

MILTON DE AZEVEDO CAMPOS

CONTROLE DA REDE GEODÉSICA BRASILEIRA
POR MEIO DE SATÉLITES DO SISTEMA NNSS

Tese apresentada para obtenção do Grau
de Doutor no Curso de Pós-Graduação em
Ciências Geodésicas da Universidade Fe-
deral do Paraná.

CURITIBA
1987

CONTROLE DA REDE GEODÉSICA BRASILEIRA
POR MEIO DE SATÉLITES DO SISTEMA NNSS

por

MILTON DE AZEVEDO CAMPOS

Tese aprovada como requisito parcial
para obtenção do grau de Doutor no
Curso de Pós-Graduação em Ciências
Geodésicas, pela Comissão formada por
os professores :

ORIENTADORES :

Günter Seebö
Prof.Dr. Günter Seebö

José Bittencourt de Andrade
Prof.Dr. J. Bittencourt de Andrade

Camil Genacel
Prof.Dr. Camil Genacel

Dmitry Blizkow
Prof.Dr. Dmitzar Blitzkow

Flávio E. Kirschner
Prof. Dr. Flávio Kirschner

Curitiba, 07 de outubro de 1987.

Agradeço a todos que colaboraram para a realização deste Projeto e em especial ao Dr. Gunter Seeber, pela confiança, orientação e amizade.

Dedico este trabalho à minha Mãe pelo seu exemplo de luta, trabalho, dedicação e amor, e às minhas filhas, genro e neto: Carla, Marla, Paulo e Paulinho, pela compreensão e apoio.

SUMÁRIO

Introdução	01
1. Histórico, Estrutura e Atualidade do Sistema Geodésico Brasileiro	03
1.1 Histórico	03
1.2 Definição do Sistema Geodésico Brasileiro	05
1.3 Caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro ...	05
1.4 Especificações da Triangulação	07
1.5 Especificações do Ajustamento	07
1.6 Atualidade do Sistema Geodésico Brasileiro.....	09
2. Sistema NNSS	12
2.1 Descrição do Sistema	12
2.2 Utilização no Brasil	14
2.3 Trabalhos de Pesquisa	14
2.4 Fundamentos do Sistema NNSS	16
2.5 Métodos de Posicionamento por Satélite	22
2.6 Sistema de Programas de Processamento	25
3. Coleta de dados-Projeto Controle da Rede Geodésica Brasileira	52
3.1 Introdução	52
3.2 Objetivo do Projeto	52
3.3 Definição da Área e Vértices a serem rastreados ..	52
3.4 Ocupação dos Vértices da RTGB	54

4. Processamento e Resultados.....	59
4.1 Processamento	59
4.2 Altura do Geóide	74
4.3 Parâmetros de Transformação	77
4.4 Escala	82
4.5 Orientação	87
4.6 Precisão	88
5. Transição do Posicionamento por Satélites NNSS para GPS	105
5.1 Considerações sobre o GPS	105
5.2 Transição NNSS para GPS	107
6. Conclusões	109

LISTA DE TABELAS

3.1	Vértices Escolhidos para Rastreo	53
4.1	Resumo das Passagens recebidas e processadas	60
4.2	Coordenadas da Solução em Ponto Simples PS EO Sistema NWL 10D	65
4.3	Coordenadas da Solução em Ponto Simples PS EP Sistema NSWC 9Z-2	67
4.4	Coordenadas da Solução em Multi-Estação ME EO Sistema NWL 10D	71
4.5	Coordenadas da Solução em Multi-Estação ME EP Sistema NSWC 9Z-2	73
4.6	Altura do Geóide	76
4.7	Parâmetros de Transformação NWL 10D e SGB	80
4.8	Parâmetros de Transformação NWL 10D/SGB; NSWC 9Z-2/NWL 10D; com 3 e 7 Parâmetros.....	81
4.9	Distâncias, Diferenças de distâncias, azimutes e altura SGB menos NWL 10D	84
4.10	Trecho dos resultados do cálculo de distância direta.....	86
4.11	Diferenças de coordenadas SGB menos NWL 10D	89
4.12	Coordenadas da Rede de Triangulação Geodésica Bra- sileira (RTGB)	90
4.13	Resíduos de comparação entre coordenadas do SGB e solução ME EO com parâmetros da área TOTAL	96

4.14	Resíduos de comparação entre coordenadas do SGB e solução ME ED com parâmetros da área NORTE	97
4.15	Resíduos de comparação entre coordenadas do SGB e solução ME ED com parâmetros da área SUL	98
4.16	Resíduos de comparação entre coordenadas do SGB e solução ME ED com parâmetros do IBGE	99

LISTA DE FIGURAS

1.1	Rede de Triangulação Geodésica Brasileira	10
1.2	Trecho da RTGB com os Vértices ocupados	11
2.1	Geometria do Efeito Doppler	16
2.2	Diferença de Distância	20
2.3	Geometria da Hipérbole	20
2.4	Interseção das Hiperbolóides	21
2.5	Contagem Doppler	30
3.1	Cronograma de Rastreo	57
4.1	Precisão em função do número de passagens	64
4.2	Diferenças de precisão entre soluções com efemé- rides operacionais e efemérides precisas	68
4.3	Comparação entre os sigmas σ a posteriori do cálcu- lo de parâmetros de transformação	75
4.4	Áreas da RTGB para cálculo dos parâmetros de trans- formação	77
4.5	Curvas de mesma diferença de coordenadas (RTGB me- nos NSWC 9Z-2).....	91
4.6	Caderneta de campo Pedra Preta	92
4.7	Resíduos em latitude	100
4.8	Resíduos em longitude	100
4.9	Resíduos em altura	101
4.10	Resíduos em latitude, longitude e altura -TOTAL ..	102
4.11	Resíduos em latitude, longitude e altura -NORTE ..	102

4.12	Resíduos em latitude, longitude e altura -SUL103
4.13	Resíduos em latitude, longitude e altura -IBGE	...103
4.14	Composição das diferenças em latitude e longitude	104

LISTA DE ABREVIATURAS

AC	Arco-Curto
APL	Applied Physics Laboratories
BA	Vértice Base Aérea (Florianópolis) (SC)
BP	Vértice Base Pista (Florianópolis) (SC)
BS	Vértice Bocaiúva do Sul (PR)
CC	Vértice Cerro Chato (PR)
CIO	Conventional International Origin
CPA	Closest Point of Approach
CPGCG	Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
DL	Vértice Dona Luiza (PR)
DMAHTC	Defense Mapping Agency Hydrographic Topographic Center
DISCOS	Disturbance Compensation System
ES	Vértice Esmeralda (RS)
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GAST	Greenwich Apparent Sideral Time
GEM 9	Goddard Earth Modell
GPS	Global Positioning System
GTZ	Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit
IAGS	Interamerican Geodetic Survey
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFE	Institut fuer Erdmessung
ITCF	Instituto de Terras, Cartografia e Florestas

JBA 84 Programa para determinação de parâmetros de transformação[05]

MC Vértice Matos Costa (Base Este) (SC)

ME ED Multi-Estação com Efemérides Operacionais

ME EP Multi-Estação com Efemérides Precisas

MI Vértice Mirante II (SC)

NNSS Navy Navigation Satellite System

NSWC Naval Surface Weapons Center

NWL Naval Weapon Laboratory

PMA Ponto de maior aproximação

PP Vértice Pedra Preta (PR)

PS ED Ponto Simples com Efemérides Operacionais

PS EP Ponto Simples com Efemérides Precisas

RFA República Federal da Alemanha

RS Rio Grande do Sul

RTGB Rede de Triangulação Geodésica Brasileira

SAD 69 Datum Sul Americano 1969

SGB Sistema Geodésico Brasileiro

SGE Serviço Geográfico do Exército

SP Vértice Spitzkopf (SC)

UFPr Universidade Federal do Paraná

UH Universitaet Hannover

UTC Tempo Universal Coordenado

VG Vértice Vera Guarani (PR)

WGS 72 World Geodetic System 1972

WGS 84 World Geodetic System 1984

ABSTRACT

On 11 points of the Brazilian Triangulation Geodetic Network (RTGB) a Doppler campaign was carried out from April 16 to May 10 1985 under grant of GTZ (Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit), IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) and FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos). The main objective of the campaign was to compare coordinates of the RTGB with coordinates based on simultaneous Doppler observation with Geodetic receivers to verify its accuracy, scale, orientation and homogeneity. The data processing was carried out with the Short-Arc program GEODOP V with Broadcast and Precise Ephemeris for Single Point and Multistation solutions. The RTGB coordinates were compared to Multistation solution with Broadcast Ephemeris after a three dimensional 3- parameters transformation.

RESUMO

Em 11 pontos da Rede de Triangulação Geodésica Brasileira (RTGB) uma campanha Doppler foi realizada de 16 de abril a 10 de maio de 1985, com o apoio da GTZ-(Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit), IBGE-(Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e da FINEP_(Financiadora de Estudos e Projetos). O objetivo principal da campanha foi o de comparar as coordenadas da RTGB com as coordenadas obtidas de observações simultâneas Doppler com receptores geodésicos para verificar sua precisão, escala, orientação e homogeneidade. O processamento dos dados foi realizado com o programa GEODOP V com modelo em Arco-Curto, empregando efemérides precisas e operacionais para soluções em Ponto Simples e em Multi-Estação. As coordenadas da RTGB foram comparadas com as coordenadas da solução em Multi-Estação com efemérides operacionais, após o emprego de 3 parâmetros de transformação tridimensionais.

INTRODUÇÃO

No Brasil, o emprego do Método Doppler para posicionamento em Ponto Simples tem sido realizado desde 1971[67], porém nenhuma investigação científica para posicionamento Doppler em Multi-Estação havia ainda sido realizada até 1985.

Este projeto de pesquisa tem como objetivo principal estudar o comportamento do Método Doppler na solução Multi-Estação e como essa solução pode ser utilizada para o controle da RTGB.

O Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (CPGCG), da Universidade Federal do Paraná (UFPr), possui desde 1979 um rastreador Marconi CMA 751 para pesquisas sobre posicionamento Doppler. Em 1985 dentro do Convenio de Cooperação Técnica Brasil-República Federal da Alemanha e com o apoio da Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit (GTZ), da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), do Instituto de Terras, Cartografia e Florestas (ITCF), da Universidade Federal do Paraná (UFPr), do Institut fuer Erdmessung (IFE) da Universidade de Hannover (UH) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), foi possível o início deste projeto de pesquisa.

O Capítulo Primeiro aborda o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) quanto à sua implantação, estrutura e atualidade.

O Capítulo Segundo trata do Sistema NNSS descrição, trabalhos e pesquisas no Brasil e análise dos aspectos operacionais da versão em FORTRAN 77 do Programa GEODOP V.

O Capítulo Terceiro descreve o planejamento e a execução do Projeto elaborado para obtenção dos dados de campo nos seus aspectos operacionais e logísticos.

O Capítulo Quarto apresenta os critérios adotados no processamento de dados, os resultados obtidos, a comparação entre as soluções do sistema Doppler e o sistema RTGB, os parâmetros de transformação obtidos, a altura do Geóide, a escala, a orientação e a análise da comparação entre os sistemas Doppler e RTGB.

O Capítulo Quinto apresenta breve análise da transição do sistema Transit para o Global Positioning System (GPS).

O Capítulo Sexto apresenta as conclusões e sugestões.

Este trabalho compartilha os dados de campo e se completa com quatro dissertações de mestrado de alunos do CPGCG.

1. HISTÓRICO, ESTRUTURA E ATUALIDADE DO SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

1.1 HISTÓRICO

O Gen. Moysés CASTELO BRANCO Fo. relata em[21] a história da implantação do Sistema Geodésico Brasileiro(SGB) do qual transcrevemos o seguinte:

" A Comissão da Carta Geral do Império (1873-1874) executou a primeira triangulação geodésica do Brasil, no Município Neutro (Triangulação Pereira Reis), a qual foi aproveitada pela Missão Austríaca, em 1920, para o levantamento da Carta do Distrito Federal (Município da Cidade do Rio de Janeiro, então capital do Brasil).

A Comissão da Carta Geral do Brasil (1903-1932) elaborou o Projeto "A Carta do Brasil". O Projeto começava pela triangulação do Rio Grande do Sul e, adotando o modelo da França (Triangulação dos Engenheiros Geógrafos), tinha por objetivo cobrir o Estado por uma rede de triângulos

muito bem conformada: tres cadeias ao longo de paralelos e tres cadeias ao longo de meridianos. Em Porto Alegre foi instalado o Observatório Astronômico da Comissão; em Torres, o marégrafo, para servir como referência-Datum ao nivelamento de precisão; e, em Santa Vitoria do Palmar, foi medida a primeira grande base geodésica com equipamento INVAR (20.352,7609 metros)."

Entre 1947 e 1959 foi estabelecida a triangulação na área onde o autor realizou seus trabalhos de pesquisa.

1.2 Definição do Sistema Geodésico Brasileiro

"O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) é realizado a partir do conjunto de pontos geodésicos implantados na porção da superfície terrestre delimitada pelas fronteiras do país."

1.3 Caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro

"Para o SGB, a imagem geométrica da Terra é definida pelo Sistema Internacional de Referência 1967.

O referencial altimétrico coincide com a superfície equipotencial passante pelo zero do marégrafo de Imbituba no litoral do Estado de Santa Catarina.

O SGB integra o Sistema Sul Americano (SAD 69), definido a partir dos parâmetros:

a (semi-eixo maior) = 6378160,000m ;

f (achatamento) = 1/298,25 .

Eixo de rotação paralelo ao eixo médio terrestre com sentido positivo para o CIO - Conventional Internatio-

nal Origin.

Plano meridiano origem paralelo ao plano meridiano de Greenwich, como definido pelo BIH (Bureau International de l'Heure).

Ponto origem - no vértice CHUÁ da cadeia de triangulação do paralelo 20 S.

Latitude = 19 45' 41,6527" S

Longitude = 48 06' 04,0639" W

Azimute = 271 30' 04,05" SWNE para VT-UBERABA.

Ondulação do geóide = 0,0m. [29]

1.4 Especificações da triangulação *

*Instrumental

Wild T3 para triangulação

Wild T4 para Pontos de Laplace

Medição angular

Método das direções com 16 séries em pontaria completa.

Fechamento

Máximo por triângulos 3,00"

Média inferior a 1,00"

Base

Erro relativo 1/100.000

Medição INVAR. [85]

(*) Para a área do Projeto.

