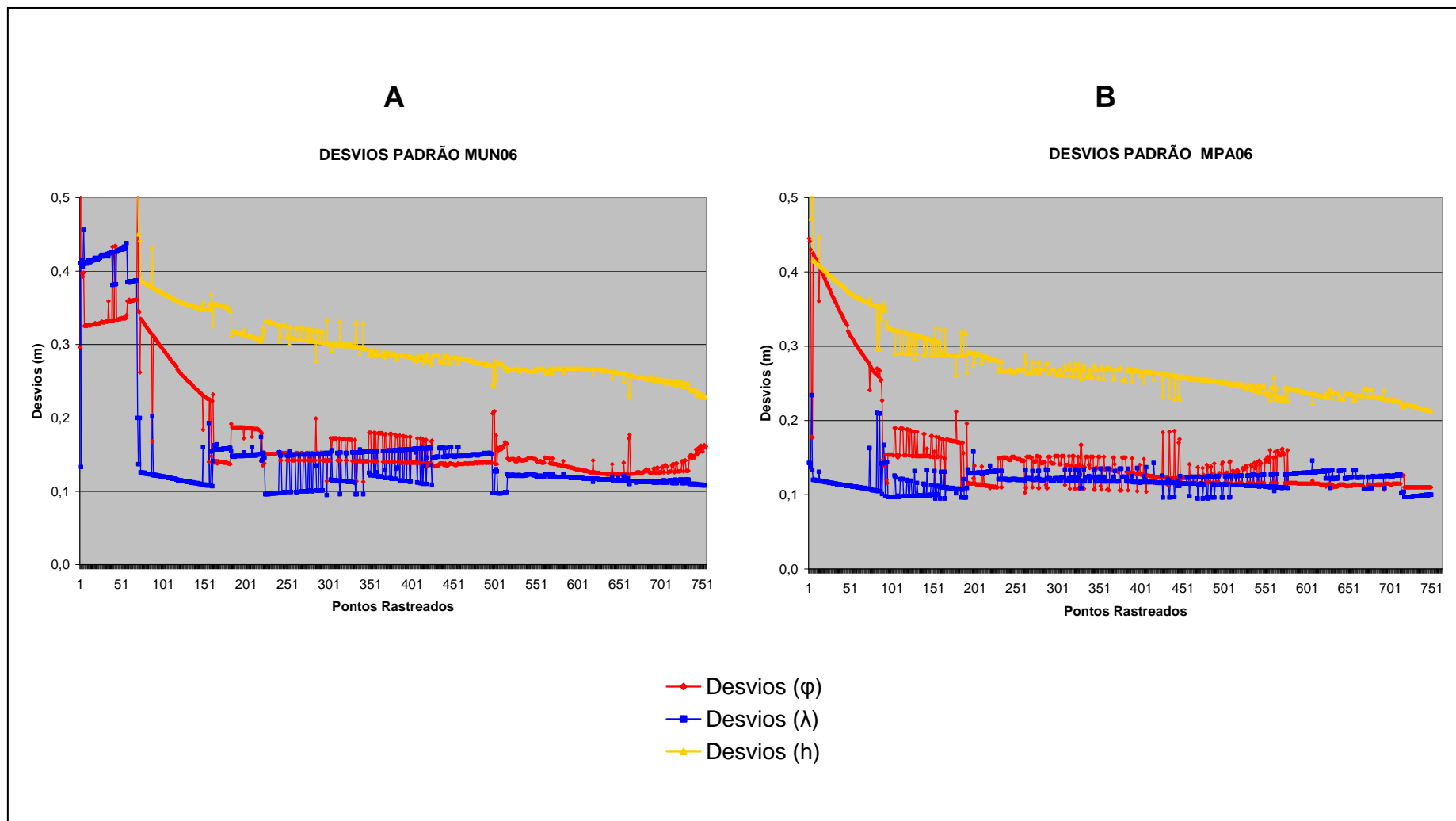


FIGURA 25 – GRÁFICOS ESCALONADOS DOS DESVIOS DE MUN06 E MPA06
Fonte: O autor (2008)

Observando os gráficos da Figura 23 pode-se verificar uma maior quantidade de dados discrepantes nas soluções MUN06 e MPA06, identificados pelos picos nos gráficos, chegando a obter desvios padrão na ordem de 24 m em MPA06.

Analisando os gráficos das Figuras 24 e 25 nota-se que as maiores disparidades estão presentes nas soluções MUN06 e MPA06, (Figura 25 A e B), que por sua vez possuem as coordenadas oriundas de soluções de ambigüidades parciais e flutuantes (Quadro 13). Na Figura 24 A e B percebe-se que os desvios padrão das três componentes (ϕ , λ , h) das soluções MTO06 e MCE06 possuem em média valores em torno de 3 cm.

Análises estatísticas foram efetuadas de forma que pudessem ser avaliadas as diferentes soluções, para isso as coordenadas processadas com 15 segundos de intervalo são submetidas a uma verificação de dispersão. Cada componente (Latitude, Longitude e Altitude) foi analisada separadamente, gerando gráficos de dispersão das coordenadas MTO06 (padrão) com as demais. Nas Figuras 26, 27 e 28 apresentam-se as dispersões para as latitudes e longitudes geodésicas e as altitudes elipsoidais, respectivamente, geradas pelas soluções MTO06 e MPA06. Foram consideradas todas as coordenadas geodésicas obtidas, isto é, independente do tipo de solução encontrada para as ambigüidades.

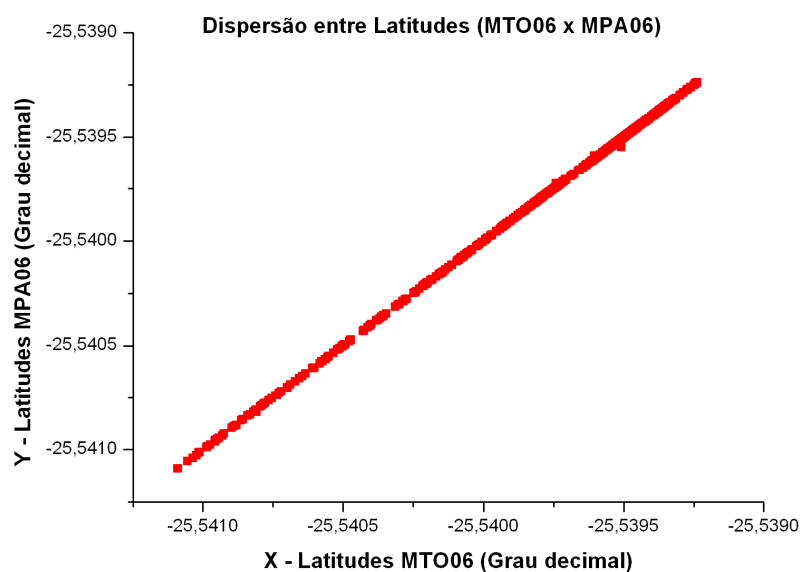


FIGURA 26 – DISPERSÃO ENTRE LATITUDES (MTO06 x MPA06)
Fonte: O autor (2008)

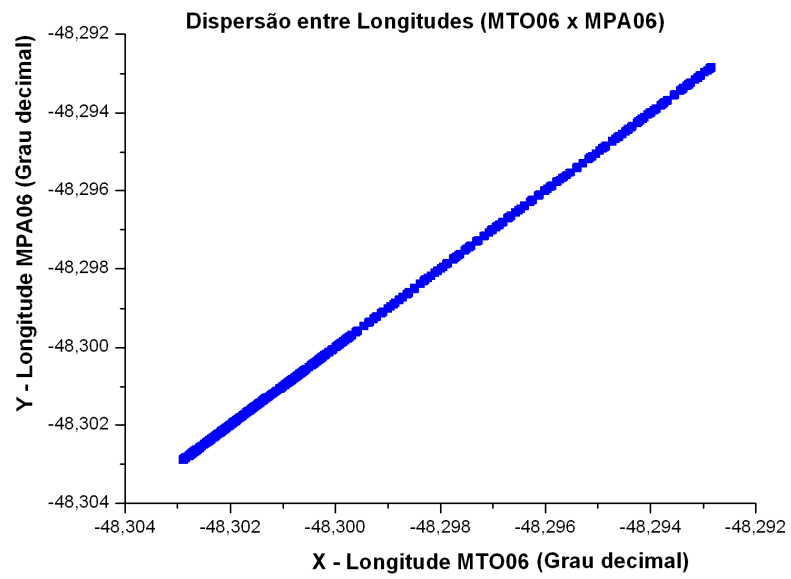


FIGURA 27 – DISPERSÃO ENTRE LONGITUDES (MTO06 x MPA06)
Fonte: O autor (2008)

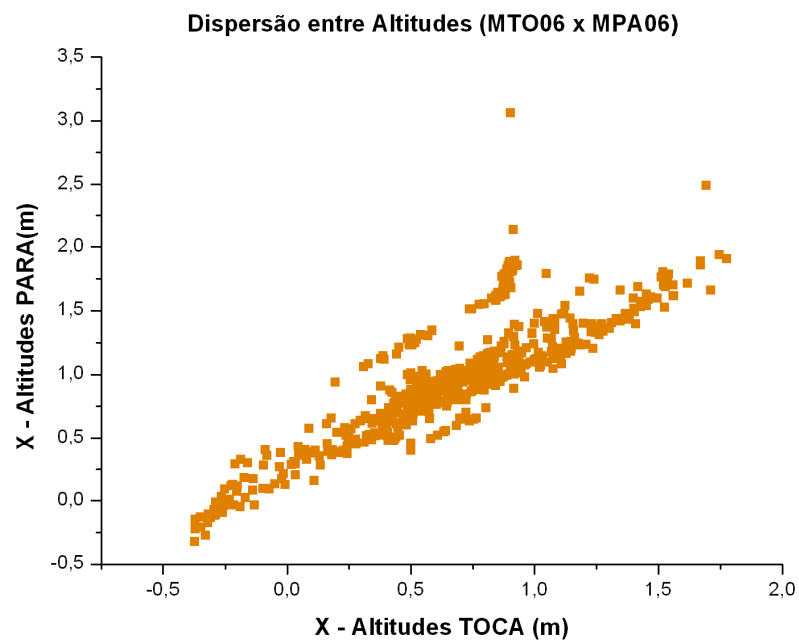


FIGURA 28 – DISPERSÃO ENTRE ALT. ELIPSOIDAIS (MTO06 x MPA06)
Fonte: O autor (2008)

Analisando os gráficos (Figuras 26 e 27), observa-se que na latitude e na longitude, a dispersão entre os seus valores praticamente não é visível. Na Figura 28 há dispersão entre as altitudes geométricas na situação analisada, obtendo-se valores na ordem de 2,5 metros.

A Figura 29 mostra as altitudes geométricas geradas para as quatro soluções (Quadro 13).

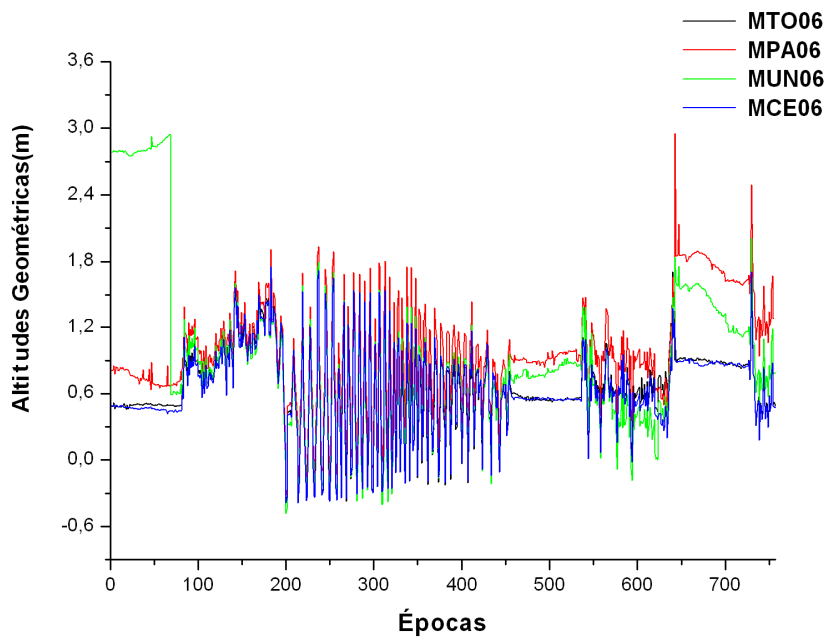


FIGURA 29 – ALTITUDES GEOMÉTRICAS DAS TRAJETÓRIAS
Fonte: O autor (2008)

Verifica-se que os valores de maior discrepância das altitudes são os obtidos com as trajetórias formadas pelas soluções MPA06 e MUN06, descritos pelos picos que aparecem no gráfico.

5.1.2 Campanha de 2007

As análises realizadas com os dados oriundos da campanha de 2007 são aplicadas a fim de quantificar a degradação do posicionamento relativo cinemático a partir do processamento realizado com as Estações Base CASA, NEIA, UFPR e IMBT (Quadro 10).

Conforme visto no Quadro 14, as ambigüidades de MCA07 foram resolvidas em praticamente 100% dos vetores, gerando assim 317 soluções fixas de um total de 318. Entretanto as soluções MNE07, MUF07, MIM07 possuem em média a mesma quantidade de vetores parciais e flutuantes (214 e 104, respectivamente). Essa semelhança entre as três soluções dificulta uma análise mais detalhada da degradação das coordenadas geradas em função da linha de base, que por sua vez pode ser melhor interpretada analisando os desvios das coordenadas geodésicas, estes apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 – VALORES MÁX., MÍN. E MÉDIOS DOS DESVIOS PADRÃO EM 2007(15s)

Solução	318 Coordenadas geradas (metros)											
	σ_{φ}			σ_{λ}			σ_h			σ_{3D}		
	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd
MCA07	3,159	0,006	0,024	0,051	0,007	0,011	1,591	0,016	0,032	3,537	0,020	0,044
MNE07	0,217	0,058	0,134	0,220	0,081	0,130	0,432	0,156	0,255	0,492	0,222	0,321
MUF07	23,926	0,100	1,912	23,728	0,065	0,540	23,768	0,204	1,291	41,236	0,259	2,522
MIM07	23,833	0,168	3,395	23,833	0,150	3,041	23,839	0,395	5,146	41,283	0,657	7,002

Fonte: O autor (2008)

Os valores médios do desvio tridimensional (σ_{3D}) apresentados na Tabela 3 expressam o desempenho da degradação das coordenadas geradas, seus valores elevam-se com o aumento da linha de base (Quadro 9).