1.5 Especificações do ajustamento **

*Ajustamento simultâneo de 1277 estações de 1ª. ordem com o Método de Variação de Coordenadas.

Todas as coordenadas astronômicas foram reduzidas ao CIO (Conventional

International Origin). Todas as linhas de base foram reduzidas ao elipsóide.

Nove estações da cadeia sul foram mantidas fixas no ajustamento, a saber :

399-Cinamomo, 401-Reserva, 542-Santa Terezinha, 554-Anita Garibaldi, 705-Sarreiro, 718-Mulato, 1034-Santa Maria II, 1036-Buriti, e 1220-Chuá.

Número de estações ajustadas : 1277.

Número de equações de observações : 6865 .

Número de Laplace (80) e de linhas de base : (62).

Máxima correção para uma direção da Estação 1462 para a Estação 1461 +/- 2,78". [85]

(**) Realizado pelo IBGE e IAGS (Interamerican Geodetic Survey) entre 1969 e 1972.

1.6 Atualidade do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB)

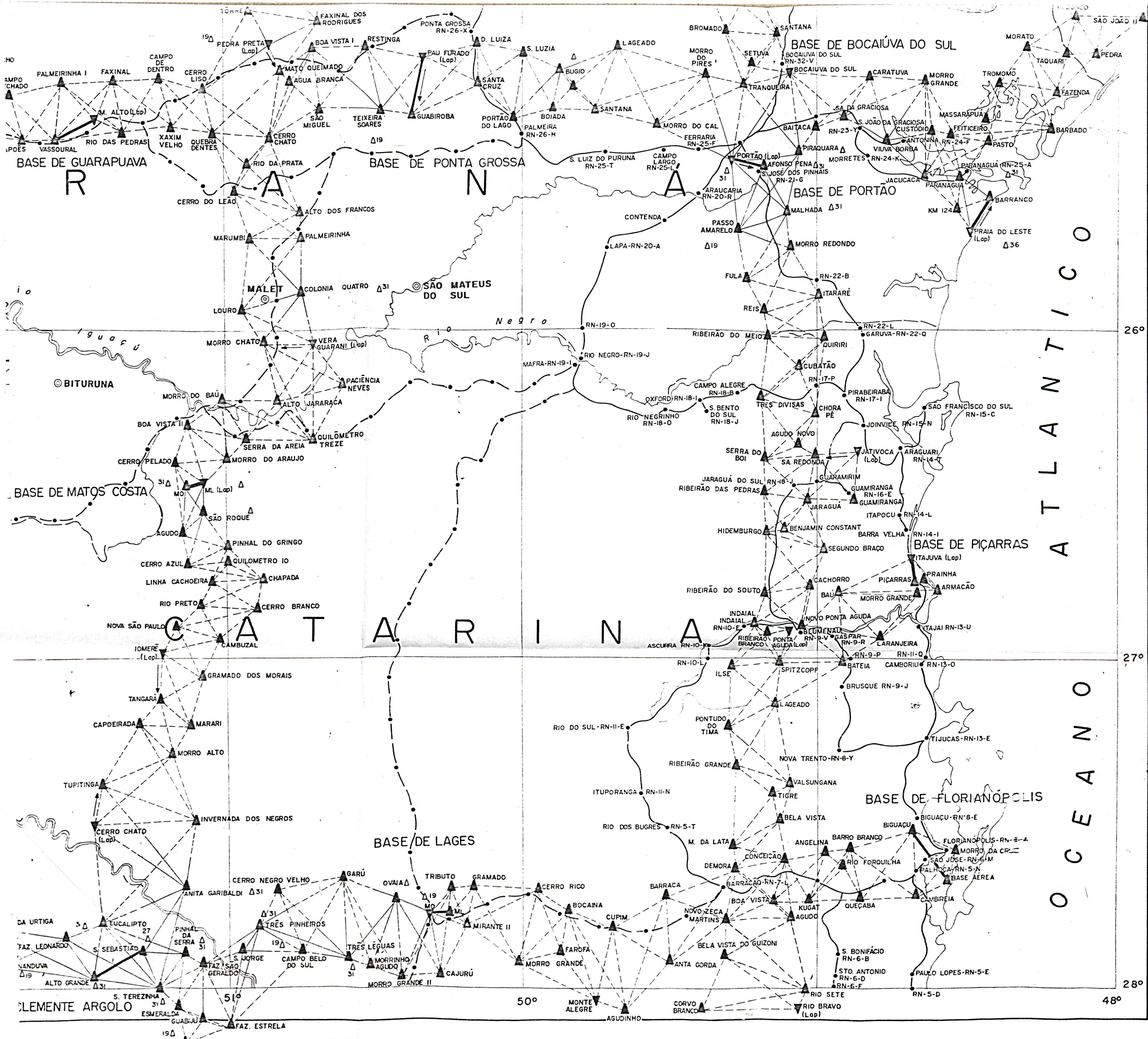
O SGB, figura 1.1, é composto de aproximadamente 4000 estações, entre vértices de triangulação e poligonação e foram ajustadas em blocos, num total de 60 blocos, dos quais 10, que correspondem a 60% do SGB, foram ajustadas por volta de 1972 pelo IAGS (Interamerican Geodetic Survey) por ocasião da definição do Datum Sul Americano (SAD 69)[82].

Atualmente, a Fundação IBGE está empenhada em reajustar o SGB com o Projeto REPLAN - Reajustamento da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro.

Em um anel da Rede de Triangulação Geodésica Brasileira (RTGB), figura 1.2, entre os paralelos 25 e 28 graus sul e os meridianos 48 e 52 graus oeste, que faz parte do bloco 1 do ajustamento realizado pelo IAGS, o autor realizou o presente trabalho.

FIGURA 1.1 - REDE DE TRIANGULAÇÃO GEODÉSICA BRASILEIRA
[28]





BASE DE GUARAPUAVA

R

BASE DE PONTA GROSSA

N

BASE DE BOCAIÚVA DO SUL

BASE DE PORTÃO

BASE DE MATOS COSTA

BASE DE PIÇARRAS

BASE DE LAGES

BASE DE FLORIANÓPOLIS

CELEMENTE ARGOLLO

BITURUNA

SÃO MATEUS DO SUL

NOVA SÃO PAULO

FAZ. LEONARDO

S. TEREZINHA

ANITA GARIBALDI

S. JORGE

GRAMADO

MORRO GRANDE II

MONTE ALEGRE

CORVO BRANCO

S. BONIFÁCIO

STO. ANTONIO

PAULO LOPES

FLORIANÓPOLIS

RIO SETE

RIO BRAVO

O C E A N O A T L A N T I C O

O C E A N O

26°

27°

28°

50°

51°

FIGURA 1.2 - TRECHO DA RTGB COM OS VÉRTICES OCUPADOS

2. SISTEMA NNSS

2.1 Descrição do sistema

O desenvolvimento do NAVY NAVIGATION SATELLITE SYSTEM (NNSS) teve início em 1958 no Applied Physics Laboratories (APL) da John Hopkins University.

Em 1963 o sistema entrou em atividades para a U.S.NAVY. A partir de 1967 teve início sua utilização comercial. Os projetos de desenvolvimento foram muito bem sucedidos e resultaram na melhora da predição das órbitas e no desenvolvimento de uma nova geração de satélites. Até 1980 os satélites lançados eram da série OSCAR. A partir de 1981 começaram a ser lançados também os satélites da série NOVA.

As principais melhorias apresentadas pelos satélites da série NOVA foram : a estabilidade de frequência; a estabilidade em órbita por meio de um sistema de compensação denominado DISCOS (Disturbance Compensation System) e o aumento da potência de transmissão dos sinais, 5 Watt para a frequência de 400 MHz e de 3 Watt para a frequência de 150 MHz, contra os 2 e 1 Watt respectivamente dos satélites da série OSCAR.

Os satélites estão numa órbita polar circular, numa altitude aproximada de 1075 km, com um período aproximado de 107 minutos.

Duas frequências portadoras, harmonicamente relacionadas de : 400 MHz e 150 MHz, são transmitidas pelos satélites. As portadoras são moduladas em fase, levando a mesma informa-

ção, a qual consiste de :

- sinais de tempo;
- informações orbitais;
- identificação do satélite e
- sinais indicadores.

O sinal de tempo aparece cada 2 minutos como uma marca indicadora de tempo. Os sinais de tempo emitidos pelos satélites estão dentro de $200 \mu s$ do Tempo Universal Coordenado (UTC)[70], e são usados como referência.

As informações orbitais consistem de parâmetros que definem uma elipse média da órbita do satélite num instante T_0 e de parâmetros efêmeros que definem o desvio temporal do satélite da órbita média.

Por ocasião dos trabalhos de campo, abril - maio de 1985, estavam em órbita os satélites 3011, 3013, 3020, 3048 e 3050.

Em agosto de 1985 foram colocados em órbita os satélites da série OSCAR 3024 e 3030.

Atualmente, junho de 1987, estão em atividades os satélites OSCAR 3011, 3013, 3020, 3030 e NOVA 3048 e 3050.

O Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América do Norte planeja manter o sistema em operação até 1994.

2.2 Utilização no Brasil

O posicionamento Doppler tem sido largamente empregado no Brasil desde 1971, principalmente em trabalhos na Amazônia.

Essa utilização tem se limitado à determinação de Ponto Simples, com programas fornecidos pelos fabricantes.

As expedições brasileiras na Antártida tem também feito uso do posicionamento por satélites.

O Serviço Geográfico do Exército (SGE) e o IBGE realizam com grande frequência o posicionamento Doppler em Ponto Simples. Até 1985, o IBGE já havia rastreado e processado 895 pontos satélite[27].

2.3 Trabalhos de pesquisa

Em 1974, foi realizado no Rio de Janeiro o I Simpósio Brasileiro de Geodésia por Satélite.

Em 1976, o Dr. David Wells implantou os programas FORMAT, MAJORITY, PREPAR, ANALYSIS e ONESTN no Instituto Militar de Engenharia (IME).

Em 1976, como Projeto Final de Curso, uma turma do Instituto Militar de Engenharia deu início ao trabalho de determinação de parâmetros de transformação, com dados de posições isoladas com processamento em Ponto Simples.

Em 1978, foram publicados dois trabalhos de pesquisa para determinação de parâmetros de transformação, com proces-

samento em Ponto Simples[02,39].

Em 1979, também utilizando o posicionamento de Ponto Simples, foi apresentado um trabalho de verificação de distâncias entre posições ajustadas[26].

A UFPR vem desde 1979 se preocupando em pesquisar a utilização e o emprêgo do posicionamento Doppler pelo Sistema NNSS. Com esse objetivo adquiriu em 1979 um rastreador Marconi CMA 751.

Em 1985, dentro do Convênio de Cooperação Técnica Brasil - República Federal da Alemanha e por sugestão e orientação do Dr. Günter Seeber, da Universidade de Hannover, o autor deu início ao primeiro trabalho científico de pesquisa no Brasil, de posicionamento Doppler com solução em Multi-Estação, com o objetivo de analisar e avaliar o comportamento do Método Doppler na solução Multi-Estação com modelo em Arco-Curto, e, como esse tipo de solução pode ser empregado no Brasil, para o controle da Rede de Triangulação Geodésica Brasileira (RTGB).

Este trabalho de pesquisa deu origem a quatro teses de mestrado, e uma de doutorado (do autor), as quais se interligam através dos dados e se completam nas conclusões e análises.

2.4 Fundamentos do Sistema NNSS

2.4.1 Efeito Doppler

O efeito Doppler foi analisado e observado por Christian Doppler (1803-1853).[32]

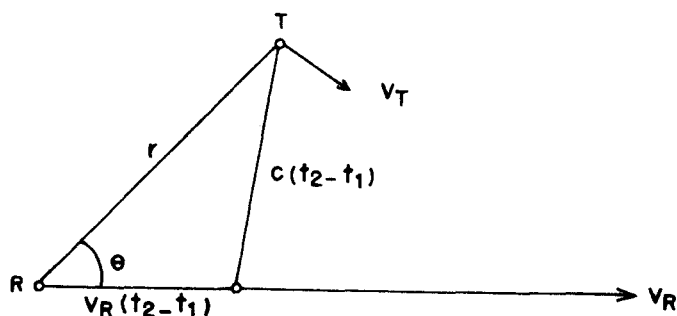
Seja um transmissor T com velocidade v_T e um receptor R com velocidade v_R .

Seja o vácuo o meio de propagação, com velocidade constante de propagação c .

No instante de transmissão t_1 um sinal é emitido de T. A distância entre R e T, no instante t_1 , é r . O sinal é recebido por R no instante t_2 .

Se v_R é constante no intervalo $t_2 - t_1$, então R terá percorrido a distância $v_R (t_2 - t_1)$ e o sinal percorrido a distância $c(t_2 - t_1)$; (figura 2.1).

FIGURA 2.1 - GEOMETRIA DO EFEITO DOPPLER



Pela Lei dos cossenos

$$c^2(t_2 - t_1)^2 = v_R^2(t_2 - t_1)^2 + r^2 - 2v_R(t_2 - t_1)r \cos\theta \quad (2.1)$$

ou

$$t_2 - t_1 = \frac{r}{c - v_R} \left(\sqrt{c^2 - v_R^2 \sin^2\theta} - v_R \cos\theta \right) \quad (2.2)$$

Diferenciando em relação a t_1 tem-se :

$$dt_2 = dt_1 \left\{ 1 + \frac{d}{dt_1} \left| \frac{r}{c - v_R} \left(\sqrt{c^2 - v_R^2 \sin^2\theta} - v_R \cos\theta \right) \right| \right\} \quad (2.3)$$

Se o período do sinal transmitido for suficientemente curto, tal que r e v_R possam ser assumidos como constantes em relação a um período, tem-se então

$$P_R = P_T \left\{ 1 + \frac{d}{dt_1} \left| \frac{r}{c - v_R} \left(\sqrt{c^2 - v_R^2 \sin^2\theta} - v_R \cos\theta \right) \right| \right\} \quad (2.4)$$

Se a velocidade do receptor v_R for pequena comparada com a velocidade de propagação c pode-se escrever:

$$P_R = P_T \left\{ 1 + \frac{1}{c} \frac{dr}{dt_1} \right\} \quad (2.5)$$

ou em termos de frequência

$$f_R = f_T \left(1 + \frac{1}{c} \frac{dr}{dt_1} \right)^{-1} \quad (2.6)$$

Se a velocidade $\frac{dr}{dt_1}$ for pequena, comparada com a velocidade de propagação, pode-se escrever

$$f_R = f_T \left(1 - \frac{1}{c} \frac{dr}{dt_1} \right) \quad (2.7)$$

Esta aproximação só é válida quando são ignorados os efeitos relativistas.

f_R = frequência recebida

f_T = frequência transmitida.