Ainda observando os desvios tridimensionais na Tabela 3, percebe-se claramente a disparidade do seu valor na solução MIM07 (7,002 m) comparado com o demais, o que é justificável, visto que a linha de base em questão é de aproximadamente 300 km, cerca de 3 vezes maior que MNE07, MUF07 e 300 vezes maior que MCA07.

Quando os desvios tridimensionais das soluções MNE07, MUF07 são comparados entre si nota-se também uma discrepância entre seus valores (0,321 m x 2,522 m, respectivamente). Salienta-se que:

- As linhas de base das soluções MNE07 e MUF07 possuem seus comprimentos na mesma ordem de grandeza (70 km e 90 km, respectivamente);
- As estações NEIA e UFPR, geradoras das soluções estavam praticamente sob os mesmos satélites visíveis na data e hora da campanha de levantamentos (das 14:00 às 18:30 de 12/02/2007), conseqüentemente, com os DOP's similares, conforme apresentado nas Figuras 30 e 31. Cabe ressaltar que não foram realizados levantamentos de obstruções em nenhuma das estações.
- A estação base UFPR possui uma altitude geométrica igual a 925,87 m e a Estação base NEIA igual a 6,06 m (Quadro 10).

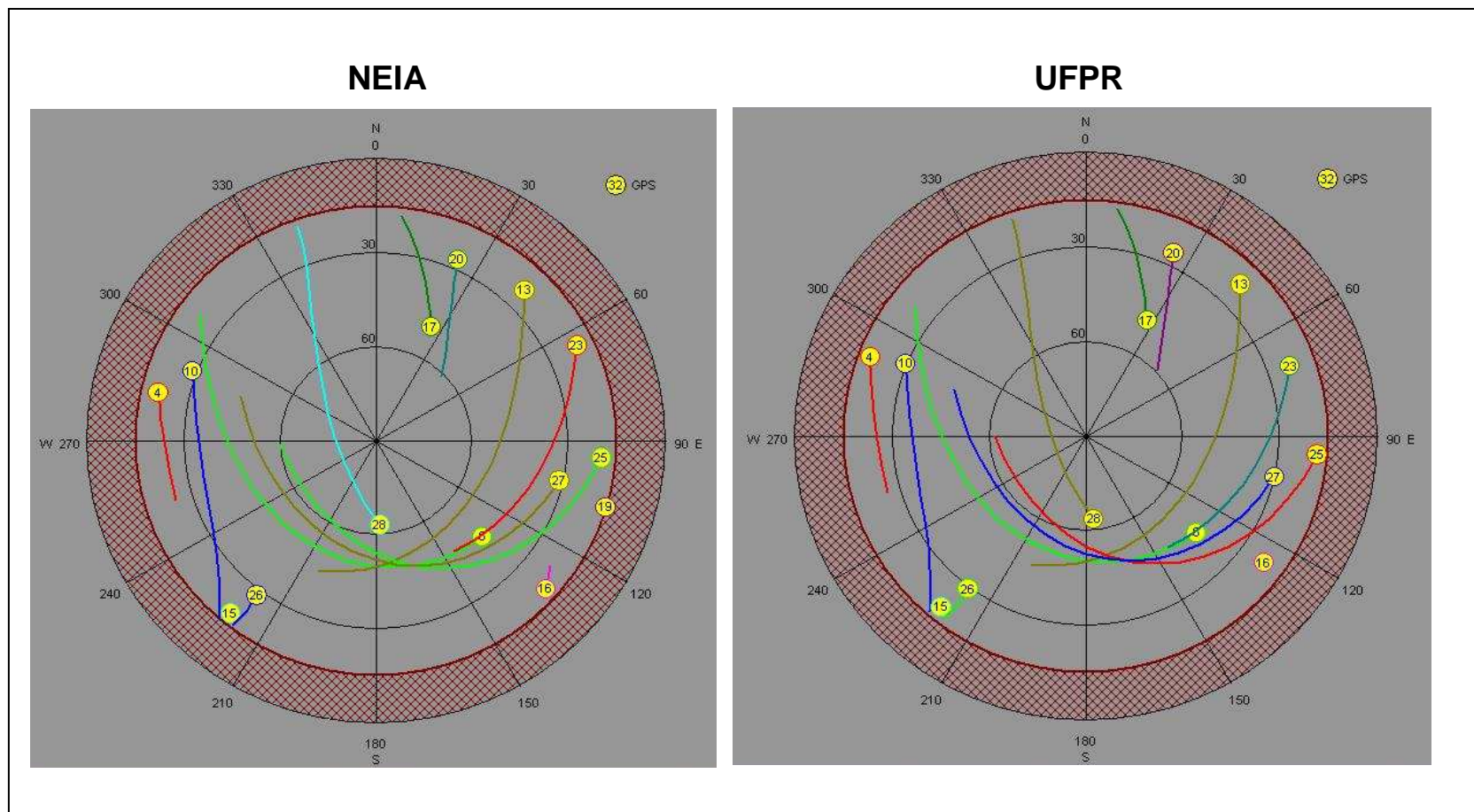


FIGURA 30 – DIAGRAMA DA CONSTELAÇÃO DE SATÉLITES GPS PARA AS ESTAÇÕES NEIA E UFPR⁴
 Fonte: O autor (2008)

⁴ Não levando em conta as obstruções no entorno das duas estações, o planejamento da missão para a data e hora da campanha indica praticamente os mesmos satélites visíveis para ambas estações.

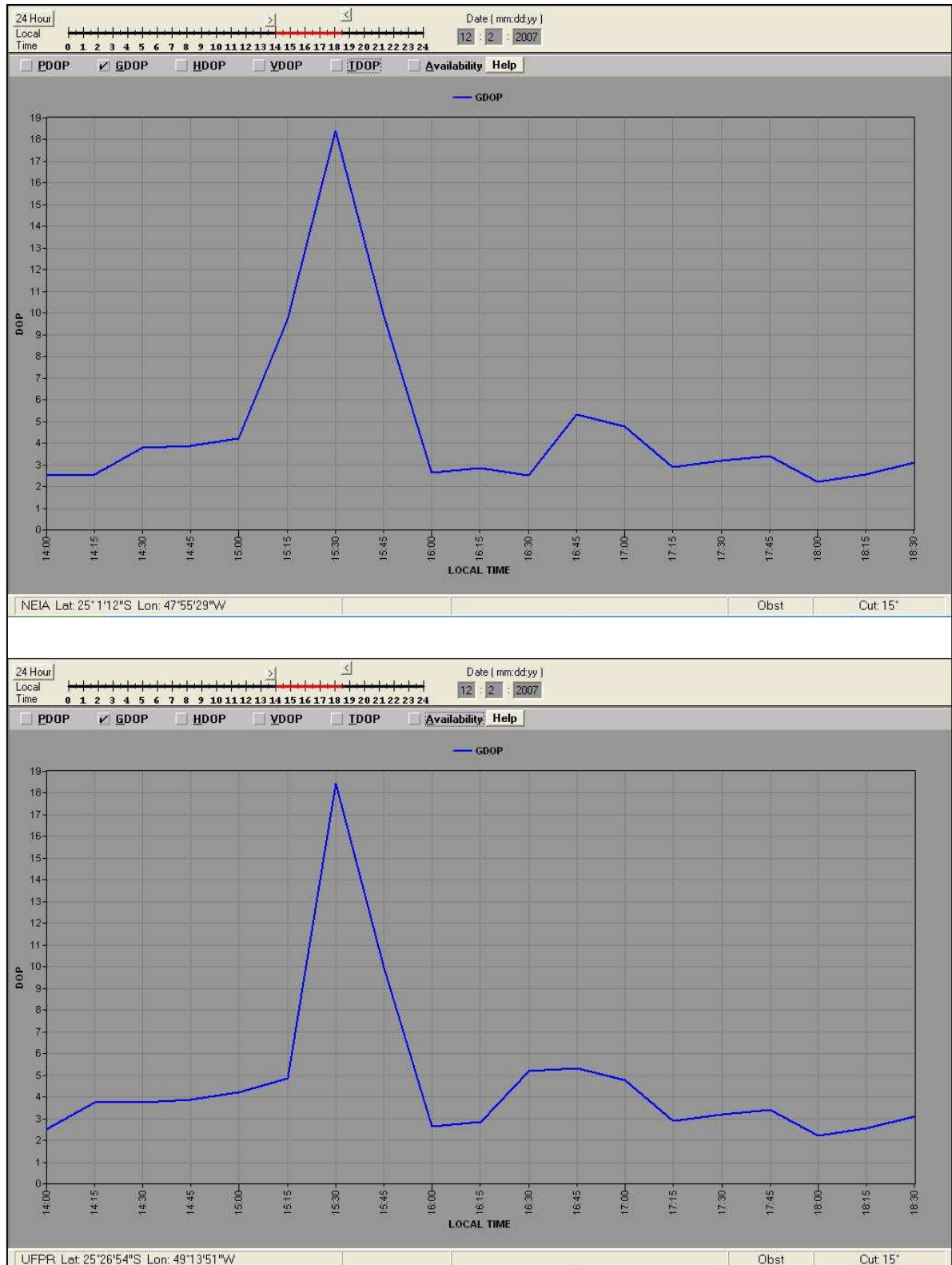


FIGURA 31 – GRÁFICOS DOS GDOP'S DAS ESTAÇÕES NEIA E UFPR
 Fonte: O autor (2008)

As linhas coloridas nos gráficos da Figura 30 representam as órbitas dos satélites visíveis com uma máscara de 15° com o horizonte.

Na Figura 31 percebe-se a similaridade entre os gráficos dos GDOP's, destacando um ponto crítico, onde o valor máximo é alcançado às 15:30.

Em face de que há uma significativa diferença das altitudes entre as estações base da área em estudo (Figura 32) pode-se associar a ela a diferença de degradação entre as soluções MNE07 e MUF07, quantificadas pelos desvios padrão da Tabela 3.

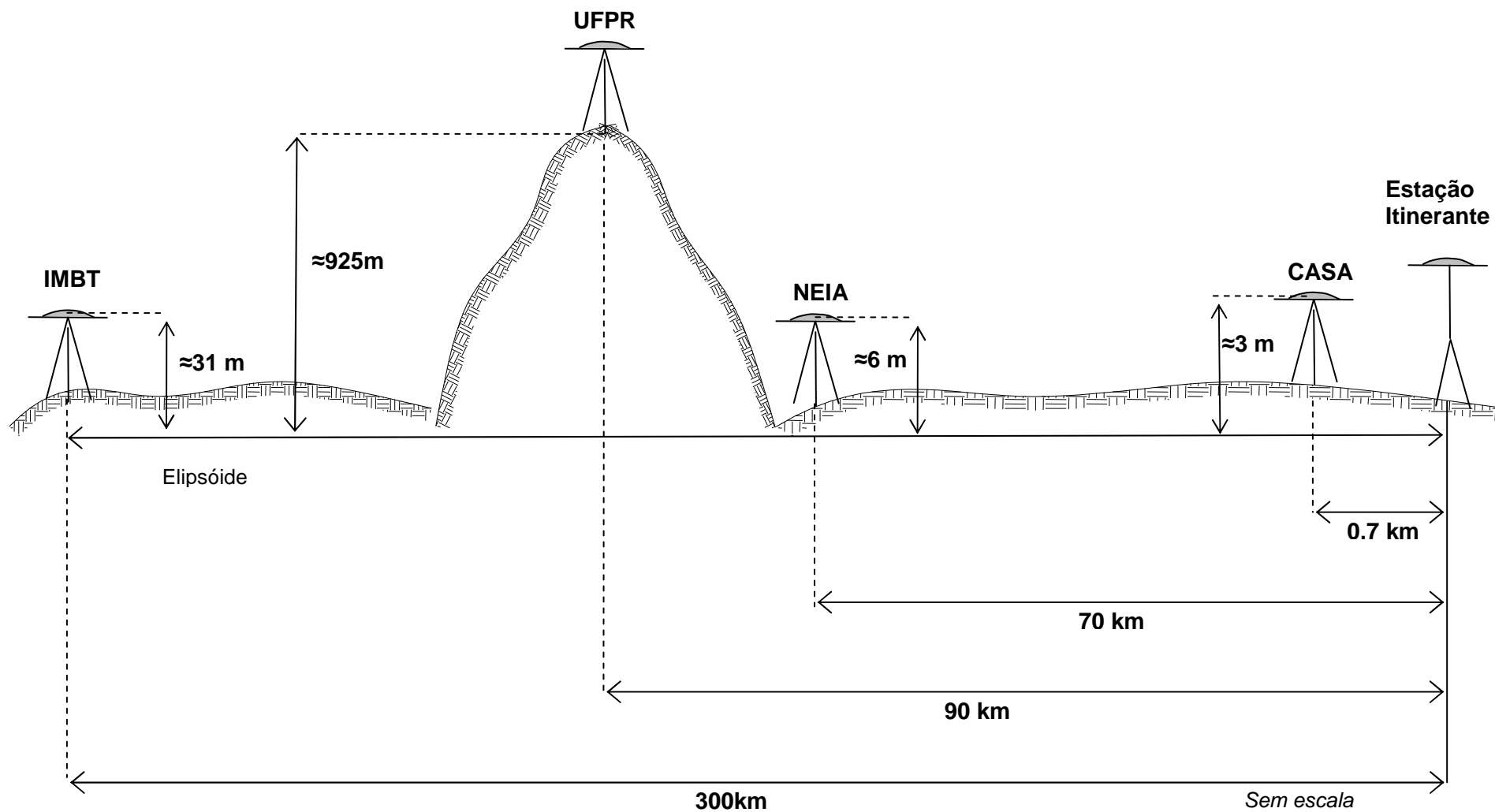


FIGURA 32 – ESQUEMA ILUSTRATIVO DA DISPOSIÇÃO DAS LINHAS DE BASE
 Fonte: O autor (2008)

As condições troposféricas a 925 metros de altitude apresentam diferentes características comparadas ao nível do mar, no que concerne à temperatura, pressão, umidade, etc. O que provavelmente pode ter influenciado nas soluções obtidas.

5.1.3 Campanha de 2008

Os resultados da campanha de 2008 concentram-se na análise das coordenadas obtidas com os diferentes métodos de levantamentos em parte do esporão arenoso.

A região denominada Área Teste compreende aproximadamente um retângulo de dimensões 57 m x 32 m situado na parte do esporão que apresenta as maiores variações relativas em altitudes. O levantamento originou uma quantia de 366 pontos rastreados simultaneamente pelos quatro métodos de posicionamento.

A Figura 33 apresenta o Esporão, a Área Teste e o caminhamento realizado pela estação móvel durante o levantamento.

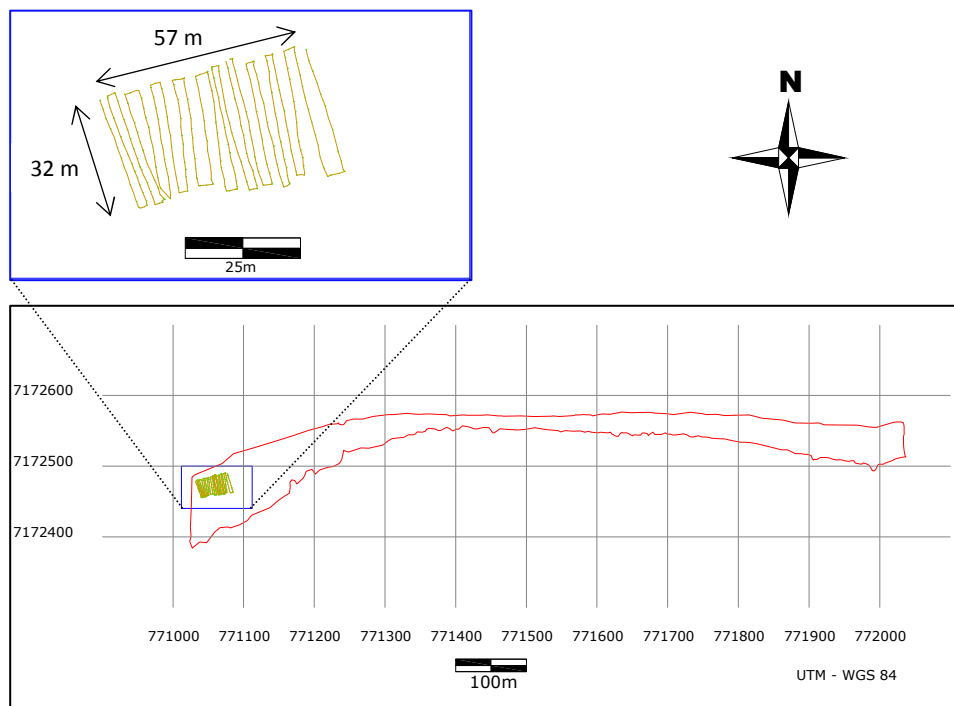


FIGURA 33 – CAMINHAMENTO DA ESTAÇÃO MÓVEL NA ÁREA TESTE
Fonte: O autor (2008)

Na Tabela 5 encontram-se os valores das médias dos desvios padrão das coordenadas para cada método efetuado.

TABELA 4 – VALORES DOS DESVIOS PADRÃO EM 2008

MÉTODO	Médias dos Desvios (metros)			
	σ_{φ}	σ_{λ}	σ_h	σ_{3D}
MAB08	50	50	50	86,603
MRC08	0,012	0,009	0,017	0,023
MDG08	0,176	0,151	5,800	5,805
MRT08	0,006	0,006	0,015	0,017

Fonte: O autor (2008)

Conforme abordado na seção 4.1.3, o levantamento realizado na Área Teste foi efetuado com as duas antenas montadas em um único bastão. Para que as coordenadas pudessem ser comparadas efetuou-se a correção dos *off-sets* (Figura 34), visto que as antenas estavam excêntricas a 20 cm do bastão. Para corrigir os *off-sets* utilizou-se uma rotina desenvolvida em linguagem Matlab que realiza o deslocamento das coordenadas convertidas em UTM (MRT08) rastreadas com o equipamento Leica 1200, para o mesmo eixo das demais (MRC08, MDG08, MAB08), rastreadas com o receptor Ashtech Z 12.

Com todas as coordenadas concentradas em um único eixo, as comparações das coordenadas MRT08, MDG08, MAB08 com a MRC08 puderam ser efetuadas. Optou-se pela utilização das coordenadas MRC08 como referência pelo fato das mesmas serem pós-processadas, garantindo dessa forma uma condição mais favorável para um resultado final mais preciso.

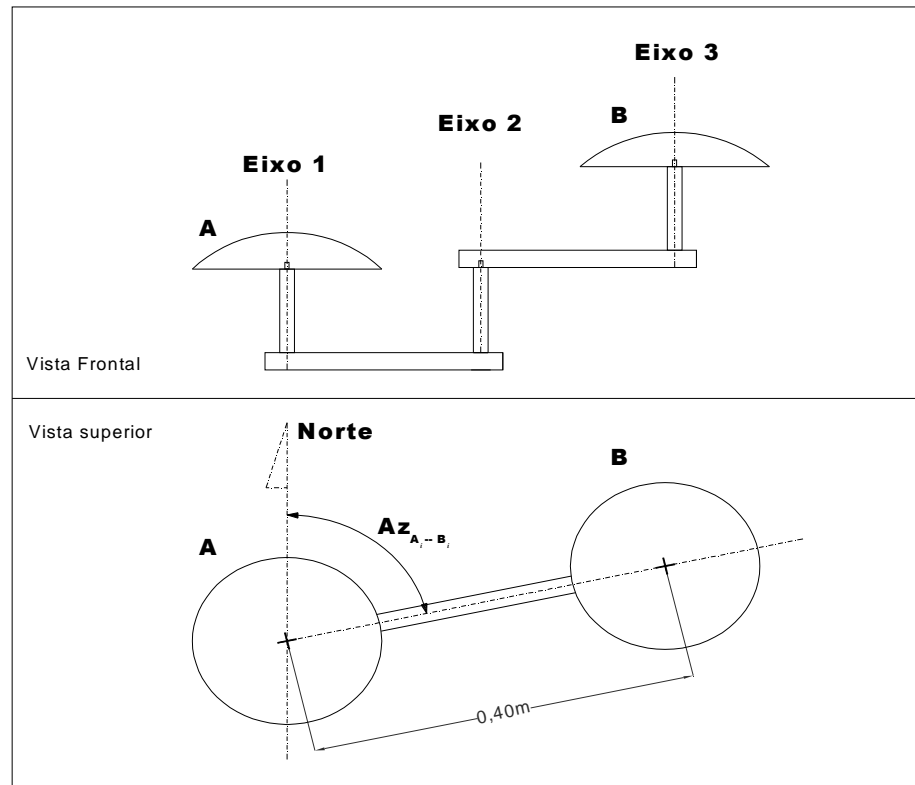


FIGURA 34 – DISPOSIÇÃO DAS ANTENAS UTILIZADAS NO RASTREIO
 Fonte: O autor (2008)

A antena **A** representa o modelo ATX1230GG utilizado no GPS Leica 1200 no levantamento RTK, a antena **B** refere-se ao modelo 700700B da Ashtech.

O Azimute **Az** da direção **AB** pode ser determinado a partir da Equação 11, onde se calcula primeiramente o rumo da direção que é convertido para azimute em função do quadrante em que o mesmo se encontra:

$$Az_{A_i \rightarrow B_i} = \text{Tan}^{-1} \left(\frac{E_{B_i} - E_{A_i}}{N_{B_i} - N_{A_i}} \right) \quad (11)$$

Onde:

E_{A_i}, N_{A_i} = Coordenadas UTM de A no intervalo de gravação i ;

E_{B_i}, N_{B_i} = Coordenadas UTM de B no intervalo de gravação i .

De posse do valor da linha de base que une as duas antenas (0,4 m) procede-se realizando a correção dos *off-sets* entre os eixos 1 e 3 a partir das Equações 12 e 13:

$$E_{A_i}^c = E_{A_i} + 0,4 \text{sen}(Az_{A_i \rightarrow B_i}) \quad (12)$$

$$N_{A_i}^c = N_{A_i} + 0,4 \text{cos}(Az_{A_i \rightarrow B_i}) \quad (13)$$

Onde:

$$E_{A_i}^c, N_{A_i}^c = \text{Coordenadas UTM corrigidas no intervalo } i.$$

As análises comparativas entre as coordenadas da campanha de 2008 são feitas analisando as diferenças de cada componente das coordenadas geodésicas (φ , λ , h), convertidas para o sistema UTM (E, N, h).

As diferenças calculadas consistem em adotar como padrão as coordenadas da solução MRC08 e subtrair das mesmas os demais valores (MRT08, MDG08, MAB08), com o seu resultado final em valor absoluto, de acordo com as Equações 14 a 16:

$$\Delta E = (E_{\text{MRC08}} - E_i) \quad (14)$$

$$\Delta N = (N_{\text{MRC08}} - N_j) \quad (15)$$

$$\Delta h = (h_{\text{MRC08}} - h_k) \quad (16)$$

Onde:

$\Delta E, \Delta N, \Delta h$ = Diferenças das componentes

$E_{MRC08}, N_{MRC08}, h_{MRC08}$ = Componentes E, N e h da solução MRC08

E_i, N_i, h_i = Componentes E, N e h das demais soluções

As estatísticas das diferenças calculadas estão dispostas na Tabela 5

TABELA 5 – DIFERENÇAS ENTRE AS COMPONENTES DAS COORDENADAS PADRÃO

Solução.	366 Coordenadas geradas (metros)								
	ΔN			ΔE			Δh		
	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd
MRT08	0,400	0,000	0,003	0,406	0,000	0,007	0,210	0,065	0,148
MDG08	0,376	0,000	0,174	0,425	0,000	0,151	35,036	0,008	5,808
MAB08	0,244	0,195	0,219	1,710	1,377	1,549	10,907	10,742	10,838

Fonte: O autor (2008)

Analisando a coluna do valor médio das diferenças percebe-se que a solução MRT08 apresenta os resultados mais satisfatórios $0,3 \text{ cm}$ para a componente Norte, $0,7 \text{ cm}$ para a componente Este e $14,8 \text{ cm}$ para a altitude geométrica h , ou seja, as menores diferenças calculadas indicam a maior proximidade da solução padrão.

As Figuras 35 a 37 apresentam graficamente os valores das diferenças calculadas, para cada componente:

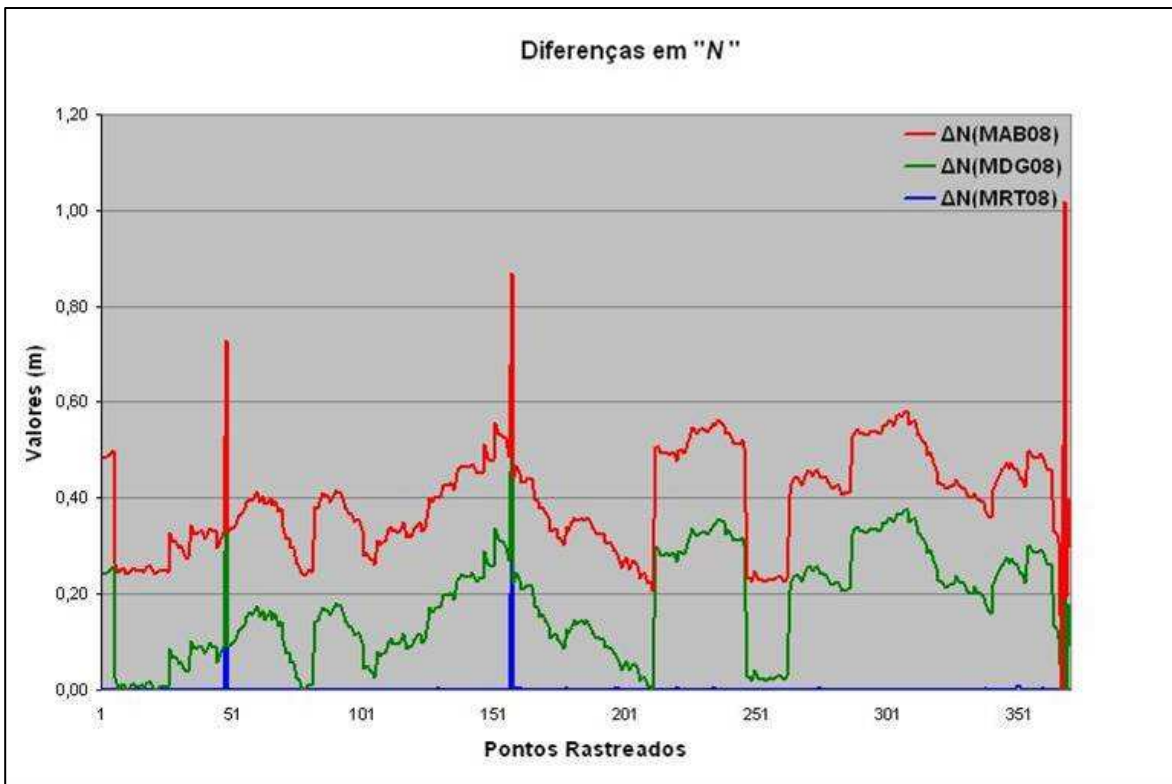


FIGURA 35 – GRÁFICO DAS DIFERENÇAS ENTRE O COMPONENTE NORTE
 Fonte: O autor (2008)