2.4.2 Técnica da observação DOPPLER

Uma frequência constante f_T é transmitida pelo rádio-transmissor do satélite, a qual propaga-se e é recebida por rádio-receptores com uma diferença de frequência Δf . Esta diferença de frequência Δf é proporcional à velocidade com a qual o rádio-transmissor desloca-se em direção ao rádio-receptor. A frequência recebida f_R é maior se o movimento for de aproximação em direção ao receptor e será menor se o movimento for de afastamento.

$$\Delta f = f_T - f_R \quad (2.8)$$

A medida da frequência é obtida contando-se o número de ciclos (n) dentro de um intervalo de tempo Δt e calculando-se o quociente.

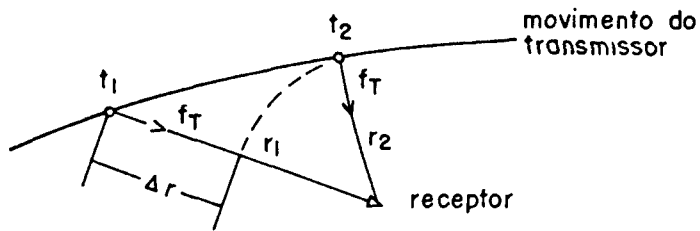
$$f = \frac{n}{\Delta t} \quad (2.9)$$

Uma medida instantânea da frequência recebida não pode ser realizada, em razão da dependência do movimento, o qual é função do tempo, como é também f . O valor medido é um número de ciclos dentro de um intervalo de tempo ($t_2 - t_1$), tal que

$$N = \int_{t_1}^{t_2} (f_T - f_R) dt \quad (2.10)$$

Esta medida é conhecida como contagem integrada Doppler, a qual é proporcional à diferença de distância Δr , conforme a figura 2.2.

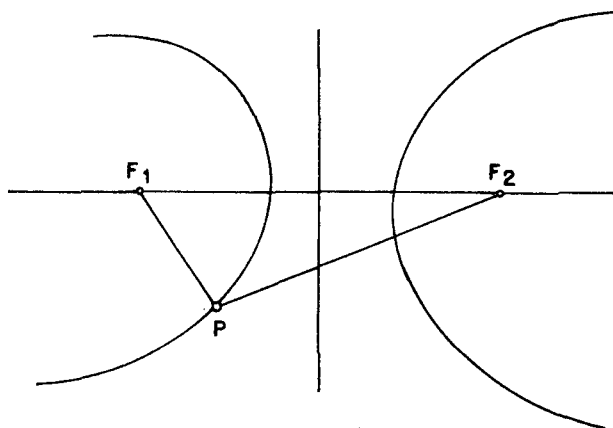
FIGURA 2.2 DIFERENÇA DE DISTÂNCIA



Do ponto de vista geométrico sabemos que uma hipérbole (hiperbolóide no espaço tridimensional) é definida por dois focos (F_1 e F_2) e uma diferença constante de distância de um ponto genérico P aos focos (F_{1P} e F_{2P}), ou seja, para qualquer ponto P na hipérbole, Figura 2.3,

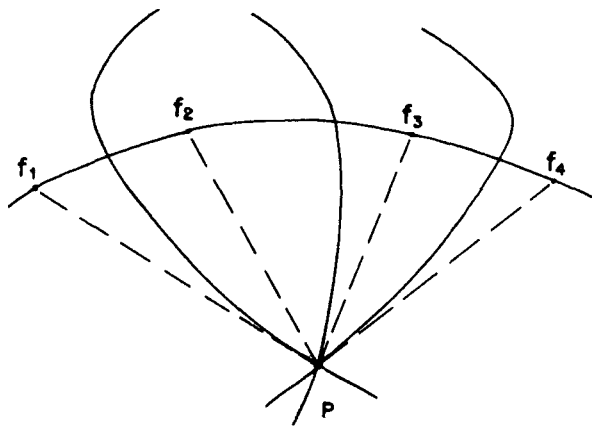
$$F_{1P} - F_{2P} = \text{constante} \quad (2.11)$$

FIGURA 2.3 - GEOMETRIA DA HIPÉRBOLE



Conhecendo-se a posição do transmissor em no mínimo 4 instantes e as relativas tres diferenças de distâncias entre as posições do transmissor e a posição do receptor no ponto P, tres hiperbolóides podem ser determinadas, as quais tem em comum o ponto P (figura 2.4).

FIGURA 2.4 - INTERSEÇÃO DAS HIPERBOLÓIDES



Baseado neste princípio, foi desenvolvido o Sistema NNSS.

2.5 Métodos de posicionamento por satélite

Métodos de posicionamento Doppler :

órbitas não sujeitas ao ajustamento :

Ponto Simples e

Translocação

órbitas sujeitas ao ajustamento :

Semi Arco-Curto e

Arco-Curto .

Ponto Simples consiste na redução das observações realizadas por uma determinada estação, assumindo que as efemérides de todas as passagens observadas sejam perfeitamente conhecidas. Os parâmetros para a solução são as coordenadas X, Y, Z e a variação de frequência (off-set).

A vantagem do Ponto Simples é que a redução é menos trabalhosa e pode ser realizada no campo, em tempo real, com microprocessadores embutidos nos receptores.

Translocação é uma forma especial de Ponto Simples que requer a participação de no mínimo dois receptores. Estes são posicionados em estações, sendo uma de coordenadas conhecidas e são operadas simultaneamente de forma tal que um conjunto de passagens comuns possam ser observados.

Quando a separação entre as estações não é grande comparada com a altitude do satélite, os efeitos dos erros das efemérides tendem a ser aproximadamente os mesmos para as duas

estações. Como resultado, a posição relativa da estação é determinada com um maior grau de precisão, do que com Ponto Simples.

No caso mais comum de translocação um receptor permanece fixo numa estação de coordenadas conhecidas em um dado Datum e um segundo receptor, sequencialmente, ocupa outras estações desconhecidas que formam a rede.

Com receptores geodésicos empregando efemérides operacionais espera-se posições relativas com precisão melhor do que 1 metro.

Semi-Arc-Curtw é o método no qual são dados de um a seis graus de liberdade às efemérides .

Arc-Curtw é o método no qual é feito um recálculo da órbita num campo de gravidade com respeito às observações. É o método mais adequado na redução das observações Doppler[17]. As observações de todas as estações da rede são ajustadas simultaneamente, o que conduz na determinação de :

- coordenadas X, Y, Z de todas as estações envolvidas ;
- valores ajustados dos seis elementos orbitais ;
- um conjunto atualizado de coeficientes de erro para cada estação participante, em cada passagem: o ajuste de zero (zero set), tendência de retardo do sinal (timing bias), deriva de frequência (frequency drift) e coeficiente de refração[17].

Uma combinação das vantagens dos métodos de Translocação e de Ponto Simples, conduz ao método denominado Solução em Multi-Estação : as estações são operadas de modo independente, semelhante ao posicionamento de Ponto Simples, com sobreposi-

ção de uma ou mais estações para permitir a "ligação" com as demais estações. As estações são processadas simultaneamente, incluindo uma estimativa das tendências sistemáticas (biases) orbitais e da estação [50].

2.6 Sistema de programas de processamento

2.6.1 Evolução

Diversos programas para processamento dos dados Doppler foram desenvolvidos nos últimos anos.

Alguns receptores modernos incorporam microprocessadores que permitem a determinação de coordenadas em tempo real com a utilização de efemérides operacionais, o que é suficiente para aplicações onde a precisão da ordem de 5 metros satisfaz. Porém, para se alcançar melhor precisão é necessário o uso das efemérides precisas ou o ajustamento de observações simultâneas em um mesmo processamento com programas mais elaborados. Muitos programas foram desenvolvidos dos quais citaremos os principais[70] :

DOPSAT/DOPWELLS	de	D.E.WELLS
GEODOP	de	J.KOUBA e J.D.BOAL
DOPPLR	de	R.W.SMITH e C. SCHWARZ
SAGA	de	D.C. BROWN
ORBSPP/ORBNET	de	R.PAQUET e USANDIVARAS
GDI	de	C. BOUCHER
ORBDOP	de	H. HAUCK e J.KOUBA

Neste trabalho, o autor utilizou o programa GEODOP versão V em linguagem FORTRAN 77, adaptado por J.SIEBOLD [80] e doado para fins de pesquisa para a UFPr. pelo Institut fuer

Erdmessung da Universidade de Hannover, e implantado no sistema DEC-10 da UFPr..

Abrangente descrição e formulação matemática dos programas GEODOP III e GEODOP V com modelo em Arco-Curto ou Semi-Arco-Curto, encontram-se em [7,10,24,34,44,47,49,53,56,61,69,70,75,90 e 96].

2.6.2 Sistema de programas GEODOP V

O sistema de programas GEODOP V é composto por 6 programas principais :

EGMJV, PREDOP, PREPAR, MERGE, NWLFIT e GEODOP.

Para o processamento destes programas existem 4 programas auxiliares :

PRERED, NWLDUN, POSRED e EPHM.

os quais são necessários para a interpretação de saída e a modificação de entrada para outros processamentos.

O programa PRERED (opcional) é empregado para ler os dados binários entre os programas PREDOP, PREPAR ou MERGE e o programa GEODOP.

O programa NWLDUN (opcional) é empregado para ler os dados binários entre o programa NWLFIT e o programa MERGE.

O programa POSRED interpreta a solução binária de saída do programa GEODOP.

O programa EPHM permite ler e copiar do programa GEODOP V com modelo em Arco-Curto, os valores calculados das efemérides das órbitas dos satélites.

2.6.2.1 EGMJV

Durante o tempo em que a frequência modulada é enviada pelo satélite e detetada pelo receptor de rastreio, ela sofre a influência de várias formas de interferência, o que geralmente resulta em decodificação com dados falsos ou com caracteres não numéricos. Inicialmente todos os caracteres não numéricos são eliminados e então para evitar dados incorretos, um processo chamado Votação Majoritária (Majorit Voting) é empregado no programa EGMJV.

Normalmente os fabricantes fornecem o programa, o qual realiza uma prova nos dados brutos (raw data) para verificar se :

- a passagem excede de 6 minutos;
- ambas as frequências foram recebidas;
- as efemérides recebidas podem ser interpretadas univocamente pela Votação Majoritária.

2.6.2.2 PREDOP

O programa PREDOP lê uma passagem do satélite por vez, fornecida pelo programa de Votação Majoritária. O programa realiza a correção da refração ionosférica de 1ª ou maior ordem nas contagens Doppler e decodifica os parâmetros fixos e efêmeros. Uma curva é ajustada para cada um dos tres parâmetros variáveis;

$\Delta E(t)$ - correção para anomalia excêntrica - (along track)

$\Delta a(t)$ - correção para o semi-eixo maior (across track)
e

$\Delta \eta(t)$ - componente fora do plano orbital (out of plane)

Estas funções ajustadas e mais 11 (indexadas) dos 14 parâmetros fixos :

t_p - tempo de passagem pelo perigeu desde a última injeção de dados;

n - movimento médio;

$\omega(t_p)$ - argumento do perigeu no tempo t_p ;

$|\dot{\omega}|$ - valor absoluto da velocidade de precessão do perigeu;

e - excentricidade;

a - valor médio do semi-eixo da elipse orbital;

- $\Omega(tp)$ - ascensão reta do nodo ascendente no tempo tp ;
- $\dot{\Omega}$ - velocidade da precessão do nodo ascendente;
- $\cos i$ - co-seno do ângulo de inclinação
- GAST(tp) - tempo sideral aparente de Greenwich;
- - número de identificação do satélite;
- - dia e tempo da última injeção de dados;
- $\sin i$ - seno do ângulo de inclinação;
- - fração da variação de frequência (off set)
- $$(f_o - f_s)/f_o$$

são utilizados para calcular a órbita do satélite.

Finalmente as contagens Doppler são comparadas aos valores teóricos e as contagens discrepantes são canceladas antes da edição das passagens processadas e dos dados meteorológicos. Os dados de saída consistem de :

- informações meteorológicas (temperatura seca, pressão parcial do vapor d'água e pressão atmosférica), interpolados dos dados de entrada.

Quando os dados meteorológicos não são fornecidos como dados de entrada ao programa PREDOP, este assume os valores gravados no cabeçalho da fita cassete;

- dos parâmetros keplerianos atualizados ;
- do instante de amarração (lock-on time) e
- informações Doppler.

2.6.2.2.1 Representação da órbita

O polinômio de Chebyshev ajustado[44], empregado para representar a órbita no programa GEODOP V é de ordem 9 e o comprimento do arco ajustado é de 28 minutos, iniciando 6 minutos antes do instante de amarração (lock-on time).

Os parâmetros orbitais efêmeros da mensagem editada pelo programa de votação majoritária são inicialmente ajustados com o emprego das funções de base sugeridas por [90] : 1 , t , $\sin 2nt$, $\cos 2nt$, onde n representa o movimento médio do satélite e então utilizados no cálculo das posições do satélite em intervalos de 2 minutos.

Quando o processamento emprega o modelo de Arco - Curto, somente tres posições e velocidades do ajustamento acima mencionados (4 minutos antes, 6 e 16 minutos após o instante de amarração) são utilizadas como condições iniciais para o cálculo da órbita.

As tres posições e velocidades calculadas, acrescidas das acelerações (segundas derivadas em relação ao tempo) calculadas em intervalos de dois minutos, a partir da expansão do modelo do campo de gravidade, GEM 9 (Goddard Earth Model) de ordem e grau 10, são utilizados no ajustamento do polinômio de Chebyshev de ordem 9.

As acelerações \ddot{x} , \ddot{y} , e \ddot{z} em um sistema de coordenadas fixas terrestres são:

$$\begin{aligned}\ddot{x} &= \frac{\partial V}{\partial x} + 2\omega\dot{y} + \omega^2 x; \\ \ddot{y} &= \frac{\partial V}{\partial y} + 2\omega\dot{x} + \omega^2 y \quad e \\ \ddot{z} &= \frac{\partial V}{\partial z}\end{aligned}\tag{2.12}$$

onde x , y e z são coordenadas do satélite, ω é a velocidade angular da Terra e V é o potencial gravitacional terrestre expandido em uma série de harmônicos esféricos:

$$V = \frac{GM}{r} \left\{ 1 + \sum_{n=2}^N \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n \bar{P}_{nm} (\text{sen } \phi) \left[\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \text{sen } m\lambda \right] \right\} \tag{2.13}$$

sendo :

GM = produto da massa da Terra pela constante gravitacional;

r = raio vetor do satélite;

a = semi-eixo maior;

$\bar{P}_{nm} (\text{sen } \phi)$ = função de Legendre plenamente normalizada;

ϕ = latitude geocêntrica do satélite;

λ = longitude geocêntrica do satélite;

\bar{C}_{nm} = coeficientes geopotenciais plenamente normalizados;

\bar{S}_{nm} = coeficientes geopotenciais plenamente normalizados

As derivadas parciais indicadas em 2.12 tem a seguinte forma :

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial x} &= \frac{\partial V}{\partial r} \cdot \frac{x}{r} - \frac{\partial V}{\partial (\text{sen}\phi)} \frac{zx}{r^3} - \frac{\partial V}{\partial \lambda} \frac{V}{r^2 \text{sen}^2 \phi} ; \\ \frac{\partial V}{\partial y} &= \frac{\partial V}{\partial r} \cdot \frac{y}{r} - \frac{\partial V}{\partial (\text{sen}\phi)} \frac{zy}{r^3} - \frac{\partial V}{\partial \lambda} \frac{V}{r^2 \text{sen}^2 \phi} ; \\ \frac{\partial V}{\partial z} &= \frac{\partial V}{\partial r} \cdot \frac{z}{r} - \frac{\partial V}{\partial (\text{sen}\phi)} \left(\frac{z^2}{r^3} - \frac{1}{r} \right) \end{aligned} \quad (2.14)$$

e as derivadas parciais indicadas em 2.14

$$\frac{\partial V}{\partial r} = - \frac{GM}{r^2} \left\{ 1 - \sum_{n=2}^N (n+1) \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n \bar{P}_{nm}(t) \left[(\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \text{sen} m\lambda) \right] \right\}$$

$$\frac{\partial V}{\partial \text{sen}\phi} = \frac{GM}{r} \left[\sum_{n=2}^N \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n \bar{P}'_{nm}(t) \{ \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \text{sen} m\lambda \} \right]$$

$$\frac{\partial V}{\partial \lambda} = \frac{GM}{r} \left[\sum_{n=2}^N \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n m \bar{P}_{nm}(t) \{ -\bar{C}_{nm} \text{sen} m\lambda + \bar{S}_{nm} \cos m\lambda \} \right] \quad (2.15)$$

com $t = \text{sen} \phi$ e $\bar{P}'_{nm} = -(m \cdot t \cdot \bar{P}_{nm}(t) + k \cdot \bar{P}_{n,m+1}) (1-t^2)^{-0,5}$
 $k=0$ para $n=m$ e $k=1$ para $m+1 \leq n$

Este procedimento com modelo em Arco-Curto reproduz as efemérides precisas divulgadas pelo DMAHTC dentro de 5cm, quando o modelo GEM 9 é empregado com grau e ordem mínimos de 10[44].

A posição do satélite, velocidade e aceleração são calculadas a partir dos coeficientes ajustados C_x , C_y , C_z , conforme é apresentado a seguir para x (válido do mesmo modo para y e z).

$$x(t) = \sum_0^{10} C_x T_i(\tau)$$

$$\dot{x}(t) = \sum_0^{10} C_x T'_i(\tau) \quad (2.16)$$

$$\ddot{x}(t) = \sum_0^{10} C_x T''_i(\tau)$$

para $\tau = \frac{2}{\Delta t_0} (t - t_0)$ e $t \in (t_0 - \Delta t, t_0 + \Delta t)$ (2.17)

onde Δt e t_0 correspondem ao espaço de tempo e referencial inicial de tempo para o ajustamento.

O polinômio de Chebyshev e suas derivadas são calculadas a partir da seguinte fórmula de recorrência :

$$T_0(\tau) = 1,$$

$$T_1(\tau) = \tau, \quad (2.18)$$

e

$$T_n(\tau) = 2\tau T_{n-1}(\tau) - T_{n-2}(\tau); \quad n \geq 2 \text{ e } |\tau| \leq 1.$$

Primeiras derivadas

$$T'_1(\tau) = \frac{d\tau}{dt} = \dot{\tau},$$

$$T'_2(\tau) = 4 \tau \dot{\tau} \quad e \quad (2.19)$$

$$T'_n(\tau) = \frac{2n}{n-1} \tau T'_{n-1}(\tau) - \frac{n}{n-2} T'_{n-2}(\tau); \quad n \geq 3.$$

Segundas derivadas

$$T''_2(\tau) = 4 (\dot{\tau})^2,$$

$$T''_3(\tau) = 24\tau(\dot{\tau})^2 \quad e \quad (2.20)$$

$$T''_n(\tau) = \frac{2n}{n-1} (\dot{\tau} T'_{n-1}(\tau) + T''_{n-1}(\tau)) - \frac{n}{n-2} T''_{n-2}(\tau); \quad n > 4$$

O programa Predop permite que outros modelos do campo gravitacional, como por exemplo GEM 10 A ou B, possam também ser empregados.

Investigações e comparações realizadas por Jan KOUBA, com o modelo GEM 10B, demonstraram que para determinações de coordenadas absolutas a melhora foi de poucos centímetros e que para a determinação de coordenadas relativas não houve melhora alguma[69].

2.6.2.3 PREPAR

O programa PREPAR é empregado no processamento de dados dos receptores GEOCEIVER ou dos receptores do sistema TRANET.

2.6.2.4 MERGE

O programa MERGE é usado para organizar os dados pré-processados por PREDOP ou PREPAR e que vão entrar no programa GEODOP. Se o resultado do processamento for uma solução em Ponto Simples utilizando efemérides operacionais, os dados de saída do programa PREDOP ou PREPAR podem ser introduzidos diretamente no programa GEODOP; se, por outro lado, o resultado final for uma solução em Multi-Estação ou uma solução com efemérides precisas é obrigatório o processamento dos dados de saída dos programas PREDOP ou NWLFIT com o programa MERGE, antes de introduzi-lo no programa GEODOP.

O programa MERGE tem dois modos de operação :

Modo 0 -agrupa os dados de saída de estações isoladas do PREDOP em um conjunto único de dados de várias estações, com possibilidades de exclusões (editing) para entrada no programa GEODOP;

Modo 1 -fornece ao programa GEODOP os dados das efemérides precisas fornecidas pelo DMAHTC (Defense Mapping Agency-Hydrographic-Topographic Center).

O programa permite seleccionar as passagens, os satélites e os específicos períodos de observação.

2.6.2.5 NWLFIT

O programa NWLFIT lê as efemérides precisas, geradas pelo DMAHTC em linhas codificadas, contendo as coordenadas X, Y, Z e as velocidades \dot{X} , \dot{Y} , \dot{Z} em intervalos de 1 minuto e as ajusta ao polinômio de Chebyshev de ordem 9, por mínimos quadrados.

2.6.2.6 GEODOP versão V

O programa aceita dados de receptores de satélites na forma de contagens Doppler e de posições dos satélites e calcula as posições geocêntricas das estações de observação.

Até 15 estações, sendo no máximo 10 simultâneas, podem ser processadas conjuntamente em solução Multi-Estação e com Arco-Curto, para a posição das estações, as variações de frequência (off set), os retardos dos receptores (delay), as tendências sistemáticas (biases) orbitais e da refração.

O programa fornece, com a solução final, a matriz variância-covariância.

O ajustamento é sequencial, onde cada passagem é adicionada à solução acumulada de todas as passagens anteriores.

2.6.2.6.1 Equação de observação

Como foi mostrado com (2.10) as contagens integradas Doppler são expressas por

$$N = \int_{t_1}^{t_2} (f_T - f_R) dt \quad (2.21)$$

a qual corresponde à contagem dos ciclos de frequência $(f_T - f_R)$ durante o período $(t_2 - t_1)$.

Como a frequência f_T não pode ser determinada com a precisão requerida para as observações, em razão do aparelho transmissor no satélite estar em movimento, a frequência f_T tem de ser substituída pela frequência f_g , que é gerada no equipamento receptor em Terra.

A contagem Doppler pode então ser expressa por

$$N' = \int_{t_1}^{t_2} (f_g - f_R) dt \quad (2.22)$$

A frequência f_g é uma frequência constante, gerada por um oscilador instalado no receptor.

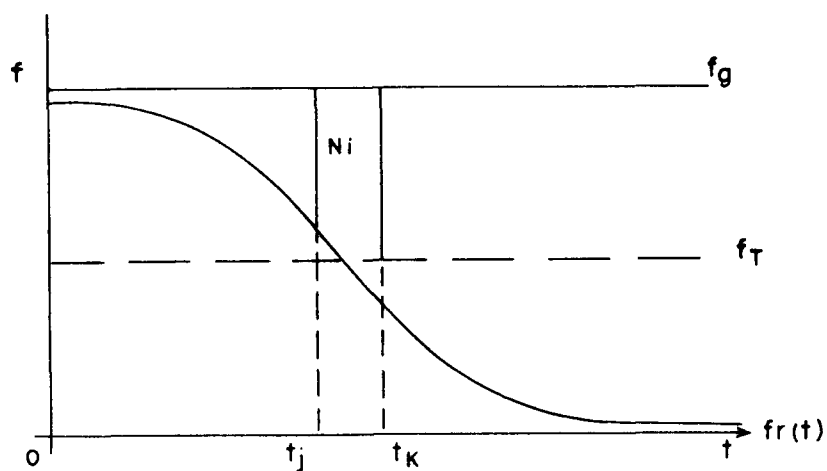
O termo $f_g - f_R$ é conhecido como "Frequência de Batimento".

Desde que se tenha um intervalo de tempo $(t_2 - t_1)$ constante, a diferença $N' - N$ será também constante

$$N'-N = \int_{t_1}^{t_2} (f_g - f_r) dt = (f_g - f_r) (t_2 - t_1) \quad (2.23)$$

Por razões práticas a frequência f_g é escolhida para ser superior à frequência $f_r(t)$, para que se obtenha somente contagens Doppler positivas (Figura 2.5).

FIGURA 2.5 - CONTAGEM DOPPLER



Os instantes t_1 e t_2 tem até agora sido mencionados como início e término das medições no receptor.

Para transformar aqueles instantes nos instantes T_1 e T_2 , quando os sinais irradiados deixam o satélite, tem-se que considerar os tempos de retardo na propagação das ondas eletromagnéticas da seguinte forma :

$$\begin{aligned} t_1 &= T_1 + \tau_1 \\ t_2 &= T_2 + \tau_2 \end{aligned} \quad (2.24)$$

Obtem-se então :

$$N = \int_{T_1 + \tau_1}^{T_2 + \tau_2} (f_g - f_R) dt \quad (2.25)$$

Como f_g é constante, a integração de (2.20) dá :

$$N = f_g (T_2 - T_1) + f_g (\tau_2 - \tau_1) - \int_{T_1 + \tau_1}^{T_2 + \tau_2} f_R dt \quad (2.26)$$

O número de ciclos recebidos durante o período $T_1 + \tau_1$ até $T_2 + \tau_2$ é exatamente o mesmo que os transmitidos pelo satélite durante o tempo T_1 até T_2 , então :

$$\int_{T_1 + \tau_1}^{T_2 + \tau_2} f_R dt = \int_{T_1}^{T_2} f_T dt = f_T (T_2 - T_1) \quad (2.27)$$

Introduzindo (2.27) em (2.26) tem-se :

$$N = (f_g - f_T) (T_2 - T_1) + f_g (\tau_2 - \tau_1) \quad (2.28)$$

Admitindo condições ideais de propagação o retardo de propagação r_i pode ser substituído por

$$\tau_1 = \frac{r_1}{c} \text{ e } \tau_2 = \frac{r_2}{c} \quad (2.29)$$

tem-se então :

$$N = (f_g - f_T)(T_2 - T_1) + \frac{f_g}{c} (r_2 - r_1) \quad (2.30)$$

onde r_2 e r_1 são as distâncias entre o transmissor e receptor nos instantes T_2 e T_1

A distância r_i entre o transmissor e o receptor no instante T_i pode agora ser calculada de

$$r_i = \sqrt{(X_T(T_i) - X_g)^2 + (Y_T(T_i) - Y_g)^2 + (Z_T(T_i) - Z_g)^2} \quad (2.31)$$

onde $X_T(T_i)$, $Y_T(T_i)$, $Z_T(T_i)$ são as coordenadas do satélite no instante T_i , num sistema de referência terrestre fixo.

Para considerar o movimento de rotação da Terra, as coordenadas da estação x_g , y_g e z_g devem ser corrigidas como segue :

$$\begin{aligned} X_g &= x_g - y_g \omega \frac{r_i}{c} \\ Y_g &= y_g + x_g \omega \frac{r_i}{c} \\ Z_g &= z_g \end{aligned} \quad (2.32)$$

onde :

ω = velocidade angular média de rotação da Terra.

Para obter as condições ideais como assumidas ao introduzir as expressões (2.24), correções devido à refração de-

vem ser consideradas.

A correção da refração ionosférica é obtida por meio das duas frequências irradiadas pelo satélite :

400 e 150 MHz .

Esta correção é efetuada nos receptores JMR1 no próprio receptor e nos receptores CMA 751/61 durante o processamento do programa PREDOD.

A correção da refração troposférica, no programa GEODOPV, é obtida com o modelo Black-Hopfield com correção da curvatura[22]

$$\Delta_r = k_d(I(h, h_d, \ell_c) - b(h)) + k_w(I(h, h_w, \ell_c) - b(h)) \quad (2.33)$$

onde :

$$I(h, h_d(h_w), \ell_c) = \left[1 - \left(\frac{\cosh}{(1 + (1 - \ell_c) h_d(h_w) / r_g)} \right)^2 \right]^{-1/2}$$

r_g = distância geocêntrica da estação de observação

h = ângulo de elevação (graus) do satélite

$\ell_c = 0,833 + (0,076 + 0,00015 (T - 273))^{0,3h}$

$b(h) = 1,92 (h^2 + 0,6)^{-1}$

h_d (metro) = $148,98 (T - 3,96)$

h_w (metro) = 13000

$k_d = 0,002312 P (T - 3,96) / T$

$k_w = 0,20$

T = temperatura em graus Kelvin

P = pressão em (mb) milibar.