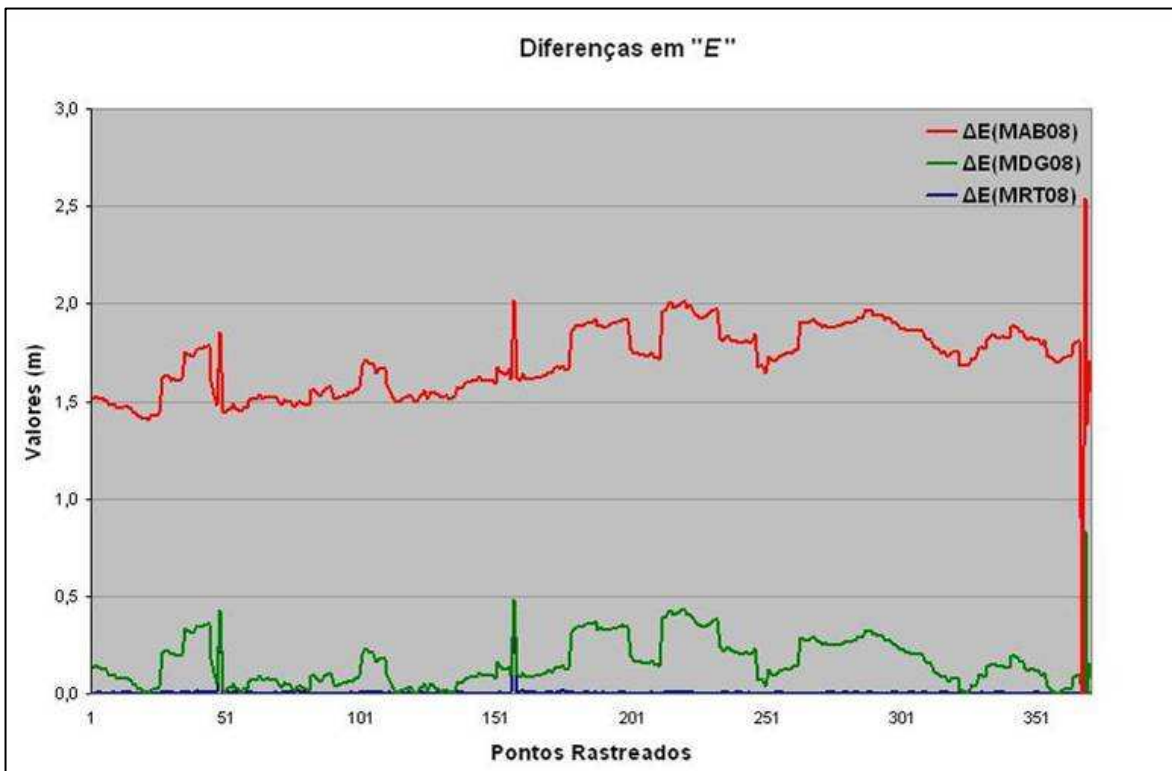


FIGURA 36 – GRÁFICO DAS DIFERENÇAS ENTRE A COMPONENTE LESTE
 Fonte: O autor (2008)

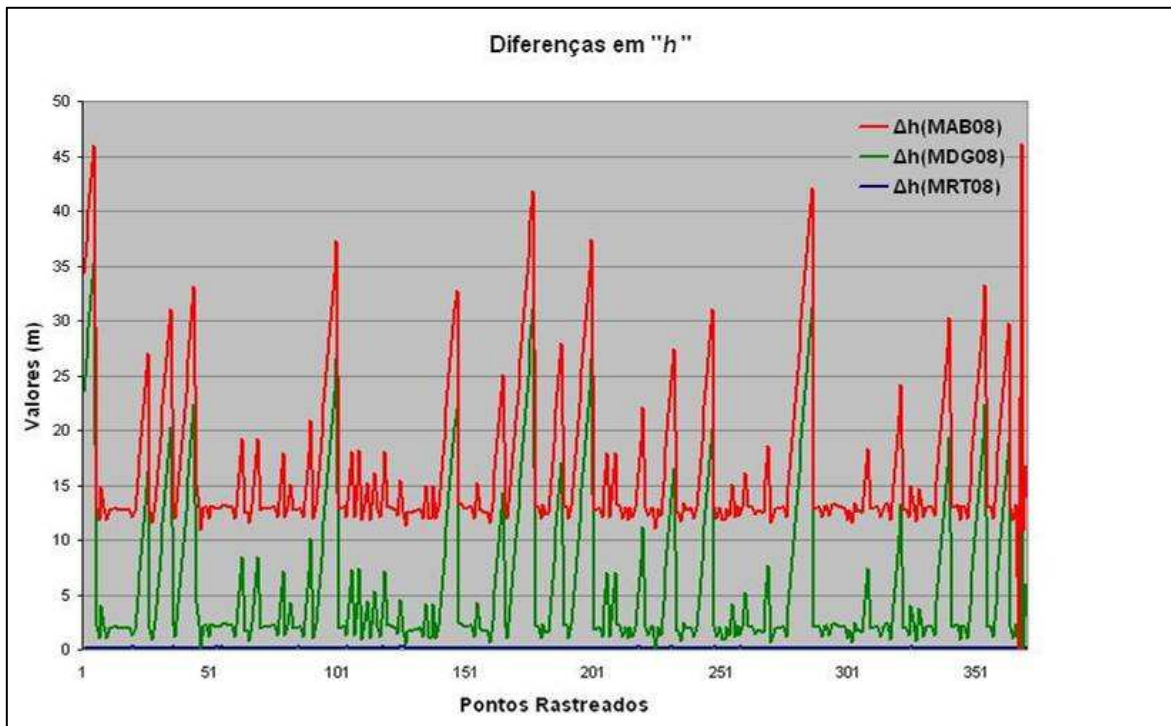


FIGURA 37 – GRÁFICO DAS DIFERENÇAS ENTRE A COMPONENTE ALTITUDE
Fonte: O autor (2008)

Analisando os gráficos nas Figuras 35 a 37 verifica-se a eficácia da solução MRT08, representada pelas linhas azuis. Percebe-se que as diferenças calculadas são mínimas, pois as linhas azuis referentes a esta solução nos três gráficos encontram-se adjacentes ao eixo das abscissas, indicando diferenças calculadas próximas a zero

Os resultados provenientes da solução MAB08, representados nos gráficos pelas linhas vermelhas, apresentam-se como as soluções mais degradadas, seguidos da MDG08, linhas verdes. Conforme é verificado nos gráficos das três componentes, as máximas diferenças calculadas são de MAB08, chegando a valores de 40 a 45 m na altitude.

Apesar das diferenças na solução MAB08 apresentarem as soluções mais degradadas, conforme já era esperado, observa-se uma ocorrência nos valores calculados. Analisando os gráficos das Figuras 35 a 37 e a Tabela 6 é evidente a presença de um erro sistemático inserido em cada componente Norte (N), Leste (E) e Altitude (h) da solução MAB08. As respectivas diferenças em cada um dos 366 pontos são da mesma ordem de grandeza e os valores dos erros sistemáticos são obtidos pela média aritmética de $\Delta N(\text{MAB08})$, $\Delta E(\text{MAB08})$ e $\Delta h(\text{MAB08})$, resultando em 0,219 m, 1,549 m e 10,838 m, respectivamente.

TABELA 6 – DIFERENÇAS E CORREÇÕES DOS ERROS SISTEMÁTICOS NAS COMPONENTES DE MAB08 (m)

	DIFERENÇAS			CORREÇÕES		
	$\Delta N(\text{MAB08})$	$\Delta E(\text{MAB08})$	$\Delta h(\text{MAB08})$	$\Delta N - 0,219$	$\Delta E - 1,549$	$\Delta h - 10,838$
1	0,241	1,377	10,742	0,041	0,377	0,742
2	0,241	1,381	10,744	0,041	0,381	0,744
3	0,242	1,379	10,744	0,042	0,379	0,744
4	0,241	1,381	10,746	0,041	0,381	0,746
5	0,242	1,384	10,745	0,042	0,384	0,745
6	0,240	1,385	10,749	0,040	0,385	0,749
7	0,241	1,387	10,748	0,041	0,387	0,748
8	0,242	1,386	10,749	0,042	0,386	0,749
9	0,243	1,388	10,752	0,043	0,388	0,752
10	0,242	1,387	10,750	0,042	0,387	0,750
11	0,242	1,389	10,747	0,042	0,389	0,747
12	0,240	1,390	10,752	0,040	0,390	0,752
13	0,242	1,392	10,753	0,042	0,392	0,753
14	0,242	1,390	10,749	0,042	0,390	0,749
15	0,240	1,394	10,757	0,040	0,394	0,757
16	0,240	1,396	10,756	0,040	0,396	0,756
17	0,242	1,396	10,758	0,042	0,396	0,758
18	0,242	1,397	10,750	0,042	0,397	0,750
19	0,243	1,396	10,745	0,043	0,396	0,745
20	0,242	1,401	10,763	0,042	0,401	0,763
.
.
.
364	0,198	1,706	10,870	0,002	0,706	0,870
365	0,198	1,710	10,869	0,002	0,710	0,869
366	0,200	1,706	10,869	0,000	0,706	0,869
Média	0,219	1,549	10,838			

Fonte: O autor (2008)

Realizada a subtração dos erros sistemáticos das componentes há uma melhora no resultado final, onde as coordenadas de MAB08 corrigidas desses erros terão seus valores similares à solução MDG08 e conseqüentemente aumentará seu grau de proximidade de MRC08.

5.2 VARIAÇÕES VOLUMÉTRICAS DO ESPORÃO ARENOSO

5.2.1 Análises dos MDT's gerados na Campanha de 2006

Os MDT's das subáreas geradas a partir das coordenadas oriundas da campanha de 2006, conforme descrito na Seção 4.2.2, foram submetidos a uma análise da variação dos seus volumes conforme os critérios estabelecidos de variação de linha de base e intervalo de gravação dos dados.

Nos Quadros 16 e 17 estão listadas as nomenclaturas de cada subárea (Figura 20) de acordo com as coordenadas de cada solução e os critérios de linha de base e intervalo de gravação de dados.

Subárea	MDT			
	MTO06	MCE06	MPA06	MUN06
1	S1TO	S1CE	S1PA	S1UN
2	S2TO	S2CE	S2PA	S2UN
3	S3TO	S3CE	S3PA	S3UN
4	S4TO	S4CE	S4PA	S4UN
5	S5TO	S5CE	S5PA	S5UN

QUADRO 16 – NOMENCLATURA DOS MDT'S DAS SUBÁREAS COM INTERVALO DE GRAVAÇÃO DE 15 SEGUNDOS
Fonte: O autor (2008)

Subárea	MDT	
	MTO06 – 3s	MUN06 – 3s
1	S1T03	S1U03
2	S2T03	S2U03
3	S3T03	S3U03
4	S4T03	S4U03
5	S5T03	S5U03

QUADRO 17– NOMENCLATURA DOS MDT'S DAS SUBÁREAS COM O INTERVALO DE GRAVAÇÃO DE 3 SEGUNDOS
Fonte: O autor (2008)

As coordenadas UTM geradoras dos MDT's foram classificadas de "A" a "D" (Tabelas 7 e 8) de acordo com os valores dos desvios padrão tridimensional de suas componentes (Equação 10, Seção 5.1.1).

Nessas circunstâncias optou-se por descartar as coordenadas que obtiveram um desvio padrão maior que 1 m, ou seja, todas pertencentes às Classes C e D. Dessa forma, os dados mais discrepantes são eliminados das amostras.

TABELA 7 – QUANTIDADE DE PONTOS CLASSIFICADOS POR LINHA DE BASE – 15 SEGUNDOS

Classe (desvios)	MTO06	MCE06	MPA06	MUN06
A (0 – 0,5 m)	754	756	700	663
B (0,5 – 1 m)	1	0	50	35
C (1 – 2 m)	0	0	2	57
D (> 2 m)	2	1	5	2

Fonte: O autor (2008)

TABELA 8 – QUANTIDADE DE PONTOS CLASSIFICADOS NO INTERVALO DE GRAVAÇÃO 3 SEGUNDOS.

Classe (desvios)	MTO06	MUN06
A (0 – 0,5 m)	3773	3317
B (0,5 – 1 m)	1	179
C (1 – 2 m)	0	281
D (> 2 m)	14	11

Fonte: O autor (2008)

Os dados das Tabelas 7 e 8 estão dispostos graficamente nas Figuras 38 e 39.