Das expressões (2.30), (2.31) e (2.32), para cada contagem Doppler N_i nas épocas correspondentes T_j e T_k , a equação de observação não linear F_i pode ser obtida :

$$F_i = \frac{f_g}{c} (r_k - r_j) + (f_g - f_T) (T_k - T_j) - (N_i + v_i) = 0 \quad (2.34)$$

com v_i representando os erros aleatórios das contagens Doppler N_i .

Conhecida a órbita do satélite para fins da determinação de posição, as incógnitas são as coordenadas da estação de observação e a variação de frequência (off-set). A solução pode ser calculada se tivermos quatro observações independentes. Como normalmente muito mais observações existem, uma solução por mínimos quadrados pode ser obtida.

2.6.2.6.2 Modelo matemático do Programa GEODOP V [45]

Cada contagem integrada Doppler é representada por uma equação da forma (2.34), a qual no programa GEODOPV tem a seguinte forma :

$$F_i = (r_k - r_j) \frac{f_g}{c} + \Delta t_{jk} \Delta f_i + s_i - (N_i + v_i) = 0 \quad (2.35)$$

onde :

s_i representa o modelo dos erros sistemáticos e da refração.

N_i representa as contagens Doppler corrigidas da refração ionosférica, dos efeitos relativistas e do movimento de rotação da Terra.

c tem o valor 299792,458 km/s.

Δt_{jk} é o intervalo de integração.

Δf é a variação de frequência (off-set) (32kHz).

O modelo dos erros sistemáticos tem a seguinte forma :

$$s_i = \frac{\partial}{\partial \underline{O}} (r_k - r_j) d\underline{O} + \frac{\partial}{\partial t} (r_k - r_j) d\delta - \frac{Dtr}{100} dk + \Delta t_{jk} (t - t_{CPA}) df. \quad (2.36)$$

onde :

dk é a porcentagem de correção da escala para a correção da refração troposférica.

$$Dtr = |\Delta r(E_j) - \Delta r(E_k)| f_g / c \quad (2.37)$$

E_j, E_k = Ângulo de elevação

$d\delta$ é a correção de sincronização e do retardo de receptor

$d\underline{O}$ representa até 6 tendências (biases) nos elementos orbitais Keplerianos, na seguinte ordem : $a, M, i, \Omega, e, \omega$.

df é a flutuação da frequência devido à instabilidade de termo curto do oscilador.

$\Delta t_{jk}(T-T_{PMA})df$ representa a correção aos desvios (drift) do oscilador.

O modelo linearizado tem a forma :

$$A\underline{\Delta} + C\underline{Y} + \underline{W} - \underline{V} = 0 \quad (2.38)$$

onde :

$$A = \left. \frac{\partial \underline{F}}{\partial \underline{X}} \right|_{\underline{X} = \underline{X}^0} \quad e \quad C = \left. \frac{\partial \underline{F}}{\partial \underline{Y}} \right|_{\underline{Y} = \underline{Y}^0} \quad (2.39)$$

$\underline{W} = E(\underline{X}^0, \underline{Y}^0, L^b)$ vetor dos erros de fechamento, (2.40)

obtidos pela substituição dos valores aproximados X^0 , Y^0 e os valores observados L^b

O vetor $\underline{\Delta}$ inclui as correções às coordenadas das estações

$$\underline{\Delta} = (x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, \dots, x_n, y_n, z_n)^T \quad (2.41)$$

e \underline{Y} é composto dos erros dos parâmetros orbitais e da variação de frequência (off-set).

\underline{V} = vetor dos resíduos, o qual contém os erros aleatórios das observações.

O processamento das observações Doppler com o programa GEODOPV sucede na forma de solução sequencial. Cada passagem é ajustada, testes estatísticos e geométricos são realizados, e então, a passagem é rejeitada ou adicionada às passagens anteriores acumuladas.

Para a realização do ajustamento, cada membro da equação de observação linearizada é pré-multiplicada por \sqrt{P} [44].

\sqrt{P} é obtido de tal forma que $\sqrt{P} \cdot \sqrt{P} = P$, sendo

P = Matriz dos pesos para o vetor das contagens Doppler observadas L^b .

P_y = Matriz dos pesos "a priori" para os parâmetros aproximados da estação Y^0 .

P_x = Matriz dos pesos "a priori" para os valores aproximados das incógnitas X^0 .

então :

$$\sqrt{P}AX + \sqrt{P}CY + \sqrt{P}W - \sqrt{P}U = 0 \quad (2.42)$$

$$X = -N^{-1} \left[A^T P W - A^T P C (P_y + C^T P C)^{-1} C^T P W \right] \quad (2.43)$$

$$Y = -(P_y + C^T P C)^{-1} (C^T P W + C^T P A X) \quad (2.44)$$

$$\sqrt{P}U = \sqrt{P}AX + \sqrt{P}CY + \sqrt{P}W \quad (2.45)$$

onde :

$$N = (P_x + A^T P A) - A^T P A C (P_y + C^T P C)^{-1} C^T P A \quad (2.46)$$

Os parâmetros ajustados e as observações ajustadas são então obtidos como

$$\hat{X}_a = X^0 + \hat{X} \quad (2.47)$$

$$\hat{Y}_a = Y^0 + \hat{Y} \quad (2.48)$$

$$\hat{L}_a = L^b + \hat{Y} \quad (2.49)$$

A matriz dos coeficientes de peso das quantidades ajustadas \hat{X}_a é dada por :

$$Q_{\hat{X}_a} = N^{-1} \quad e \quad (2.50)$$

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T P V}{r - u} \quad (2.51)$$

A soma dos quadrados dos resíduos é obtida com

$$\hat{Y}^T P \hat{Y}^* = \hat{Y}^T P \hat{Y} + \hat{X}^T P_X \hat{X} + \hat{Y}^T P_Y \hat{Y} \quad (2.52)$$

ou a expressão alternativa

$$\hat{Y}^T P \hat{Y}^* = \hat{Y}^T P W \quad (2.53)$$

onde W é o vetor dos erros de fechamento.

A discrepância entre os valores numéricos dados pelas expressões (2.52) e (2.53) é útil para controlar a estabilidade numérica da solução e para assegurar a validade do programa de processamento[44].

Os graus de liberdade são dados por

$$df = r - u \quad (2.54)$$

com :

r = número de equações

u = número de incógnitas.

A matriz variância-covariância das quantidades ajustadas é dada por

$$\Sigma X_a = \hat{\sigma}_0^2 Q_x \quad (2.55)$$

A solução do ajustamento é acumulada da seguinte forma

$$\underline{X}_i^0 = \underline{X}_{i-1}^a = \underline{X}^0 + \sum_{j=1}^{i-1} \underline{X}_j \quad (2.56)$$

$$P_{X_i} = N_{i-1} = P_X + \sum_{j=1}^{i-1} P_j \quad (2.57)$$

$$df = df_{i-1} + r_i - u_i = \sum_{j=1}^i (r_j - u_j) \quad (2.58)$$

Foi assumido que o vetor das observações L e os parâmetros das tendências (bias) não são correlacionados entre passagens. Também l_i^b , X_i^0 e Y_i^0 não são correlacionados dentro da mesma passagem.

As principais modificações introduzidas nesta nova versão do GEODOP V são[44] :

2.6.2.6.3 - Melhoramento do modelo de refração troposférica ;

2.6.2.6.4 - Aumento da correção da refração ionosférica para maior ordem ;

2.6.2.6.5 - Alongamento da órbita (Arco-Curto) para 28 min.;

2.6.2.6.6 - Aumento da modelagem dos erros dos parâmetros orbitais para 6 e dos parâmetros da estação e troposféra para 4 ;

2.6.2.6.7 - Possibilidade de realizar uma análise de correlação e com isto melhorar os modelos de correlação e

2.6.2.6.8 - Introdução da correção relativista.

De 2.6.2.6.3 - o programa GEODOP . III continha os modelos de refração de Saastamoinen e o modelo simplificado de Hopfield. O programa GEODOP V acrescentou a aproximação de Black no modelo de correção da refração de Hopfield com correção da curvatura. A introdução desse modelo permite um maior número de observações aceitas e uma melhora na precisão relativa[44].

De 2.6.2.6.4 - a correção de 3ª ordem da refração ionosférica foi implementada no programa GEODOP V como opção, porém [44] explica que essa opção deve ser usada com muito cuidado, principalmente na solução em Ponto Simples com efemérides precisas, pois conduz ao aparecimento de tendências sistemáticas (biases).

O assunto será mais profundamente abordado pelo Eng. Leonardo Castro de Oliveira em sua dissertação de mestrado.

De 2.6.2.6.5 - o prolongamento do cálculo da órbita (Arco-Curto), de 24 para 28 minutos, corresponde a 1/4 da órbita total.

De 2.6.2.6.6 - a modelagem de tendências orbitais sistemáticas (biases) de até 6 elementos orbitais Keplerianos (da , adM , adi , $ad\Omega$, ade , $ad\omega$) e de 4 tendências sistemáticas da estação (Δdf , $d\delta$, dk , df) variação de frequência, sincronização e retardo do receptor, correção da refração troposférica e deriva de frequência, foram introduzidos em razão do emprego do modelo em Arco-Curto.

De 2.6.2.6.7 - várias opções no programa GEODOP V permitem realizar uma análise de correlação entre as contagens Doppler vizinhas e a avaliação das contagens Doppler entre estações.

De 2.6.2.6.8 - a inclusão da correção relativista para as contagens Doppler observadas, apresentada por C. BOUCHER em 1978, mostram uma melhora da precisão dos resultados da ordem de $\pm 0,10\text{m}$ [69].

$$R = -GM(1/r_g - 1/r_s) - \left\{ \left(\left| \dot{r}_s \right|^2 - \left| \dot{r}_g \right|^2 \right) / 2 \right\} (\Delta t_{jk}) (f_g/c^2) \quad (2.59)$$

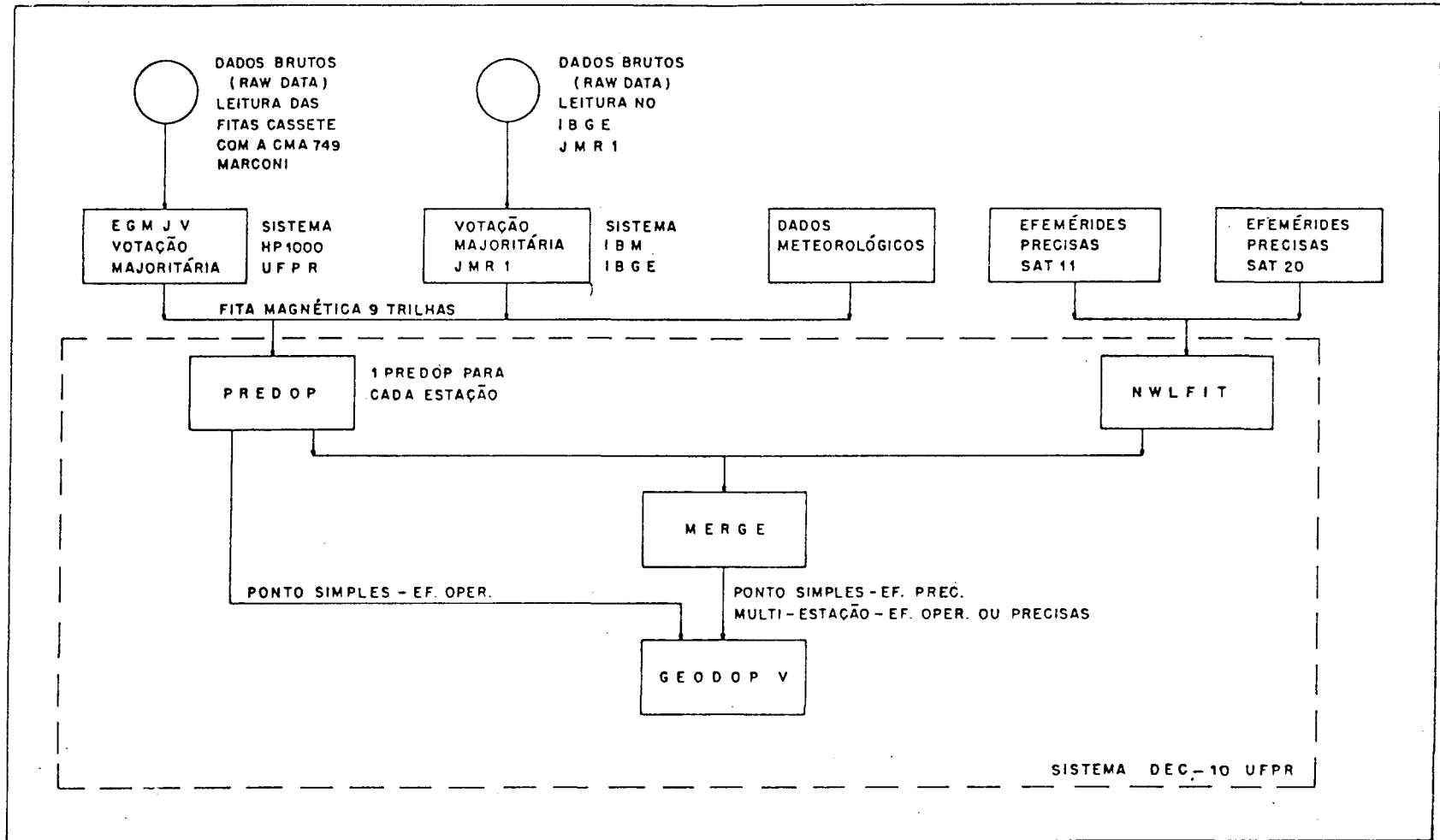
GM é produto da massa da Terra pela constante gravitacional; r_g e r_s são os raios vetores da estação e do satélite; \dot{r}_s e \dot{r}_g as velocidades do satélite e da estação.

O quadro 2.1 apresenta o fluxo dos dados durante o processamento com o sistema de Programas GEODOP V.

O programa GEODOP versão V permite o processamento de Ponto Simples com efemérides operacionais ou precisas*.

(*) Efemérides Operacionais (broadcast) consistem de um conjunto de parâmetros orbitais fixos, os quais descrevem uma elipse orbital, e, um conjunto de parâmetros orbitais variáveis, os quais descrevem as condições iniciais da trajetória predita dessa elipse. Efemérides Precisas consistem de um conjunto de posições e velocidades do satélite no Sistema de Coordenadas Terrestre, dados em intervalos de 1 minuto.