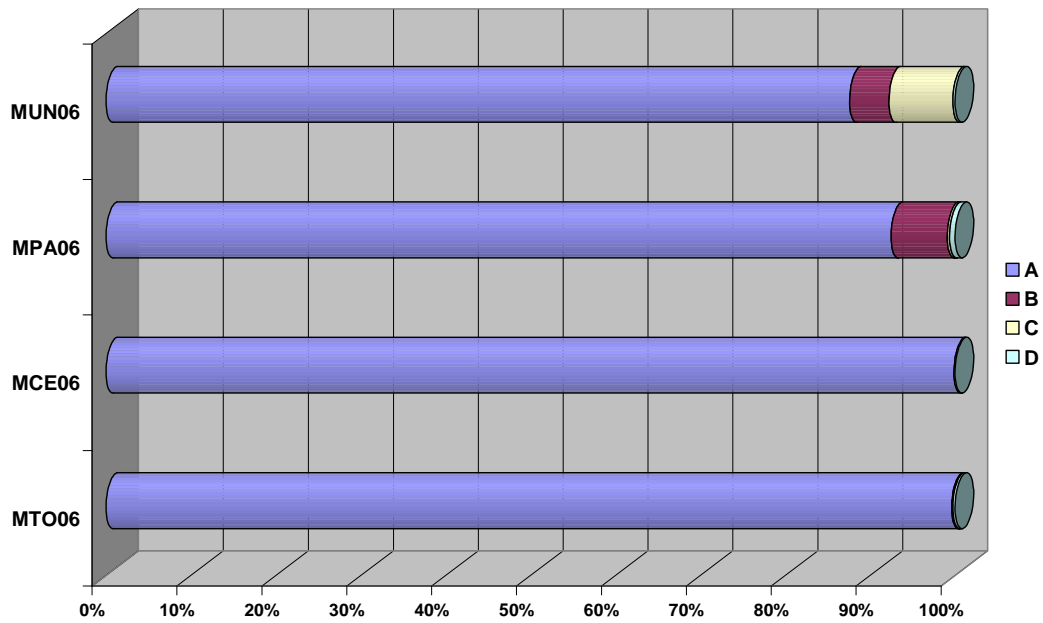


FIGURA 38 – GRÁFICO DAS CLASSES PARA 15 SEGUNDOS DE INTERVALO
Fonte: O autor (2008)

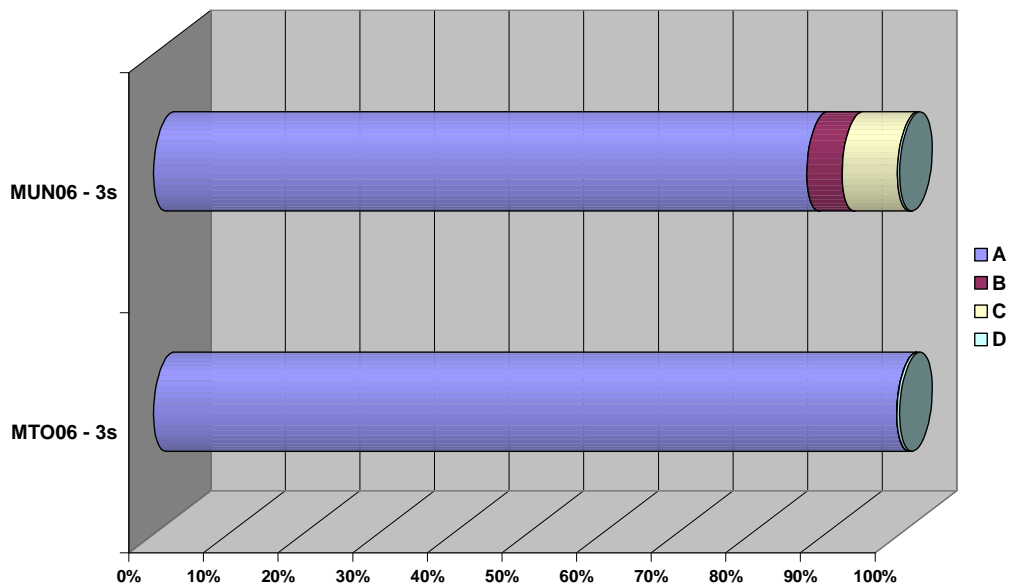


FIGURA 39 – GRÁFICO DAS CLASSES PARA 3 SEGUNDOS DE INTERVALO
Fonte: O autor (2008)

Os volumes dos MDT's das subáreas dispostas nos Quadros 16 e 17, vistos anteriormente, foram calculados a partir das Equações 4 a 9 (Seção 3.2.3) e os valores finais foram determinados através da média aritmética entre os volumes computados pelos 3 métodos de integração (Regra dos Trapézios, de Simpson e 3/8 de Simpson). Os valores dos volumes de cada subárea estão listados nas Tabelas 9 e 10.

TABELA 9 – VOLUMES DAS SUBÁREAS PARA DADOS COM 15 SEGUNDOS DE INTERVALO DE GRAVAÇÃO (m³)

SUBÁREA 1		SUBÁREA 2		SUBÁREA 3		SUBÁREA 4		SUBÁREA 5	
S1TO	2035,898	S2TO	1368,100	S3TO	934,413	S4TO	854,731	S5TO	1362,770
S1CE	1861,563	S2CE	1318,779	S3CE	1288,522	S4CE	809,400	S5CE	1288,522
S1PA	3547,219	S2PA	1909,665	S3PA	1287,681	S4PA	1190,527	S5PA	1790,419
S1UN	1885,788	S2UN	1494,040	S3UN	950,044	S4UN	924,861	S5UN	1406,557

Fonte: O autor (2008)

TABELA 10 – VOLUMES DAS SUBÁREAS PARA DADOS COM 3 SEGUNDOS DE INTERVALO DE GRAVAÇÃO (m³)

SUBÁREA 1		SUBÁREA 2		SUBÁREA 3		SUBÁREA 4		SUBÁREA 5	
S1T03	1966,676	S2T03	1355,539	S3T03	761,046	S4T03	599,660	S5T03	1128,877
S1U03	1891,044	S2U03	1510,543	S3U03	791,497	S4U03	691,063	S5U03	1208,390

Fonte: O autor (2008)

Por apresentar uma linha de base curta e uma maior quantidade de informações de melhor qualidade, os modelos S1T03 a S5T03 foram considerados como padrão. Sendo assim, dentre todo o conjunto de dados admite-se esses modelos como sendo os que mais se aproximam à superfície física do terreno levantado. A Figura 40 apresenta os MDT's padrões das 5 subáreas (S1T03 a S5T03).

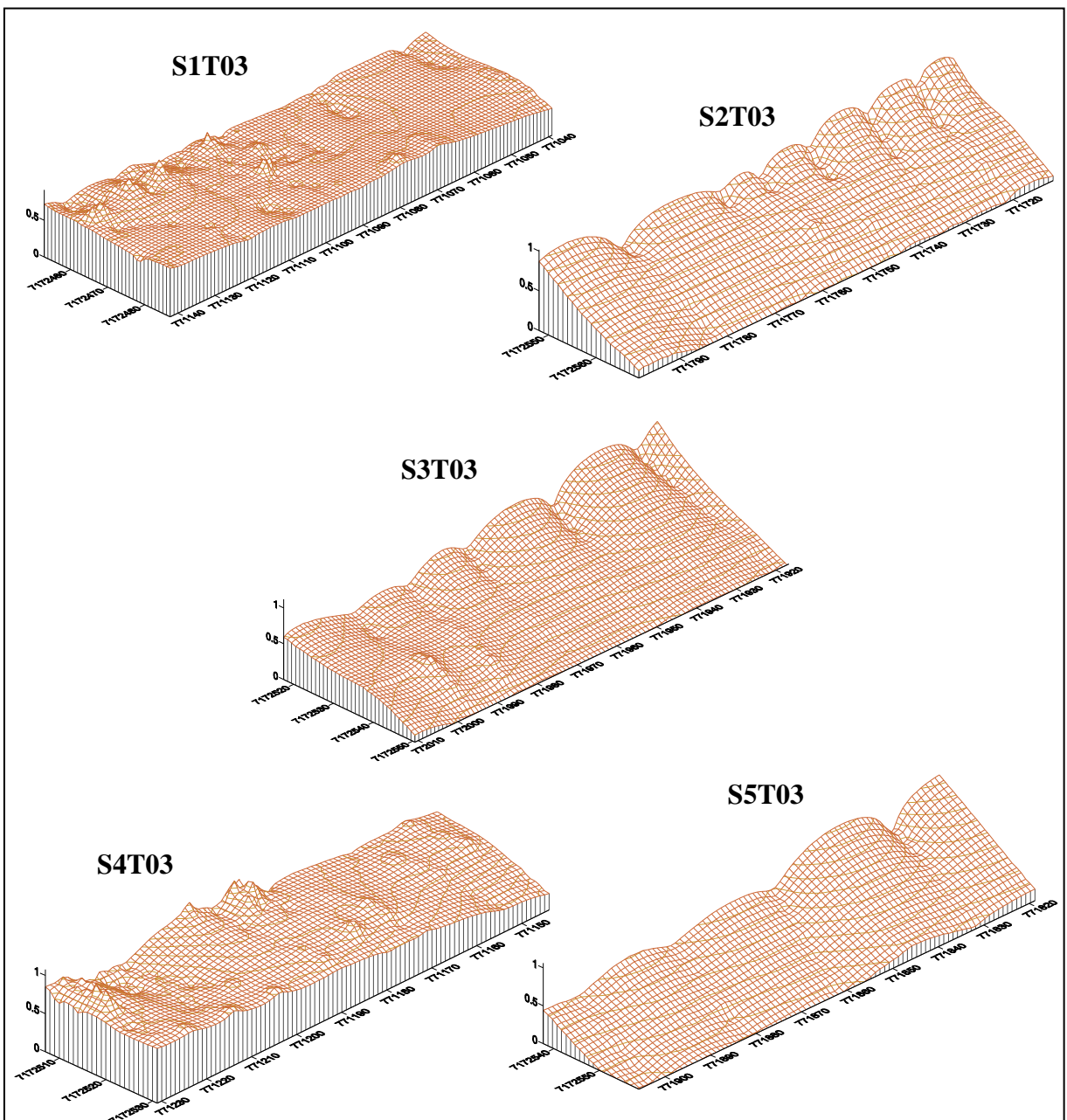


FIGURA 40 – MDT'S PADRÃO - S1T03 a S5T03
Fonte: O autor (2008)

Numa comparação a nível geral, observa-se na Tabela 9 que os volumes vinculados à solução MPA06 (S1PA a S5PA) são os que apresentam os valores mais discrepantes em todas as subáreas.

Analisando os gráficos da Figura 41 constata-se que os volumes dos MDT's não mantêm uma regularidade no que diz respeito à aproximação dos seus valores ao volume padrão.

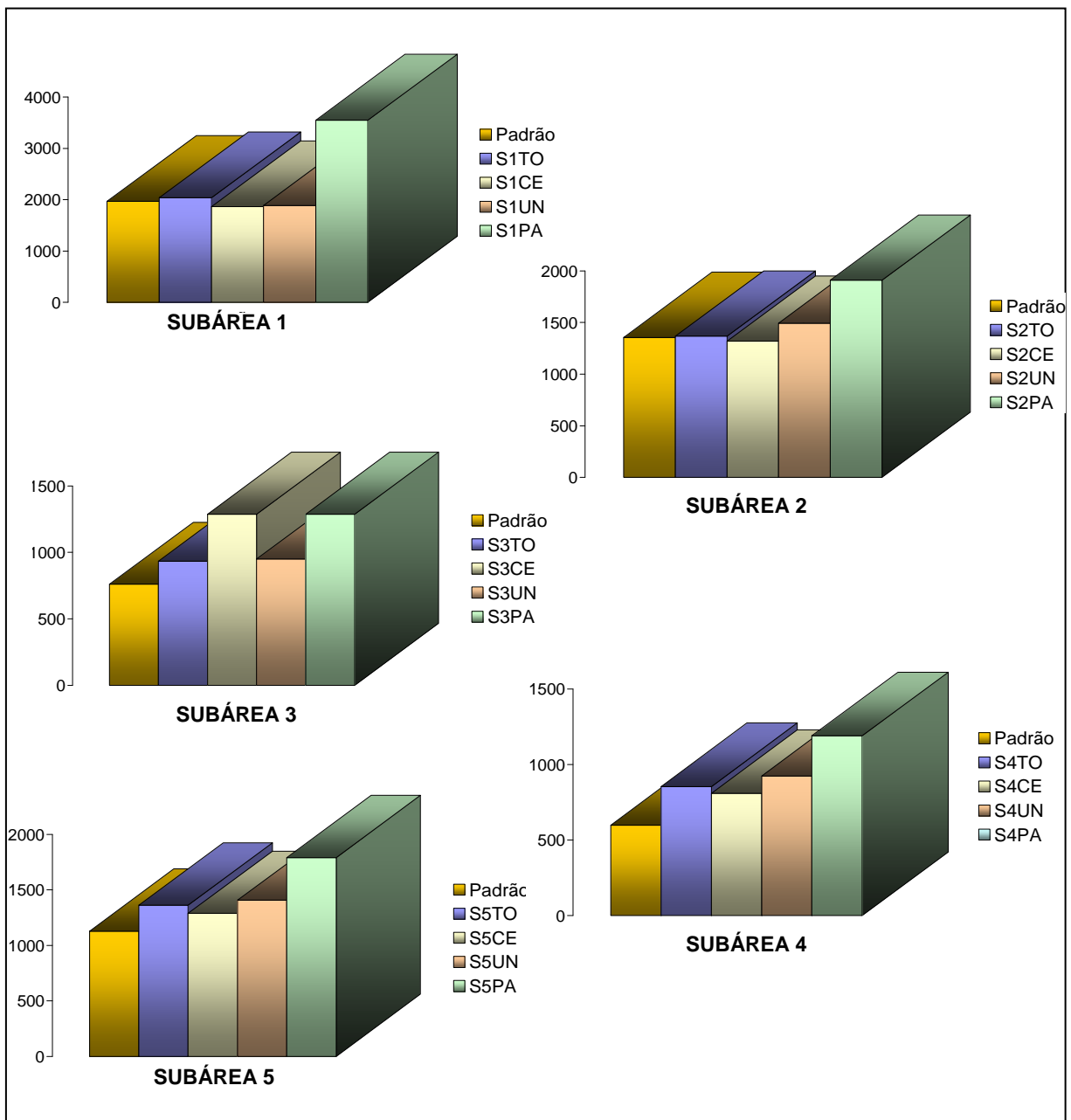


FIGURA 41 – GRÁFICOS DOS VOLUMES DAS SUBÁREAS
 Fonte: O autor (2008)

Em algumas subáreas existem volumes que apresentam valores bem próximos do padrão, porém, nem sempre essa aproximação condiz com a realidade da superfície física do terreno. Isso pode ser constatado quando se verificam os MDT's das Figuras 42 e 43.