QUADRO 2.1 FLUXO DE PROCESSAMENTO DO SISTEMA GEODOP V



3. COLETA DE DADOS _ PROJETO CONTROLE DA REDE GEODÉSICA BRASILEIRA

3.1 Introdução

No segundo trimestre do ano de 1985 foi planejado e executado o Projeto Controle da Rede Geodésica Brasileira por meio de satélites do Sistema Transit para obtenção de dados Doppler em rastreamento simultâneo de 12 estações da RTGB.

3.2 Objetivo do Projeto

Reconhecer e ocupar 12 vértices da RTGB, com 6 receptores de rastreamento de satélites operando simultaneamente durante três semanas consecutivas, sendo três vértices com rastreamento contínuo durante a campanha e os nove vértices restantes rastreados em grupos de três por uma semana, de forma a manter seis vértices com rastreamento simultâneo.

3.3 Definição da área e dos vértices a serem rastreados

A área e os vértices, Figura 1.2 pag.11 foram escolhidos pela Diretoria de Geodésia da Fundação IBGE e estão enumerados na Tabela 3.1

TABELA 3.1 VÉRTICES ESCOLHIDOS PARA RASTREIO

Nº	V É R T I C E	LATITUDE SUL	LONGITUDE (OESTE)	ALTITUDE* ORTOMÉTRICA	SITUAÇÃO	DURAÇÃO	RECEPTOR
01	90811 PEDRA PRETA (PR) (LAP)	25° 08' 04,9446"S	50° 50' 43,7986"W	947,03	OCUPADO	3 SEMANAS	CMA 761 nº 104
02	90950 TRÊS DIVISÃS (SC)	26° 12' 12,3632"S	49° 11' 39,9479"W	1203,29	OCUPADO	3 SEMANAS	CMA 751 nº 102
03	90979 CERRO CHATO (SC) (LAP)	27° 30' 06,3782"S	51° 27' 47,3214"W	833,31	OCUPADO	3 SEMANAS	CMA 751 nº 106
04	90978 DONA LUIZA (PR)	25° 08' 12,5336"S	50° 09' 25,5982"W	916,288	OCUPADO	1 SEMANA	JMR 1 nº 1213
05	** BOCAIUVA DO SUL (PR)	25° 13' 04,8482"S	49° 05' 55,5851"W	1041,61	OCUPADO	1 SEMANA	CMA 751 nº 322
06	90980 SPITZKOPF (SC)	27° 01' 28,8736"S	49° 07' 55,5288"W	913,98	OCUPADO	1 SEMANA	JMR 1 nº 0270
07	90983 BASE AÉREA (SC)	27° 40' 41,7314"S	48° 33' 49,6711"W	70,66	OCUPADO	1 SEMANA	JMR 1 nº 1213
08	90984 MIRANTE II (SC)	27° 49' 17,8961"S	50° 11' 32,1980"W	1191,54	OCUPADO	1 SEMANA	JMR 1 nº 0270
09	90985 ESMERALDA (RS)	28° 03' 36,4024"S	51° 10' 45,8936"W	988,56	OCUPADO	1 SEMANA	CMA 751 nº 322
10	90949 MATOS COSTA (E) (SC) (LAP)	26° 28' 00,2894"S	51° 04' 32,0031"W	1224,05	OCUPADO	1 SEMANA	JMR 1 nº 1213
11	90981 VERA GUARANI (PR) (LAP)	26° 02' 48,2950"S	50° 42' 00,2171"W	897,30	OCUPADO	1 SEMANA	CMA 751 nº 322
12	000608 JATIVOCA (PR)	26° 22' 20,7686"S	48° 51' 55,8617"W	-	reconhecido - não ocupado		
13	000662 PORTÃO (PR)	25° 29' 20,1861"S	49° 17' 32,7505"W	-	destruído		
14	000567 ITAJUBA (SC) B.N.	26° 41' 49,7052"S	48° 40' 59,8717"W	-	destruído		
15	000649 RIO DAS PEDRAS (PR)	25° 24' 09,7690"S	51° 20' 33,1956"W	-	reconhecido - não ocupado		
16	000603 MATOS COSTA (O) (SC)	26° 28' 39,3284"S	51° 08' 21,3022"W	-	destruído		
17	000470 LAGES (E) (SC)	27° 47' 06,2031"S	50° 15' 15,6428"W	-	destruído		
18	000468 LAGES (O) (SC)	27° 46' 48,8178"S	50° 19' 15,7902"W	-	destruído		
19	000641 MORRO ALTO (PR)	25° 21' 54,6440"S	51° 26' 08,3007"W	-	reconhecido - não ocupado		
20	000640 PALMEIRINHA (PR)	25° 43' 30,8508"S	50° 44' 53,3840"W	948,80	reconhecido - não ocupado		

(*) Dados fornecidos pelo Dr. FERNANDO BRANDÃO DO IBGE

(**) 90947 = 90069

3.4 Ocupação dos vértices da RTGB

A ocupação dos vértices da RTGB foi dividida em quatro fases :

- reconhecimento,
- pré-observação,
- rastreio simultâneo e
- pós-observação

3.4.1 Reconhecimento

As descrições e itinerários dos vértices escolhidos datavam de 1948. Durante duas semanas foi realizado o trabalho de atestar a existência e atualizar os itinerários de acesso aos marcos dos vértices da RTGB, verificar as condições para instalação da antena de recepção , ou seja, da necessidade ou não de se construir torres; verificar quais os meios de comunicação possíveis, verificar os meios de abastecimento de combustível e alimentação disponíveis e o tempo de percurso entre as estações. Foi necessário a construção de torres nos vértices Dona Luiza, Mirante II e Base Aérea. Dos 20 vértices escolhidos, 5 estavam destruídos, ou seja, 25%.

3.4.2 Pré-observação

Sempre que receptores de rastreamento de satélites tenham de operar simultaneamente, mister se faz a realização da pré e pós-observação.

Durante a pré-observação todos os receptores que participaram da campanha Doppler permaneceram durante tres dias rastreando um mesmo ponto, com as antenas em pontos excêntricos. O local escolhido para a pré e pós-observação foi o observatório do CPGCG.

Participaram do rastreamento simultâneo os receptores :

JMR1 nº 1352

JMR1 nº 1213

JMR1 nº 1215

CMA 761 nº 102

CMA 751 nº 104

CMA 751 nº 106

CMA 751 nº 322

Durante esta fase as equipes do IBGE e os alunos da UF-Pr, foram instruídos quanto à utilização dos equipamentos CMA 761 e 751 e também foi estabelecido um critério para anotação de campo dos dados meteorológicos e das passagens dos satélites.

Os resultados do processamento dos dados colhidos nesta fase fornecem a precisão relativa entre os receptores, os erros sistemáticos, os erros relativos de fase das antenas e as condições de operação de cada receptor.

Os receptores JMR1 nº 1215 e 1352 não participaram da campanha Doppler por defeito técnico, sendo substituídos pelo receptor JMR1 nº 0270.

Os resultados completos da pré-observação foram apresentados pelo Eng. Rene Armando Zepeda Godoy em sua dissertação de mestrado[96].

Alguns resultados práticos imediatos foram obtidos :

- necessidade de bateria de 65 A/h, no lugar de baterias de 36 A/h ;

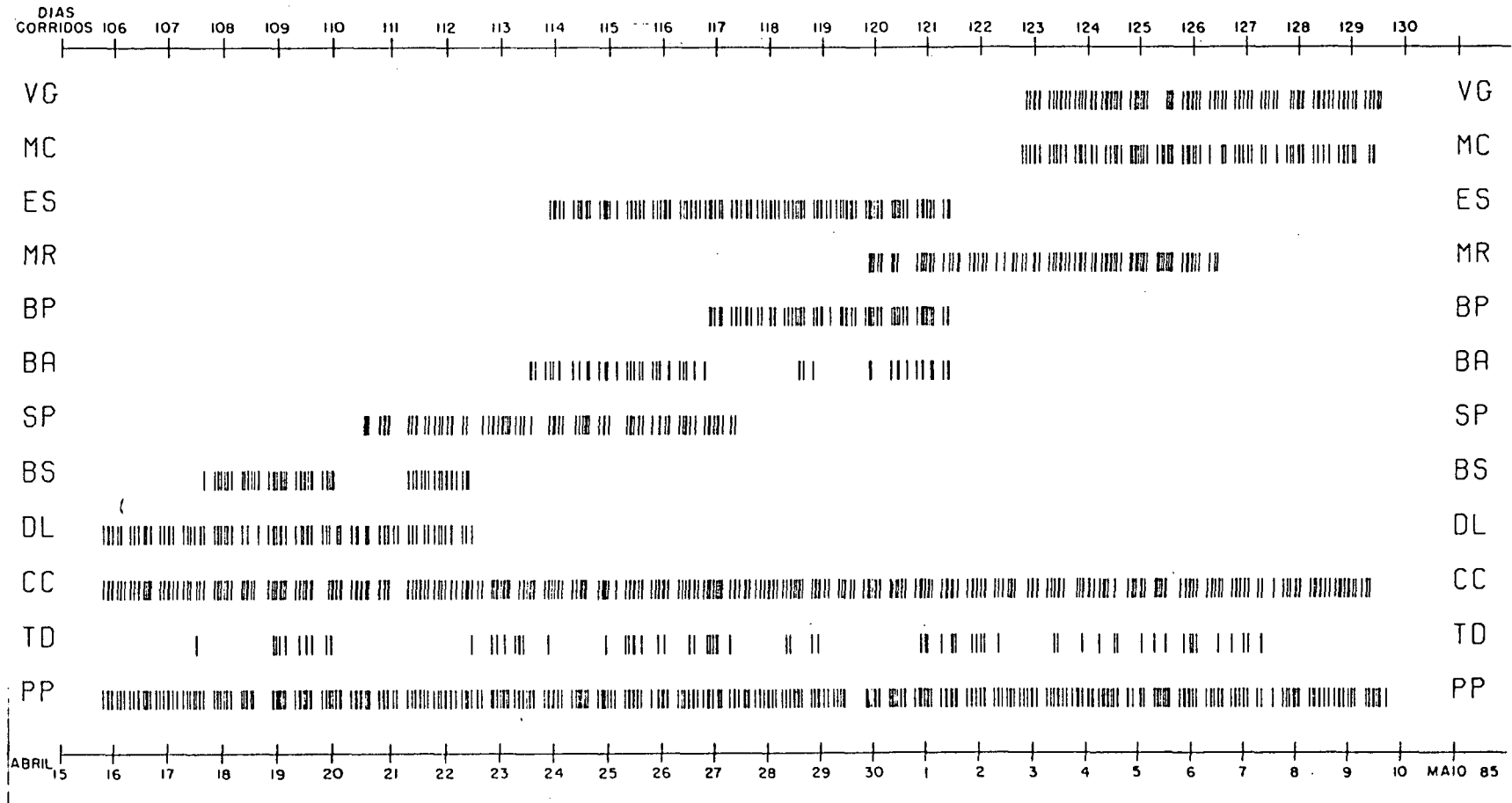
- os termômetros e barômetros devem ser aferidos e estar acompanhados das cartas de correção, antes do início dos trabalhos de campo ;

- o receptor CMA 751 nº 102 demonstrou péssimo desempenho, com poucas passagens aproveitadas em relação aos demais receptores, fato que foi confirmado durante a campanha Doppler na fase de rastreamento simultâneo (Figura 3.1).

3.4.3 Rastreamento simultâneo - Campanha Doppler

Durante tres semanas consecutivas, a partir do dia 16 de abril até o dia 10 de maio de 1985, foram ocupados os vértices (Figura 1.2 pag.11) : Pedra Preta (PP), Tres Divisas (TD), Cerro Chato (CC), Dona Luiza (DL), Mirante II (MI), Esmeralda (ES), Matos Costa base este (MC) e Vera Guarani (VG), conforme cronograma da Figura 3.1. O vértice Palmeirinha deixou de ser ocupado por falta de receptor.

FIGURA 3.1 CRONOGRAMA DE RASTREIO



3.4.4 Pós-observação

Fase semelhante à de pré-observação onde novamente todos os receptores que participaram da campanha Doppler permaneceram rastreando o mesmo ponto durante tres dias.

4. PROCESSAMENTO E RESULTADOS.

4.1 Processamento

A tabela 4.1 apresenta um resumo das passagens observadas e processadas.

4.1.1 EGMJV (Votação Majoritária)

Os dados brutos (raw data) dos receptores CMA 751 e 761, gravados em fita cassete foram processados no sistema HP 1000, para a Votação Majoritária. Os dados brutos dos receptores JMR1 foram processados na Fundação IBGE e enviados para a UFPr, em fitas magnéticas de 9 trilhas.

Após o processamento da Votação Majoritária é necessário que se verifique, com programa adequado, os dados de saída do programa EGMJV para examinar se existem caracteres não numéricos e a falta de dígitos. Após essa verificação, recompõe-se os dados de saída, por comparação ou extrapolação dos dados anteriores ou posteriores, os quais passarão a ser dados de entrada para o programa PREDDP. Com esse processo de verificação a posteriori, a recuperação de dados de saída da Votação Majoritária foi da ordem de 5%.

TABELA 4.1 RESUMO DAS PASSAGENS RECEBIDAS E PROCESSADAS

ESTAÇÃO	RECEPTOR	Nº DE PASSAGENS	VOTAÇÃO MAJORITÁRIA	PREDOP	GEODOP - V		DIAS DE RASTREIO	OBSERVAÇÕES	
					OPERACIONAIS	PRECISAS			
01 PEDRA PRETA	PP	CMA 761	462	462	407	386	151	24	
02 TRES DIVISAS	TD	CMA 751	262	167	75	59	23	24	Receptor com problemas de recepção e processamento.
03 CERRO CHATO	CC	CMA 751	443	442	373	301	137	24	
04 DONA LUIZA	DL	JMR 1	106	86*	84	82	25	7	* IBGE
05 BOCAIUVA DO SUL	BS	CMA 751	84	70	61	57	21	6	
06 SPITZKOF	SP	JMR 1	110	89*	89	80	33	7	*IBGE
07 BASE AÉREA	BA	JMR 1	92	50*	50	44	18	7	* IBGE Problema de recepção
08 MIRANTE II	MI	JMR 1	112	100*	95	85	37	7	* IBGE
09 ESMERALDA	ES	CMA 751	155	155	134	108	54	8	
10 MATOS COSTA	MC	JMR 1	84	84*	83	80	24	7	* IBGE
11 VERA GUARANI	VG	CMA 751	124	124	110	105	40	7	

4.1.2 PREDDP

Os dados de entrada compõe-se dos dados da Votação Majoritária e dos dados meteorológicos observados no campo, os quais contêm: hora, dia, pressão, temperatura seca, diferença entre as temperaturas seca e úmida e a umidade relativa. O programa PREDDP realiza a interpolação para os horários intermediários. Não havendo dados meteorológicos de entrada, o programa PREDDP adota os padrões de pressão, temperatura e umidade relativa.

No processamento com o programa PREDDP foram adotadas opções diferentes, quanto ao critério de rejeição para a qualidade do sinal, para os receptores CMA 751/761 e JMR1.

Os códigos de qualidade dos sinais recebidos pelos receptores CMA e JMR são :

JMR1

- 0 - sem sinal
- 1 - sinal < -140 dB
- 3 - -140 < sinal < -130 dB
- 7 - sinal > -130 dB

CMA 751/761

- 0 - sem sinal
- 1 - sinal < -140 dB
- 2 - -140 < sinal < -130 dB
- 3 - sinal > -130 dB

Para os receptores CMA 751/761, a opção adotada foi a do código 3 (CMA).

Para os receptores JMR1, a opção adotada foi a do código 3 (JMR1), após várias verificações. Com o código 7 (JMR) as rejeições de passagens cresceram em mais de 50%.

O programa PREDOP é rodado separadamente para cada estação.

4.1.3 NWLFIT

As efemérides precisas dos satélites 3011 e 3020, geradas pelo DMAHTC para a época do Projeto, abril-junho de 1985, foram cedidas pela Fundação IBGE, com autorização do IAGS. As efemérides precisas após processadas pelo programa NWLFIT são direcionadas, juntamente com os dados de saída do PREDOP, para processamento no programa MERGE.

4.1.4 MERGE

Com o programa MERGE é feita a seleção das épocas e dos satélites observados. A saída de dados do programa MERGE é direcionada ao programa GEODOP V.

4.1.5 GEODOP V _ Arco-Curto

Foram realizados dois processamentos PREDOP - GEODOP V e mais cinco processamentos somente com o GEODOP V.

Ao final de cada processamento foram corrigidas as coordenadas de entrada e revistos os parâmetros das diferentes opções[44].

O processamento foi realizado para :

- Ponto Simples com efemérides operacionais,
- Ponto Simples com efemérides precisas,
- Multi-Estação com efemérides operacionais, e,
- Multi-Estação com efemérides precisas.

4.1.5.1 Resultados da solução em Ponto Simples com efemérides operacionais (PS EO) e modelo em Arco-Curto (AC)

No processamento de PS EO foram adotadas as seguintes opções :

- número de parâmetros orbitais livres : 6
- desvio padrão a priori aos parâmetros orbitais :
+/-9, +/-10, +/-9, +/-9, +/-9, +/-9.(m).
- número de parâmetros livres da estação : 4
- dados meteorológicos : dados obtidos no campo.
- modelo troposférico : Black-Hopfield com correção da curvatura.
- correção ionosférica : 1ª ordem
- equilíbrio (trimming) das contagens Doppler em relação ao ponto de maior aproximação (PMA) : nenhum

- ponto de corte (Cut-off) para o ângulo de elevação no PMA : 10°
- ponto de corte para o ângulo de elevação para as contagens Doppler : 5°
- sistema de referência : NWL 10D: $a = 6378135,0$
 $f = 1/298,26$

A tabela 4.2 apresenta os resultados obtidos no processamento em PS ED.

Análise dos resultados :

Os desvios padrões de $\pm 0,6$ a $\pm 2,7$ m das tres coordenadas plotadas em função do número de passagens, Figura 4.1, correspondem a uma figura bem conhecida e representa a incerteza nas efemérides operacionais durante a fase de observações. Esses valores não representam a precisão absoluta das coordenadas, que de acordo com as literaturas é da ordem de ± 5 a 6 m.

FIGURA 4.1 - PRECISÃO EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE PASSAGENS

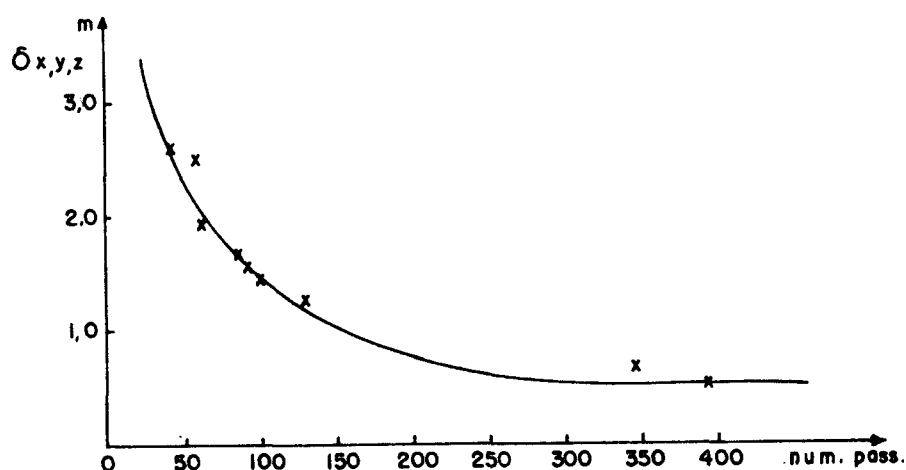


TABELA 4.2 - COORDENADAS DA SOLUÇÃO EM PONTO SIMPLES PS EO SISTEMA MNL 100

Coordenadas no sistema de Efemérides Operacionais

Estação	Coordenadas Cartesianas			Coordenadas elipsóidicas			Altura	Nº de PASS	
	X	Y	Z	Latitude			Geométrica		
	■	■	■	■	o	'	■		
Pedra Preta	3648590,20 +/-0,6	-4480983,73 +/-0,7	-2693038,65 +/-0,8	-25	08	06,523 +/-0,90	309 09 13,727 +/-0,78	952,15+/-0,84	395
Tres Divisas	3742811,88 +/-2,3	-4335342,06 +/-2,4	-2799886,86 +/-2,6	-26	12	14,258 +/-1,60	310 48 17,584 +/-1,50	1208,30+/-1,56	57
Cerro Chato	3527565,24 +/-0,7	-4429018,98 +/-0,8	-2928075,27 +/-0,9	-27	30	07,976 +/-0,95	308 32 10,130 +/-0,84	840,17+/-0,88	352
Dona Luiza	3702004,25 +/-1,7	-4436732,41 +/-1,8	-2693241,02 +/-1,7	-25	08	14,152 +/-1,34	309 50 31,881 +/-1,34	928,18+/-1,29	82
Bocaiuva do Sul	3780970,66 +/-1,8	-4364786,23 +/-1,9	-2701435,18 +/-2,0	-25	13	06,469 +/-1,42	310 54 02,004 +/-1,34	1051,83+/-1,36	59
Spitzkopf	3720686,87 +/-1,6	-4300245,50 +/-1,7	-2881115,59 +/-1,7	-27	01	30,488 +/-1,34	310 52 02,034 +/-1,28	923,24+/-1,28	88
Base Aérea	3740635,44 +/-2,6	-4237619,00 +/-2,5	-2945063,00 +/-2,6	-27	40	43,545 +/-1,64	311 26 07,878 +/-1,66	79,29+/-1,49	44
Mirante II	3614598,18 +/-1,6	-4337288,94 +/-1,6	-2959646,68 +/-2,0	-27	49	19,667 +/-1,40	309 48 25,409 +/-1,24	1200,92+/-1,29	94
Esmeralda	3531463,93 +/-1,2	-4389133,40 +/-1,3	-2982897,03 +/-1,5	-28	03	37,951 +/-1,24	308 49 11,625 +/-1,08	999,75+/-1,15	133
Matus Costa B.E.	3590367,16 +/-1,7	-4445820,26 +/-1,8	-2826048,24 +/-2,1	-26	28	02,083 +/-1,45	308 55 25,463 +/-1,34	1239,36+/-1,32	82
Vera Guarani	3632279,94 +/-1,3	-4437897,59 +/-1,4	-2784160,70 +/-1,7	-26	02	49,998 +/-1,31	309 17 57,296 +/-1,10	907,01+/-1,17	109

4.1.5.2 Resultados da solução em Ponto Simples com efemérides precisas (PS EP) e modelo em Arco-Curto (AC)

No processamento de PS EP foram adotadas as opções a seguir relacionadas :

- número de parâmetros orbitais livres : 6
- desvio padrão a priori aos parâmetros orbitais:
+/-1, +/-2, +/-1, +/-1, +/-1, +/-1.(m).
- número de parâmetros livres da estação : 4
- dados meteorológicos : dados colhidos no campo
- modelo troposférico : Black-Hopfield, com correção da curvatura.
- correção ionosférica : 1ª ordem
- equilíbrio (trimming) das correções Doppler em relação ao ponto de maior aproximação (PMA) : nenhum
- ponto de corte (Cut-off) para o ângulo de elevação no PMA : 10°
- ponto de corte para o ângulo de elevação para as contagens Doppler : 5°
- elipsóide de referência NSWG 92-2: $a = 6378145,0\text{m}$
 $f = 1/298,25$

A tabela 4.3 apresenta os resultados obtidos com o processamento de PS EP.

Análise dos resultados :

Os desvios padrões de 0,2 a 0,5 m (precisão interna) para todas as coordenadas mostram a homogeneidade da solução com efemérides precisas, mesmo com poucas passagens.

TABELA 4.3 - COORDENADAS DA SOLUÇÃO EM PONTO SIMPLES PS EP SISTEMA NSWC 92-2

Coordenadas no sistema de Efemérides Precisas

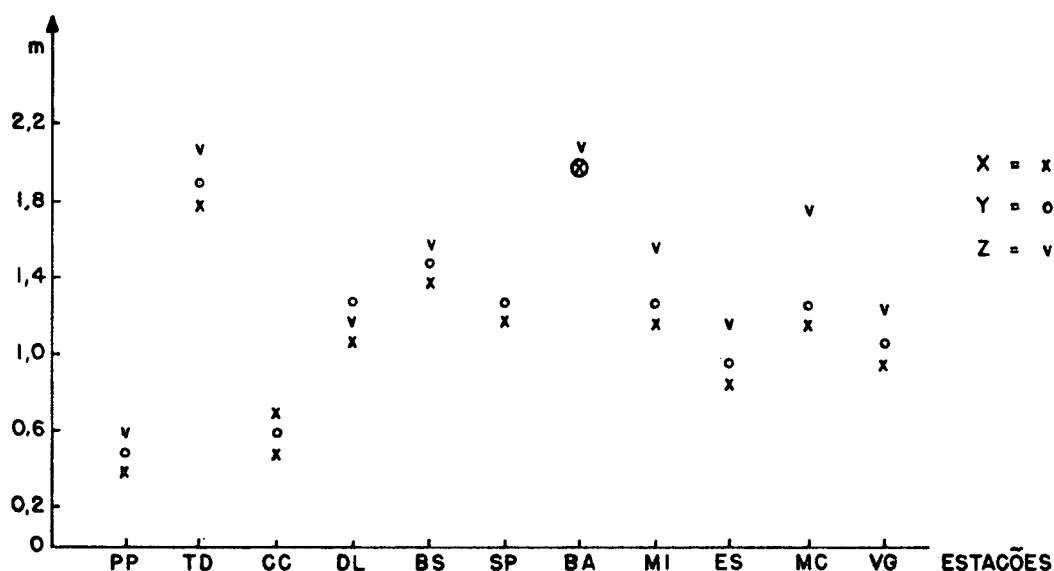
Estação	Coordenadas Cartesianas			Coordenadas elipsóidicas			Altura	N ^o de PASS	
	X	Y	Z	Latitude			Geométrica		
	■	■	■	°	'	''	■		
Pedra Preta	3648590,53 +/-0,2	-4480988,95 +/-0,2	-2693042,70 +/-0,2	-25	08	06,601 +/-0,45	309 09 13,618 +/-0,41	947,85+/-0,39	151
Tres Divisas	3742814,16 +/-0,5	-4335348,58 +/-0,5	-2799883,72 +/-0,5	-26	12	14,092 +/-0,72	310 48 17,492 +/-0,22	1202,81+/-0,64	23
Cerro Chato	3527565,27 +/-0,2	-4429023,20 +/-0,2	-2928000,31 +/-0,2	-27	30	08,090 +/-0,45	308 32 10,035 +/-0,42	835,59+/-0,39	137
Dona Luiza	3702082,83 +/-0,6	-4436730,39 +/-0,5	-2693242,84 +/-0,5	-25	08	14,257 +/-0,71	309 50 31,889 +/-0,79	916,86+/-0,62	25
Bocaiuva do Sul	3780968,29 +/-0,4	-4364787,16 +/-0,5	-2701437,83 +/-0,5	-25	13	06,576 +/-0,72	310 54 01,918 +/-0,71	1042,33+/-0,61	21
Spitzkopf	3720682,08 +/-0,4	-4300244,47 +/-0,4	-2881119,61 +/-0,4	-27	01	30,680 +/-0,67	310 52 01,927 +/-0,68	911,27+/-0,57	33
Base Aérea	3740630,56 +/-0,6	-4237619,74 +/-0,5	-2945062,44 +/-0,6	-27	40	43,588 +/-0,76	311 26 07,727 +/-0,85	66,81+/-0,61	18
Mirante II	3614595,43 +/-0,4	-4337292,76 +/-0,3	-2959647,16 +/-0,4	-27	49	19,682 +/-0,65	309 48 25,242 +/-0,62	1192,34+/-0,73	37
Esmeralda	3531461,30 +/-0,3	-4389135,58 +/-0,3	-2982903,34 +/-0,3	-28	03	38,150 +/-0,57	308 49 11,500 +/-0,52	992,91+/-0,48	54
Matos Costa B.E.	3590363,79 +/-0,5	-4445821,23 +/-0,5	-2826043,83 +/-0,5	-26	28	01,992 +/-0,73	308 55 25,347 +/-0,34	1226,30+/-0,62	24
Vera Guarani	3632278,02 +/-0,3	-4437900,98 +/-0,3	-2784160,00 +/-0,4	-26	02	49,976 +/-0,63	309 17 57,166 +/-0,57	898,10+/-0,53	40

A razão das poucas passagens é porque somente são fornecidas efemérides para 1 ou 2 satélites. Para o projeto foram utilizadas as efemérides dos satélites 3011 e 3020.