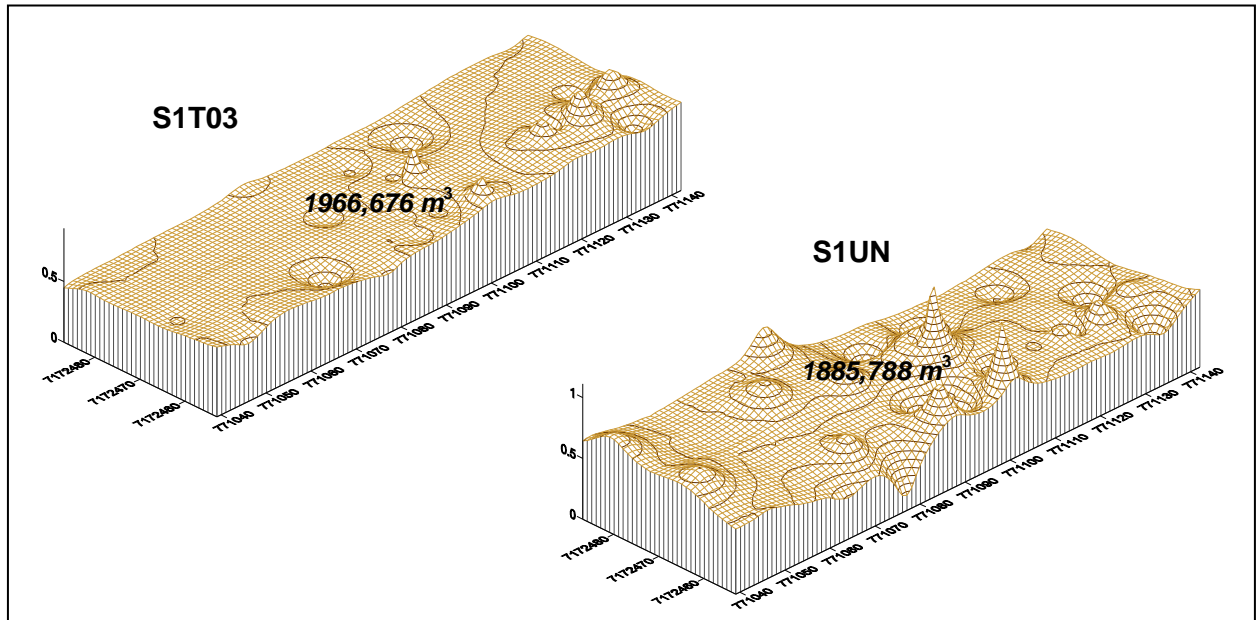


FIGURA 42 – MDT'S S1T03 E S1UN
Fonte: O autor (2008)

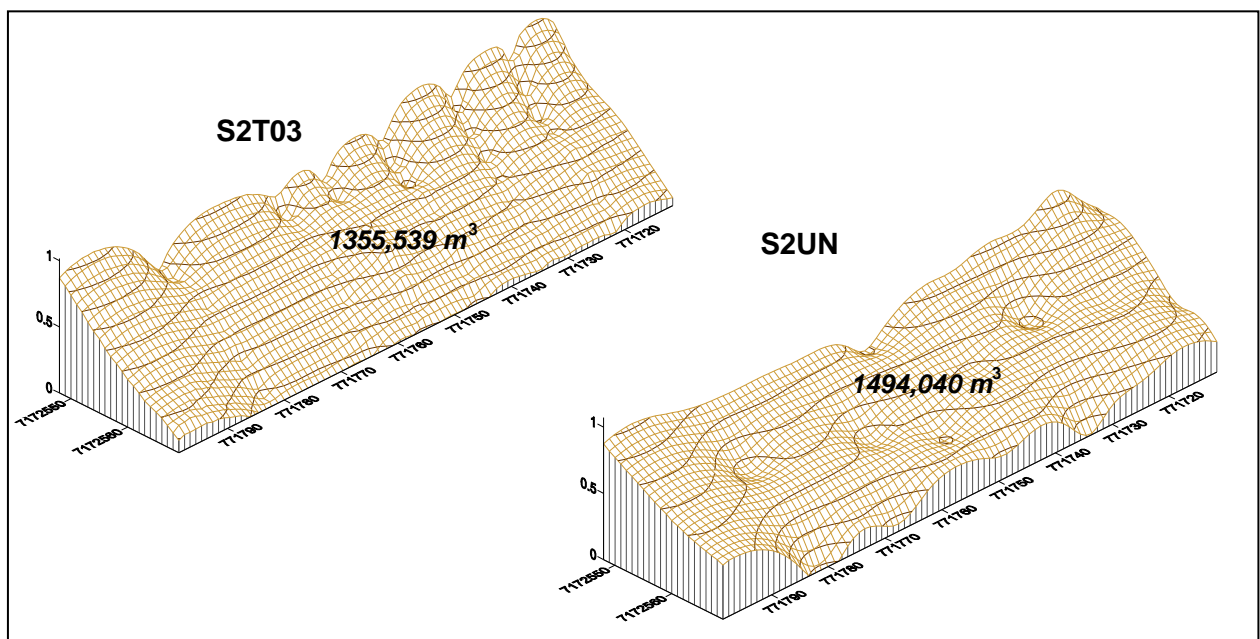


FIGURA 43 – MDT'S S2T03 E S2UN
Fonte: O autor (2008)

Visualmente nas Figuras 42 e 43 há diferença entre as duas superfícies geradoras dos modelos, porém o volume sob ambas é numericamente próximo. Cabe ressaltar que essa ocorrência se repete com pouca frequência no restante dos MDT's.

Apesar de nas outras subáreas a maioria dos volumes não estarem coerentes com o padrão pré-estabelecido, as superfícies dos terrenos apresentam-se aparentemente regulares quando comparadas ao seu respectivo MDT. Os MDT's listados na Figura 44 são exemplos disso, pois os mesmos constituem um volume numericamente diferente entre si e uma superfície com um aspecto similar nos três casos.

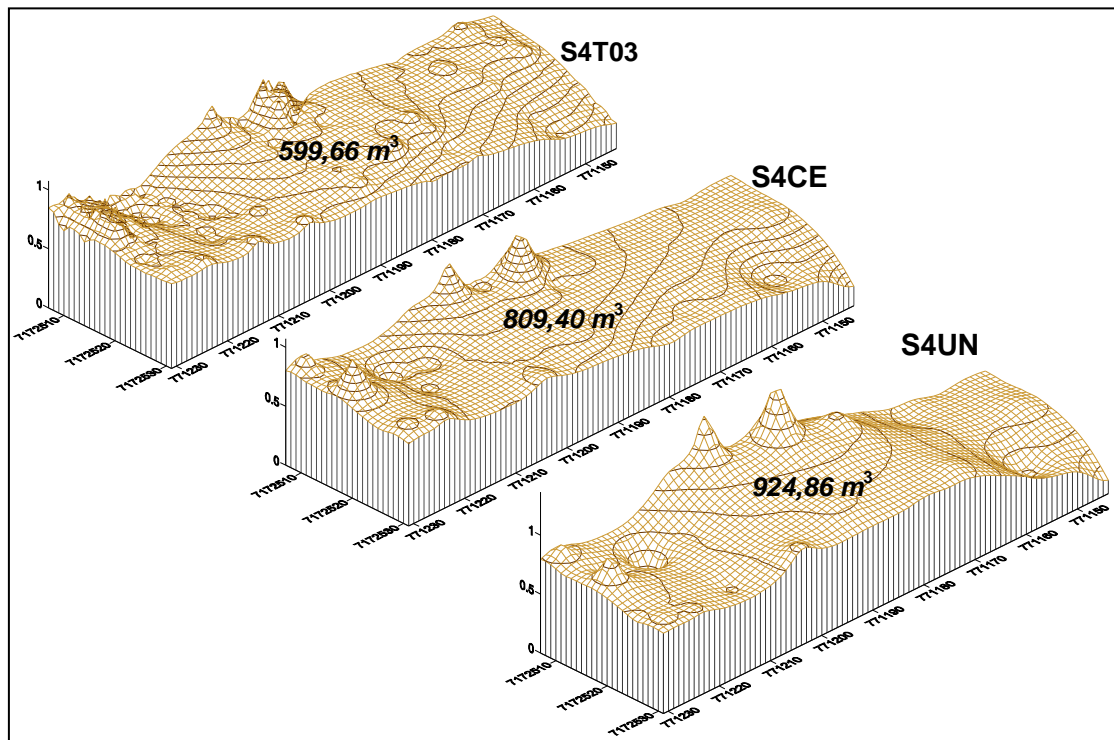


FIGURA 44 – COMPARAÇÃO ENTRE MDT'S S4T03, S4CE E S4UN
Fonte: O autor (2008)

A análise seguinte consiste em comparar os volumes dos MDT's de acordo com os diferentes intervalos de gravação de dados utilizados no levantamento (3 e 15 segundos). Os gráficos estão dispostos na Figura 45.

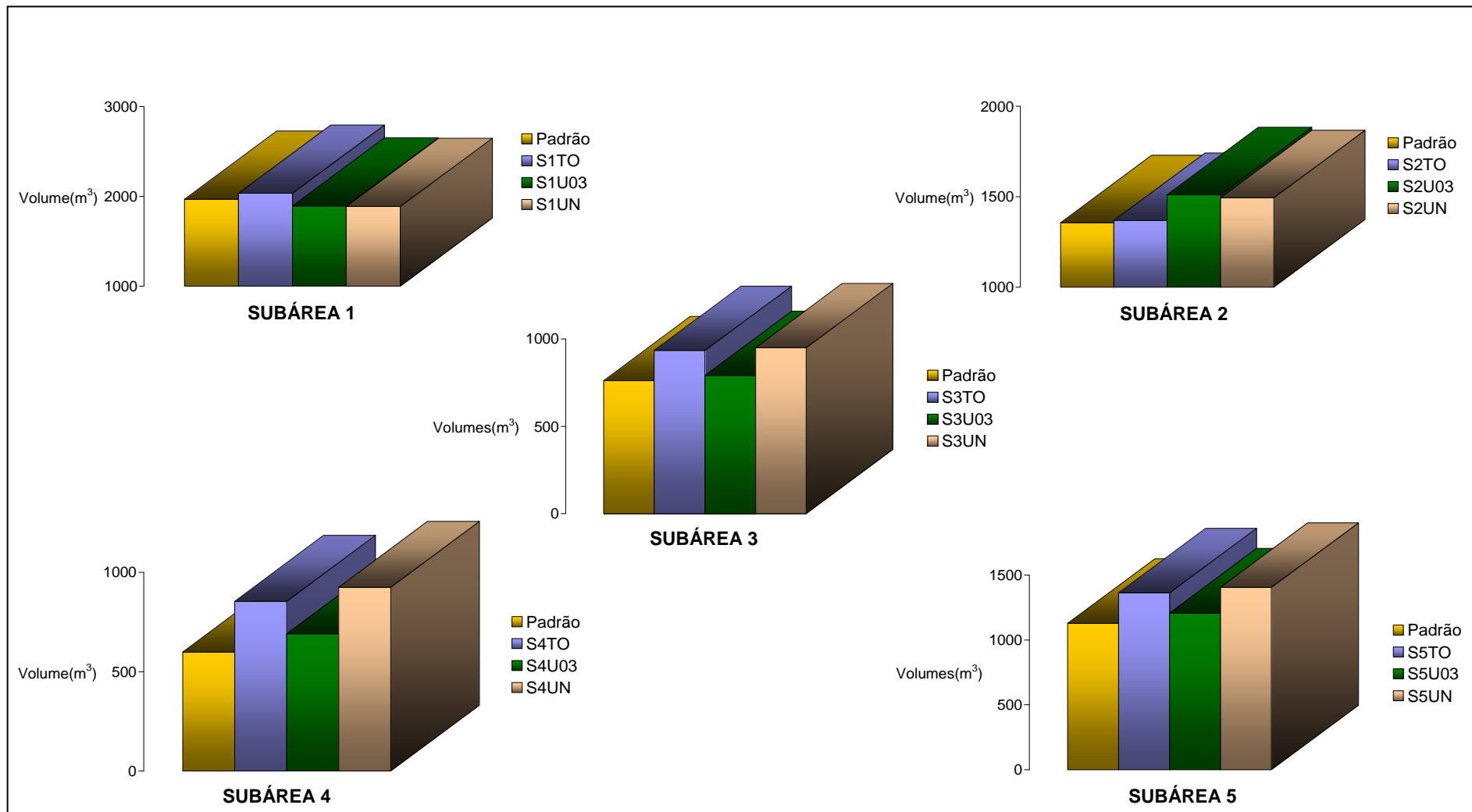


FIGURA 45 – GRÁFICOS DOS VOLUMES DAS SUBÁREAS - INTERVALO DE 3 E 15 SEGUNDOS
 Fonte: O autor (2008)

Os gráficos da Figura 45 indicam em praticamente todas as subáreas a similaridade entre os valores dos volumes gerados com os mesmos intervalos de gravação de dados.

5.2.2 Variação volumétrica ao longo dos anos

A realização de uma análise temporal da variação volumétrica do esporão arenoso buscou computar o volume das cinco subáreas nas campanhas de 2006 e 2007

Os valores dos volumes encontram-se listados na Tabela 11.

TABELA 11 – VOLUME DAS SUBÁREAS NOS ANOS DE 2006 E 2007

Ano	Subárea 1		Subárea 2		Subárea 3		Subárea 4		Subárea 5	
	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007
Volume (m³)	1967,115	2086,659	761,046	970,627	1128,877	970,627	1355,539	457,882	599,660	687,637
Variação (%)	6,08		27,54		-14,02		-66,22		14,67	

Fonte: O autor (2008)

Entre os anos de 2006 e 2007 percebe-se que a variação volumétrica das subáreas ao longo do esporão não seguiu um padrão uniforme, visto que as subáreas 1, 2 e 5 tiveram acréscimo de sedimentos, com seus volumes aumentados em 6,08%, 27,54% e 14,67%, respectivamente, enquanto que nas demais (3 e 4) ocorreram perdas sedimentares de 14,02% e 66,22% respectivamente.

Embora apenas duas campanhas não sejam suficientes para retratar com fidelidade a tendência da variação volumétrica, verifica-se uma redução dos sedimentos em algumas regiões do esporão e acréscimo em outras, sendo essa última predominante.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As coordenadas geodésicas em um posicionamento relativo cinemático degradam-se com o aumento da linha de base, entretanto, a degradação do posicionamento vertical está em média na mesma ordem de grandeza do posicionamento horizontal.

O levantamento RTK é uma ferramenta importante. O nível de precisão alcançado possibilita sua utilização em diversas aplicações GPS. Porém para levantamentos desse caráter onde geralmente as precisões almejadas encontram-se aquém das atingidas por esse método, ele não se torna a ferramenta mais indicada, devido à alta relação custo/benefício.

O método de posicionamento DGPS apresentou resultados satisfatórios no posicionamento horizontal, contudo as altitudes geométricas tiveram qualidades inferiores às desejadas.

Verificou-se que o método relativo cinemático é indicado para a esta aplicação quando se tem uma linha de base curta entre as estações. Contudo quando existirem longas linhas o método absoluto devidamente corrigido dos erros sistemáticos pode apresentar resultados satisfatórios. Uma maneira de identificar o erro sistemático inserido em cada componente é a ocupação de um ponto de coordenadas conhecidas nas imediações do levantamento com o equipamento em modo cinemático, nessas condições o erro sistemático acaba sendo o valor médio das coordenadas coletadas subtraído das coordenadas conhecidas do ponto ocupado, obtendo assim as respectivas diferenças em cada componente que poderão ser devidamente corrigidas nos pontos oriundos do levantamento cinemático das trajetórias.

A qualidade de um posicionamento cinemático refletirá no valor do volume do MDT gerado pelas suas coordenadas plano-retangulares. A questão é que pelo fato das coordenadas geradoras estarem degradadas, não se pode garantir a determinação de um certo grau de proximidade do volume do MDT gerado com um modelo padrão. Além de uma análise numérica do valor do volume é necessária uma análise visual das superfícies a fim de que se possa verificar a coerência entre os MDT's em questão.

O motivo pelo qual os processamentos foram realizados com 15 segundos de intervalo de gravação de dados nos levantamentos relativo cinemático se deu ao fato do interesse em mostrar que há possibilidade de utilizar dados das estações da RBMC para esse tipo de aplicação, outrora a literatura recomende intervalos de 1, 3 ou 5 segundos. O que facilitaria nos trabalhos do usuário do GPS, já que os dados da RBMC se encontram ininterruptamente (salvo raras exceções) disponíveis para *download*.

Baseado nos resultados obtidos nos levantamentos verificou-se que as precisões atingidas por todos os métodos (com exceção do posicionamento vertical do DGPS) estão dentro das suas respectivas preconizadas pela literatura nas condições as quais foram efetuados.

Verifica-se que se podem obter soluções com qualidades diferentes para linhas de base de comprimentos semelhantes, porém devem-se analisar com cuidado quando existem diferenças altimétricas significativas, pois nesse caso é provável a existência de erros associados à troposfera.

Recomenda-se a realização de pesquisas futuras para examinar de forma mais detalhada o método absoluto, analisando até que ponto as correções dos erros sistemáticos melhoram significativamente a qualidade das coordenadas finais. Ainda com relação o método absoluto sugere-se que sejam feitas análises comparativas com dados processados com o código C/A, além das frequências L1 e L2.

Com relação ao método relativo cinemático, é recomendado que nas aplicações posteriores os processamentos sejam realizados com levantamento de obstruções das estações fixas.

Recomendam-se também investigações minuciosas relativas aos efeitos da troposfera em levantamentos GPS na região de estudo, salientando a sua influência na qualidade das coordenadas finais.

REFERÊNCIAS

ANGULO, R.J. A Ocupação urbana do litoral paranaense e as variações da linha de costa. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, n 41, p. 73-81. 1993.

ANGULO, R.J. Problemas na terminologia de ambiente e subambientes litorâneos clásticos dominados por ondas. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, n.44, p 51- 57. 1996.

ANGULO, R. J. Aspectos físicos das dinâmicas de ambientes costeiros, seus usos e conflitos. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, n 10, p. 175-185. 2004.

ANGULO, R.J.; ARAÚJO, A.D. Classificação da costa paranaense com base na sua dinâmica, como subsídio à ocupação da orla litorânea. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, n.44, p.7-17. 1996.

ARINC Research Corporation. **ICD-GPS-705**. NAVSTAR GPS, Space Segment/ User Segment L5 Interfaces. El Segundo, 2002.

ASHTECH – Z12. **User manual**. Magellan Corporation, 1995.

ASHTECH – Promark 2. **User manual**. Thales Navigation, 2004.

BABINSCK, A. P. **Determinação da linha de costa por meio da monorrestituição digital de imagens de câmaras de pequeno formato e técnicas GPS**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

BIGARELLA, J.J. Contribuição ao estudo da planície litorânea do estado do Paraná. **Arquivos de Biologia e Tecnologia – IBPT**, v, 1, art 7. 75-111, Curitiba, 1946.

BIRD, E.C.F. **Beach management**. New York: John Wiley and Sons,1996, 281 p.

BOTELHO, M. F.; SILVA, C. R.; SCHOENINGER, E. R.; CENTENO, J. A. S.: Comparação dos resultados de interpoladores “Vizinho mais próximo” e “Inverso de uma distância” no cálculo de volume a partir de dados do laser scanner. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO,12., Goiânia, 2005. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia: INPE, 2005. p. 731-736.

BRIONES, A. B.; KRUEGER, C. P. Análise do posicionamento DGPS com base nas ERDGPS implantadas no litoral brasileiro. Recife, PE, 1999. **Congresso Brasileiro de Cartografia**. In: Anais do XIX Congresso Brasileiro de Cartografia.

BURROUGH, P. A. **Digital elevation models: principles of geographical information system for land resources assessment**. Monographs on Soil and Resources Survey. Oxford, 1986.

CÂMARA, G.; FELGUEIRAS, C. A. Modelagem numérica de terreno. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos, São Paulo: INPE, 2004. cap. 7, p. 1 – 38. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acessado em: 12/092007.

CASTRO, A. S. G. dos. **Utilização do Sinal Civil GPS L5 e na filtragem espacial adaptativa para mitigação dos sinais de multicaminho**. Dissertação (Engenharia Eletrônica e Computação) - Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, 2006.

DNIT. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. **Mapa Rodoviário do Paraná**, Local: DNIT, 2002.

FORTES, L. P. S. **Implantação da RBMC - estágio atual**. Rio de Janeiro: IBGE, 1995. Disponível em: [ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/artigos/1995 Implatacao da RBMC E stagio_atual.pdf](ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/artigos/1995%20Implatacao%20da%20RBMC%20E%20stagio%20atual.pdf). Acesso em: 19/102007.

FREIBERGER JR., J. **Investigações da calibração relativa de antenas GNSS**. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. 204 p.

GALILEO - **O programa Europeu para serviços de navegação global**. Centro de Informação para América Latina, 2002. Disponível em: <http://www.galileoic.org/la/?q=tr/node/69>. Acesso em: 19/10/2007.

GASPAR, M. **Sambaqui: arqueologia do litoral brasileiro**. Rio de Janeiro. Jorge Zahar Ed. 2000. 89p.

GIANNINI, P. C. F.; ANGULO R. J.; SOUZA, M. C. de; KOGUT, J. S.; DELAI, M. S. A Erosão na costa leste da Ilha do Mel, Baía de Paranaguá, Estado do Paraná: modelo baseado na distribuição espacial de formas deposicionais e propriedades sedimentológicas. Curitiba, 2004. **Revista Brasileira de Geociências**, v 34, pp. 231-242.

GIBEAUT, J.C; WHITE, W. A.; HEPNER, T.L.; GUTIERREZ, R.; TREMBLAY, T.A.; SMYTH, R.C.; ANDREWS, J. The Texas shoreline change project - gulf of Mexico shoreline change from the Brazos River to Pass Cavallo. **Bureau of Economic Geology. University of Texas at Austin**, oct, 2000.
Disponível em: <http://www.beg.utexas.edu/coastal/intro.htm>. Acesso em: 10/06/2008.

GLONASS. **Information-analytical centre**. 2008.
<http://www.glonass-ianc.rsa.ru/pls/htmldb/f?p=202:20:17349560977994575717::no>
Acesso em: 07/07/2008.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, J.; COLLINS, J. **GPS: theory and practice**. Springer Verlag Wien, 3.ed. New York, 1994.

IBAMA. **Erosão e progradação no litoral brasileiro**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2006. 475p.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.
Ecossistemas Brasileiros. Disponível em:
<http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/costeiros.htm>. Acesso em: 03/09/2007.

IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Rede brasileira de monitoramento contínuo**. 2007. Disponível em:
<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtm>. Acesso em: 16/10/2007.

KRUEGER, C. P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho**. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996. 267 p.

KRUEGER, C. P. Integração do GPS e da ecobatimetria. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v.5, p.55-68, 1999.

KRUEGER, C. P. Performance of GPS in surveys within the coast of Paraná state (Brazil). Curitiba 2000, **Revista MundoGEO**. Disponível em:
http://www.mundogeo.com.br/revistas-interna.php?id_noticia=5202&lang_id=3.
Acesso em: 31/10/2007.

LAGO, I. F.; FERREIRA, L. D. D. ; KRUEGER, C. P.: GPS e GLONASS: aspectos teóricos e aplicações práticas. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v.8, n. 2, p.37-53, 2002.

LAMOUR, M. R. **Morfodinâmica sedimentar da desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá – PR**. Tese (Doutorado em Geologia) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

LEICA GEOSYSTEMS. **GPS1200 technical reference manual version 4.0**. 2006.

LEICK, A. **GPS satellite surveying**. 3th ed: New York. John Wiley & Sons, 2004. 434p.

MARTINS, G. J.; MARONE, E.; ANGULO, R.J.; NOERNBERG M. A.; QUADROS, C. J.L.de. Dinâmica da zona de rasa de *shoaling* e o transporte de sedimentos na desembocadura sul do Complexo Estuarino de Paranaguá – PR. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, n. 54, p. 51-64, 2004.

MIHÁLY, P. **Dinâmica Sedimentar do Litoral Norte Paranaense e Extremo Sul Paulista** Tese. (Programa de Pós-Graduação em Geologia) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

MONICO, J.F.G., CAMARGO, P.O., SILVA, E.F. Integração GPS de navegação e RBMC no posicionamento e cálculo de áreas: Análise dos Resultados. In: GIS Brasil, 1997. **Anais dos GIS Brasil**, 1997.

NAVCEN. **Navigation Center. U.S. Coast Guard Navigation Center**, 2008. Disponível em:
<http://www.navcen.uscg.gov/cgsic/meetings/46thMeeting/15%20CGSIC%20GPS%20Prog%2046.pdf>. Acesso em: 31/10/2007.

PARANAGUÁ. **Prefeitura Municipal de Paranaguá**. Disponível em:
http://www.helts.com.br/paranagua/ilhas_mel.php. Acesso em: 04/03/2008.

PARANHOS FILHO, A.C. **O Processo erosivo e as variações morfodinâmicas praias na Ilha do Mel (Baía de Paranaguá-PR)**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geologia) - Setor de Ciências da Terra. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

PRINTCHARD, D.W. **What is an estuary. Physical viewpoint.** In: G.H. Lauff (Ed). Estuaries: 3-5. American Association for the Adv. of Science. Publication nº 83, 1967.

RAMOS, A. M. **Aplicação, investigação e análise da metodologia de reduções batimétricas através do método GPS diferencial preciso.** Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

RÜFFER, J.; HEMMERT, J. (2005). Galileo meets geodesy: was bringt uns Galileo für die GNS-Anwendung in der Geodäsie. Wuppertal: **Der Vermessungsingenieur**, 2005. p. 520-526.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods and applications.** Berlin: Walter de Gruyter, 1993.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods and applications.** 2nd ed. Berlin: Walter de Gruyter, 2003.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Plano de controle ambiental e uso do solo da Ilha do Mel.** Curitiba, 2004.

SILVA, M. M. S. Utilização de técnicas topográficas geodésicas e sensoriamento remoto para determinação da linha de costa e implantação de um sistema de informações geográficas na região de Matinhos-PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 21., Belo Horizonte, 2003. **Anais do XXI Congresso Brasileiro de Cartografia**, 2003.

SIMÕES, M. G.: **Modeladores digitais de terreno em sistemas de informação geográfica.** Tese (Mestrado em Engenharia). COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 1993.

SOUZA, C. R.G.; SUGUIO K. Coastal erosion and beach morphodynamics along the state of São Paulo (SE Brasil). Anais da Academia Brasileira de Ciências, v.68, p. 405-424, 1996.

SOUZA, E. C. B de. **Análises temporais de alta precisão utilizando GPS para avaliação das variações volumétricas ocorridas no Istmo da Ilha do Mel.** Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

TEDESCO, A. **Viabilidade do uso de imagens de alta resolução para a atualização de mapas batimétricos**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

TESSLER, M.G.; GOYA, S.C.: Processos costeiros condicionantes do litoral brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 17, p. 11-23, 2005.

TRIMBLE – 4000SSi. **User manual**. Trimble Navigation Limited, 1998.

USGS, United States Geological Survey. **National Assessment of Shoreline Change Project**. September, 2007. Disponível em: <<http://www.beg.utexas.edu/coastal/intro.htm>>. Acesso em: 12/06/2008.

USNO. United States Naval Observatory. **GPS Timing Data & Information**. Disponível em: <ftp://tycho.usno.navy.mil/pub/gps/gpstd.txt>. Acesso em: 13/03/2008.

VANÍČEK, P; KRAKIWSKY, E.J. **Geodesy: the concepts**. 2nd ed, Amsterdam: Editora, 1986.

WHITE, K.; EI ASMAR, H. M. Monitoring changing position of coastlines using thematic mapper imagery, an example from the Nile Delta. **Geomorphology**, n.29, p. 93-105,1999.

XAVIER, J.H. **Análise de estabilidade de uma rede local gps situada no litoral paranaense**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

YANG, C.; KAO, S.; LEE, F.; HUNG, P. Twelve different interpolation methods: a case study of Surfer 8.0. In: ISPRS CONGRESS, ISTANBUL, 20., Istanbul, Turkey, 2004.

ANEXO I

Informações da Constelação de Satélites GPS

SITUAÇÃO INDIVIDUAL DOS SATÉLITES - BLOCOS II/IIA/IIR/IIR-M

Satélite	Bloco	Lançamento	Início	Relógio Atômico
23	II-A	26 NOV 1990	26 FEV 2008	Rubídio
24	II-A	04 JUL 1991;	30 AGO 1991	Césio
25	II-A	23 FEV 1992;	24 MAR 1992;	Rubídio
26	II-A	07 JUL 1992;	23 JUL 1992;	Rubídio
27	II-A	09 SET 1992;	30 SET 1992;	Césio
30	II-A	12 SET 1996;	01 OUT 1996;	Césio
32	II-A	22 NOV 1992	11 DEZ 1992;	Césio
33	II-A	28 MAR 1996	09 ABR 1996;	Césio
34	II-A	26 OUT 1993;	22 NOV 1993;	Rubídio
35	II-A	30 AGO 1993	28 SET 1993;	Rubídio
36	II-A	10 MAR 1994	28 MAR 1994	Rubídio
38	II-A	06 NOV 1997	18 DEZ 1997;	Césio
39	II-A	26 JUN 1993;	21 JUL 1993;	Rubídio
40	II-A	16 JUL 1996;	15 AGO 1996;	Rubídio
41	II-R	10 NOV 2000	10 DEZ 2000;	Rubídio
43	II-R	23 JUL 1997;	31 JAN 1998;	Rubídio
44	II-R	16 JUL 2000;	17 AGO 2000;	Rubídio
45	II-R	31 MAR 2003	12 ABR 2003;	Rubídio
46	II-R	07 OUT 1999;	03 JAN 2000;	Rubídio
47	II-R	21 DEZ 2003;	12 JAN 2004;	Rubídio
51	II-R	11 MAI 2000	01 JUN 2000;	Rubídio
52	II-RM	25 SET 2006;	12 OUT 2006;	Rubídio
53	II-RM	26 SET 2005;	16 DEZ 2005;	Rubídio
54	II-R	30 JAN 2001;	15 FEV 2001;	Rubídio
55	II-RM	17 OUT 2007;	31 OUT 2007;	Rubídio
56	II-R	29 JAN 2003;	18 FEV 2003;	Rubídio
57	II-RM	20 DEZ 2007;	02 JAN 2008;	Rubídio
58	II-RM	17 NOV 2006	13 DEZ 2006;	Rubídio
59	II-R	20 MAR 2004	05 ABR 2004;	Rubídio
60	II-R	23 JUN 2004;	09 JUL 2004;	Rubídio
61	II-R	06 NOV 2004	22 NOV 2004;	Rubídio
24	II-A	04 JUL 1991;	30 AGO 1991	Rubídio

Fonte: NAVCEN (2008)

ANEXO II

Informações da Constelação de Satélites GLONASS

SITUAÇÃO DA CONSTELAÇÃO DO GLONASS

(04.07.2008)

Total de Satélites	16
Em operação	12
Em manutenção	4

Plano.	Órbita	RF	# GC	Lançamento	Início da Operação	Final da Operação	Tempo de operação (meses)	Situação
I	1	07	796	26.12.04	06.02.05	04.05.08	42.3	Em manutenção
	4	06	795	10.12.03	29.01.04		54.8	Em operação
	6	01	701	10.12.03	08.12.04		54.8	Em operação
	7	05	712	26.12.04	07.10.05	05.04.08	42.3	Em manutenção
	8	06	797	26.12.04	06.02.05	16.06.08	42.3	Em manutenção

Plano.	Órbita	RF	# GC	Lançamento	Início da Operação	Final da Operação	Tempo de operação (meses)	Situação
II	9	-2	722	25.12.07	25.01.08	14.05.08	6.3	Em manutenção
	10	04	717	25.12.06	03.04.07		18.3	Em operação
	11	00	723	25.12.07	22.01.08		6.3	Em operação
	13	-2	721	25.12.07	08.02.08		6.3	Em operação
	14	04	715	25.12.06	03.04.07		18.3	Em operação
	15	00	716	25.12.06	12.10.07		18.3	Em operação

Plano.	Órbita	RF	# GC	Lançamento	Início da Operação	Final da Operação	Tempo de operação (meses)	Situação
III	17	-1	718	26.10.07	04.12.07		8.3	Em operação
	19	03	720	26.10.07	25.11.07		8.3	Em operação
	20	02	719	26.10.07	27.11.07		8.3	Em operação
	23	03	714	25.12.05	31.08.06		30.3	Em operação
	24	02	713	25.12.05	31.08.06		30.3	Em operação

Fonte: GLONASS (2008)

APÊNDICE I

Monografias das Estações

MONOGRAFIA DE ESTAÇÃO

DADOS GERAIS

NOME DA ESTAÇÃO: TOCA
MUNICÍPIO: Paranaguá - PR
LOCALIDADE: Ilha do Mel

PROJETO

Investigações Quanto aos Parâmetros que Influenciam no Processamento de Dados GPS Visando a Geração do MDT do Esporão Arenoso da Ilha do Mel.

Coordenadas Geodésicas (WGS 84)

Latitude	Longitude	Altitude Elipsoidal
25° 32' 30,78177"S ($\sigma = \pm 0,002m$)	48° 18' 12,02976"W ($\sigma = \pm 0,002m$)	2,325m ($\sigma = \pm 0,005m$)

Descrição do Ponto

Ponto materializado por marcação no piso de madeira do estabelecimento comercial.

CROQUI



ITINERÁRIO

Chegando ao trapiche de desembarque de Brasília segue pela trilha principal até chegar ao Bar e Restaurante Toca do Abutre. O ponto está marcado no piso do estabelecimento, mais precisamente no canto noroeste da área dos Quiosques.

FOTO



MONOGRAFIA DE ESTAÇÃO

DADOS GERAIS

NOME DA ESTAÇÃO: CASA
MUNICÍPIO: Paranaguá - PR
LOCALIDADE: Ilha do Mel

PROJETO

Investigações Quanto aos Parâmetros que Influenciam no Processamento de Dados GPS Visando a Geração do MDT do Esporão Arenoso da Ilha do Mel.

Coordenadas Geodésicas (SIRGAS 2000)

Latitude	Longitude	Altitude Elipsoidal
25° 32' 27,94866"S ($\sigma = \pm 0,005\text{m}$)	48° 18' 17,20718"W ($\sigma = \pm 0,006\text{m}$)	2,831m ($\sigma = \pm 0,015\text{m}$)

Descrição do Ponto

Ponto materializado por um dos parafusos de fixação da madeira do piso da área em frente a residência. O ponto está envolvido por uma marcação a base de durepoxi.

CROQUI



ITINERÁRIO

Chegando ao trapiche de desembarque de Brasília segue pela trilha principal até chegar ao Bar e Restaurante Toca do Abutre. Ao lado deste restaurante existe uma trilha que dará acesso à praia. Segue por essa trilha em direção ao Istmo até a casa onde a estação está localizada. O ponto está localizado no piso da área da casa próximo à escada de acesso à mesma.

FOTO



MONOGRAFIA DE ESTAÇÃO

DADOS GERAIS

NOME DA ESTAÇÃO: CAS1
MUNICÍPIO: Paranaguá - PR
LOCALIDADE: Ilha do Mel

PROJETO

Investigações Quanto aos Parâmetros que Influenciam no Processamento de Dados GPS Visando a Geração do MDT do Esporão Arenoso da Ilha do Mel.

Coordenadas Geodésicas (SIRGAS 2000)

Latitude	Longitude	Altitude Elipsoidal
25° 32' 28, 01589"S	48° 18' 17, 10608"W	2,832m
($\sigma = \pm 0,005m$)	($\sigma = \pm 0,006m$)	($\sigma = \pm 0,015m$)

Descrição do Ponto

Ponto materializado por marcação na madeira do piso da área em frente à residência. O ponto está envolvido por uma marcação a base de durepoxi.

CROQUI



ITINERÁRIO

Chegando ao trapiche de desembarque de Brasília segue pela trilha principal até chegar ao Bar e Restaurante Toca do Abutre. Ao lado deste restaurante existe uma trilha que dará acesso à praia. Segue por essa trilha em direção ao Istmo até a casa onde a estação está localizada. O ponto está localizado no piso da área da residência, distante cerca de 3,5m da Estação CASA (ponto localizado próximo à escada) em direção ao Quiosque.

FOTO



MONOGRAFIA DE ESTAÇÃO

DADOS GERAIS

NOME DA ESTAÇÃO: CEM3
MUNICÍPIO: Pontal do Paraná - PR
LOCALIDADE: Centro de Estudos do Mar - UFPR

PROJETO

Investigações Quanto aos Parâmetros que Influenciam no Processamento de Dados GPS Visando a Geração do MDT do Esporão Arenoso da Ilha do Mel.

Coordenadas Geodésicas (WGS 84)

Latitude	Longitude	Altitude Elipsoidal
25°34' 26,76781"S ($\sigma = \pm 0,018\text{m}$)	48°21' 1,46895"W ($\sigma = \pm 0,020\text{m}$)	7,113m ($\sigma = \pm 0,027\text{m}$)

Descrição do Ponto

Ponto materializado por um pilar de alvenaria com dimensões de aproximadamente de 0,2m x 0,2m x 0,3m.

CROQUI



ITINERÁRIO

Chegando ao Centro de Estudos do Mar da UFPR (CEM) pela entrada principal na avenida Beira Mar em Pontal do Paraná, segue dentro das dependências do CEM à esquerda até o Laboratório de Oceanografia Geológica. A estação está localizada no telhado deste laboratório.

FOTO



APÊNDICE II

Relatórios de Ajustamento das Coordenadas das Estações Base

BASE TOCA

FILLNET - Ashtech Network Adjustment Package
 Copyright © 2002 Thales Navigation. All rights reserved.

quinta-feira, 6 de setembro de 2007 16:00:35

Network connectivity test: passed
 Number of sites: 3
 Number of vectors: 3

Adjustment type: Over constrained
 Control sites Constraints
 CEM3 Latitude Longitude Elevation
 PARA Latitude Longitude Elevation

Note: Bias constraint(s) applied by the program.
 See issue \"Adjusted Datum Bias Parameters\".

Adjustment Tests

Confidence level: 95.0%
 Number of
 obs. equations 10
 unknowns 7
 degrees of freedom 3
 Chi-square test: failed
 Lower limit: 0.215795
 Upper limit: 9.348404
 Chi-square: 0.012324
 Variance of Unit Weight: 0.004108
 Standard Error of Unit Weight: 0.064093
 Critical value for Tau-test: 1.723189
 Scale factor for a-priori vector sigmas: 1.00

Reference Ellipsoid Parameters

Equatorial radius (semi-major axis): 6378137.000
 Reciprocal of flattening: 298.257224000

Adjusted Datum Bias Parameters

Bias Parameters In Geocentric Cartesian System
 Rotation angle (seconds) Value Sigma
 X 0.109 0.006
 Y -0.124 0.007
 Z 0.749 0.011
 Scale correction (ppm) -0.196 0.043
Bias Parameters In Mapping Plane Horizontal System
 Rotation angle (seconds) Value Sigma
 Northing -0.747 0.011
 Easting 0.000 fixed
 Height 0.174 0.009
 Scale correction (ppm) -0.196 0.043

BASE CASA

FILLNET - Ashtech Network Adjustment Package
 Copyright © 2002 Thales Navigation. All rights reserved.

quinta-feira, 3 de abril de 2008 17:27:14

Network connectivity test: passed
 Number of sites: 3
 Number of vectors: 3

Adjustment type: Over constrained
 Control sites Constraints
 NEIA Latitude Longitude Elevation
 UFPR Latitude Longitude Elevation

Note: Bias constraint(s) applied by the program.
 See issue \"Adjusted Datum Bias Parameters\".

Adjustment Tests

Confidence level: 95.0%
 Number of
 obs. equations 10
 unknowns 7
 degrees of freedom 3
 Chi-square test: failed
 Lower limit: 0.215795
 Upper limit: 9.348404
 Chi-square: 0.068854
 Variance of Unit Weight: 0.022951
 Standard Error of Unit Weight: 0.151497
 Critical value for Tau-test: 1.723189
 Scale factor for a-priori vector sigmas: 1.00

Reference Ellipsoid Parameters

Equatorial radius (semi-major axis): 6378137.000
 Reciprocal of flattening: 298.257222000

Adjusted Datum Bias Parameters

Bias Parameters In Geocentric Cartesian System
 Rotation angle (seconds) Value Sigma
 X 0.100 0.031
 Y 0.084 0.028
 Z -0.001 0.004
 Scale correction (ppm) 0.137 0.063
Bias Parameters In Mapping Plane Horizontal System
 Rotation angle (seconds) Value Sigma
 Northing 0.000 fixed
 Easting -0.130 0.041
 Height -0.003 0.009
 Scale correction (ppm) 0.137 0.063

BASE CEM3

FILLNET - Ashtech Network Adjustment Package
 Copyright © 2002 Thales Navigation. All rights reserved.

quarta-feira, 01 de dezembro de 2004 18:19:44

Network connectivity test: passed

Number of sites: 4

Number of vectors: 16

Adjustment type: Minimally constrained

Control sites Constraints

SUL_ Latitude Longitude Elevation

Adjustment Tests

Confidence level: 95,0%

Number of

obs. equations 52

unknowns 13

degrees of freedom 39

Chi-square test: failed

Lower limit: 23,654325

Upper limit: 58,120060

Chi-square: 4,217558

Variance of Unit Weight: 0,108143

Standard Error of Unit Weight: 0,328850

Critical value for Tau-test: 3,130139

Scale factor for a-priori vector sigmas: 1,00

Reference Ellipsoid Parameters

Equatorial radius (semi-major axis): 6378137,000

Reciprocal of flattening: 298,257224000

Adjusted Datum Bias Parameters

Bias Parameters In Geocentric Cartesian System

Rotation angle (seconds)	Value	Sigma
X	-0,000	fixed
Y	-0,000	fixed
Z	0,000	fixed
Scale correction (ppm)	0,000	fixed

Bias Parameters In Mapping Plane Horizontal System

Rotation angle (seconds)	Value	Sigma
Northing	0,000	fixed
Easting	0,000	fixed
Height	0,000	fixed
Scale correction (ppm)	0,000	fixed