Com poucas passagens, as contagens Doppler observadas são menores e os 6 parâmetros orbitais são conhecidos com precisão de ± 1 a 2 m.

A precisão absoluta, de acordo com a literatura é de $\pm 0,5$ a 1 m.

FIGURA 4.2 - DIFERENÇAS DE PRECISAO ENTRE SOLUÇÃO COM EFEMÉRIDES OPERACIONAIS E EFEMÉRIDES PRECISAS (VALORES ABSOLUTOS)



A Figura 4.2 mostra a diferença de precisão entre as soluções com efemérides operacionais e efemérides precisas. Com esta comparação fica evidenciada as discrepâncias nas estações Tres Divisas e Base Aérea, o que é confirmado pela

estações Tres Divisas e Base Aérea, o que é confirmado pela Figura 3.1, pág. 57, a qual mostra a operação descontínua nas duas estações. Para as demais estações nota-se que a diferença de precisão é da ordem de 1,5m e que para as estações Pedra Preta e Cerro Chato, as quais têm cerca de 400 passagens a precisão é igual a das efemérides precisas.

4.1.5.3 Resultados da solução em Multi-Estação com efemérides operacionais (ME EO) e modelo em Arco-Curto (AC)

As opções adotadas neste processamento foram as mesmas indicadas no item 4.1.5.1 (PS EO).

A solução em ME EO foi adotada pelo autor como solução de referência, por conter maior número de passagens por estação e também por conter observações de todos os satélites do sistema.

A tabela 4.4 apresenta os resultados obtidos no processamento em ME EO.

Análise dos resultados :

A solução Multi-Estação com efemérides operacionais apresenta desvios padrões de $\pm 0,5$ a $1,1$ m, os quais são muito elevados para esse tipo de solução. Uma explicação é o funcionamento irregular de algumas estações, Figura 3.1, o que já foi observado nas análises anteriores. A precisão relativa esperada é da ordem de $\pm 0,5$ a $1,0$ m. Nota-se que a precisão em altura é a mesma das coordenadas horizontais, o que torna a solução em Multi-Estação apropriada para a análise do geóide.

TABELA 4.4 - COORDENADAS DA SOLUÇÃO EM MULTI-ESTAÇÃO NO SISTEMA NAD 100

Coordenadas no sistema de Efemérides Operacionais

Estação	Coordenadas Cartesianas			Coordenadas elipsóidicas			Altura	Nº	
	X	Y	Z	Latitude			Geométrica	Je	
	■	■	■	°	'	■	■	PASS	
Pedra Preta	3648591,35 +/-0,5	-4480986,64 +/-0,5	-2693039,05 +/-0,6	-25	08	06,494 +/-0,80	309 09 13,693 +/-0,69	955,02+/-0,71	386
Tres Divisas	3742814,91 +/-0,5	-4335345,43 +/-0,6	-2799879,79 +/-0,6	-26	12	13,987 +/-0,80	310 48 17,587 +/-0,73	1209,24+/-0,72	59
Cerro Chato	3527566,12 +/-0,5	-4429020,68 +/-0,5	-2928076,53 +/-0,6	-27	30	07,984 +/-0,80	308 32 10,117 +/-0,69	842,42+/-0,70	301
Dona Luiza	3702083,94 +/-1,0	-4436728,84 +/-1,0	-2693237,88 +/-1,1	-25	08	14,100 +/-0,80	309 50 31,955 +/-0,70	924,19+/-0,71	80
Bocaiuva do Sul	3780968,67 +/-1,0	-4364784,42 +/-1,0	-2701433,80 +/-1,1	-25	13	06,465 +/-0,80	310 54 01,992 +/-0,71	1048,83+/-0,71	57
Spitzkopf	3720683,35 +/-0,7	-4300241,68 +/-0,8	-2881115,02 +/-0,8	-27	01	30,548 +/-0,80	310 52 02,028 +/-0,71	918,35+/-0,71	80
Base Aérea	3740632,35 +/-0,6	-4237617,21 +/-0,7	-2945058,06 +/-0,7	-27	40	43,454 +/-0,80	311 26 07,837 +/-0,72	74,00+/-0,71	44
Mirante II	3614597,66 +/-0,5	-4337291,50 +/-0,6	-2959642,41 +/-0,7	-27	49	19,520 +/-0,80	309 48 25,335 +/-0,71	1200,37+/-0,71	85
Esmeralda	3531462,09 +/-0,6	-4389133,35 +/-0,6	-2982899,73 +/-0,7	-28	03	38,047 +/-0,80	308 49 11,573 +/-0,70	999,96+/-0,71	106
Matos Costa B.E.	3590365,67 +/-0,5	-4445817,93 +/-0,5	-2826039,69 +/-0,6	-26	28	01,874 +/-0,80	308 55 25,475 +/-0,71	1233,08+/-0,71	80
Vera Guarani	3632278,59 +/-0,5	-4437898,72 +/-0,5	-2784156,48 +/-0,6	-26	02	49,875 +/-0,80	309 17 57,233 +/-0,70	905,18+/-0,71	105

4.1.5.4 Resultados da solução em Multi-Estação com efemérides precisas (ME EP) e modelo em Arco-Curto (AC)

As opções adotadas no processamento de ME EP-AC foram as mesmas do item 4.1.5.2 (PS EP).

Para o processamento em Multi-Estação, todas as saídas dos PREDOP, um de cada estação, e mais as efemérides precisas processadas pelo NWLFIT, são direcionadas ao programa MERGE; e deste, após a seleção é levada ao programa GEDDOP V.

A tabela 4.5 apresenta os resultados obtidos no processamento em ME EP.

Análise dos resultados :

Os resultados apresentam desvios padrões de +/- 0,2 a 0,3 m, independente das poucas passagens em algumas estações. O Dr.H.W.Schenke demonstra [69] que esses são valores reais de precisão.

TABELA 4.5 - COORDENADAS DA SOLUÇÃO EM MULTI-ESTAÇÃO NO EP SISTEMA NSWC 92-2

Coordenadas no sistema de Efemérides Precisas

Estação	Coordenadas Cartesianas			Coordenadas elipsóidicas			Altura Geométrica	Nº de PASS			
	X	Y	Z	Latitude					Longitude		
	■	■	■	■	o	'	■	o	'	■	■
Pedra Preta	3648590,66 +/-0,2	-4480989,42 +/-0,2	-2693042,46 +/-0,2	-25	08	06,588 +/-0,45	309	09	13,611 +/-0,40	948,15 +/-0,37	135
Tres Divisas	3742814,54 +/-0,4	-4335348,37 +/-0,3	-2799883,46 +/-0,3	-26	12	14,084 +/-0,55	310	48	17,508 +/-0,64	1202,77 +/-0,58	14
Cerro Chato	3527565,27 +/-0,2	-4429023,48 +/-0,2	-2928080,00 +/-0,2	-27	30	08,078 +/-0,45	308	32	10,029 +/-0,41	835,64 +/-0,39	103
Dona Luiza	3702082,69 +/-0,4	-4436730,84 +/-0,3	-2693242,28 +/-0,3	-25	08	14,237 +/-0,52	309	50	31,874 +/-0,67	916,85 +/-0,50	23
Bocaiuva do Sul	3780968,08 +/-0,3	-4364787,22 +/-0,2	-2701437,38 +/-0,3	-25	13	06,564 +/-0,47	310	54	01,911 +/-0,16	1042,04 +/-0,41	20
Spitzkopf	3720683,19 +/-0,3	-4300244,51 +/-0,3	-2881118,86 +/-0,2	-27	01	30,647 +/-0,48	310	52	01,956 +/-0,56	912,05 +/-0,44	28
Base Aérea	3740631,53 +/-0,4	-4237619,95 +/-0,4	-2945061,64 +/-0,3	-27	40	43,553 +/-0,52	311	26	07,748 +/-0,71	67,14 +/-0,48	11
Mirante II	3614597,18 +/-0,4	-4337294,57 +/-0,3	-2959645,76 +/-0,3	-27	49	19,603 +/-0,50	309	48	25,249 +/-0,60	1193,91 +/-0,51	21
Esmeralda	3531461,34 +/-0,2	-4389135,94 +/-0,2	-2982903,36 +/-0,2	-28	03	38,146 +/-0,46	308	49	11,493 +/-0,44	993,19 +/-0,40	44
Matos Costa B.E.	3590363,76 +/-0,4	-4445821,64 +/-0,4	-2826042,81 +/-0,3	-26	28	01,958 +/-0,53	308	55	25,337 +/-0,66	1226,12 +/-0,52	22
Vera Guarani	3632277,74 +/-0,2	-4437901,74 +/-0,2	-2784160,04 +/-0,2	-26	02	49,971 +/-0,46	309	17	57,140 +/-0,46	898,50 +/-0,41	30

4.2 Altura do Geóide

Para a determinação da 'altura geoidal relativa'[86] foram adotados quatro modelos :

GEM L2 (Goddard Earth Modell) *

GPM 2 (Geoid Potential Modell) *

DSU 81 (Ohio State University) *

DSU 86E (Ohio State University) **

e o Mapa Geoidal[28].

Os modelos DSU86E e GPM2 foram os que apresentaram os menores resíduos e desvios padrões quando do cálculo dos parâmetros de transformação, mostrados na tabela 4.7, pag.80. Também foram os modelos que apresentaram sigma zero a posteriori mais próximos da unidade, Figura 4.3, sendo portanto os modelos que melhor se adaptam ao geóide na área do projeto.

O autor adotou como modelo de referência para as análises e comparações o modelo DSU86E, pelas razões acima descritas e também por ter sido o modelo utilizado na elaboração do novo Mapa Geoidal[14].

A tabela 4.6 apresenta os vários valores obtidos para a altura geoidal, os quais mostram que para a área do projeto a variação máxima é de 5 m para todos os modelos processados.

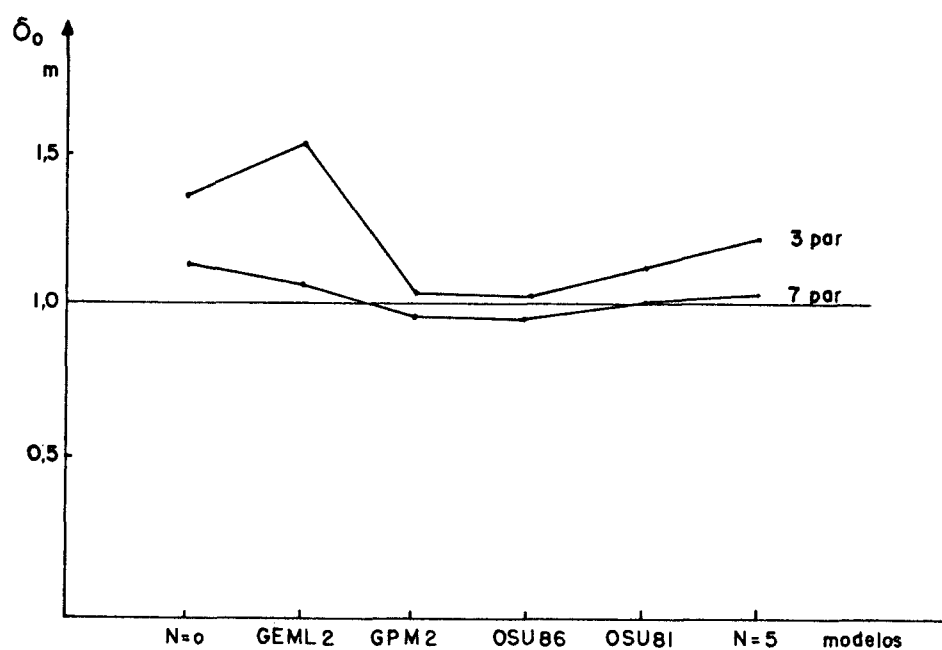
Cálculos realizados para a determinação da latitude, longitude e altura com o emprego dos parâmetros da tabela 4.7, apresentaram discrepâncias máximas de :

0,14 m em latitude,

0,09 m em longitude e

2,98 m em altura.

FIGURA 4.3 - COMPARAÇÃO ENTRE OS SIGMAS ZERO A POSTERIORI DO CÁLCULO DE PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO



* Fornecidos pelo Dr. H. Wenzel do IFE - UH.

** Fornecido pelo Dr. D. Blitzkow do IAG - SP.

TABELA 4.6 - ALTURA DO GEÓIDE (M)

ÁREA SITUADA ENTRE : PARALELOS 25 S e 28 S E MERIDIANOS 48 W e 52 W

Estação	Valores de N					Altitude e Alturas Geométricas					
	GEN L2	GPM 2	OSU 81	OSUB6E	MAPA	Altitude	GEN L2	GPM 2	OSU 81	OSUB6E	MAPA
						Ortométrica					GEODIAL
Pedra Preta	1,3	3,1	3,1	3,1	5	947,03	948,33	950,13	950,13	950,13	952,03
Tres Divisas	-0,6	1,5	1,5	1,9	5	1203,29	1202,69	1204,79	1204,79	1205,19	1208,29
Cerro Chato	3,7	2,8	3,6	2,9	5	833,31	837,01	836,11	836,91	836,21	838,31
Dona Luiza	0,1	5,1	4,5	3,5	5	916,29	916,39	921,39	920,79	919,79	921,29
Bocaiúva do Sul	-1,4	3,1	2,4	3,0	5	1041,61	1040,21	1044,71	1044,01	1044,61	1046,61
Spitzkopf	-0,3	1,6	1,6	1,5	5	913,98	913,68	915,58	915,58	915,48	918,98
Base Aérea	-0,6	0,7	1,7	1,3	5	70,66	69,86	71,36	72,36	71,96	75,66
Base Pista	-0,8	0,7	1,7	1,3	5	4,39	3,59	5,09	6,09	5,69	9,39
Mirante II	1,6	5,1	5,9	3,7	5	1191,54	1193,14	1196,64	1197,44	1195,24	1196,54
Esmeralda	3,4	4,5	5,2	3,5	5	988,56	991,96	993,06	993,76	992,06	993,56
Matos Costa (E)	2,5	4,3	4,4	3,5	5	1224,05	1226,55	1228,35	1228,45	1227,55	1229,05
Vera Guarani	1,6	4,5	4,4	3,6	5	897,30	898,90	901,8	901,7	900,9	902,30

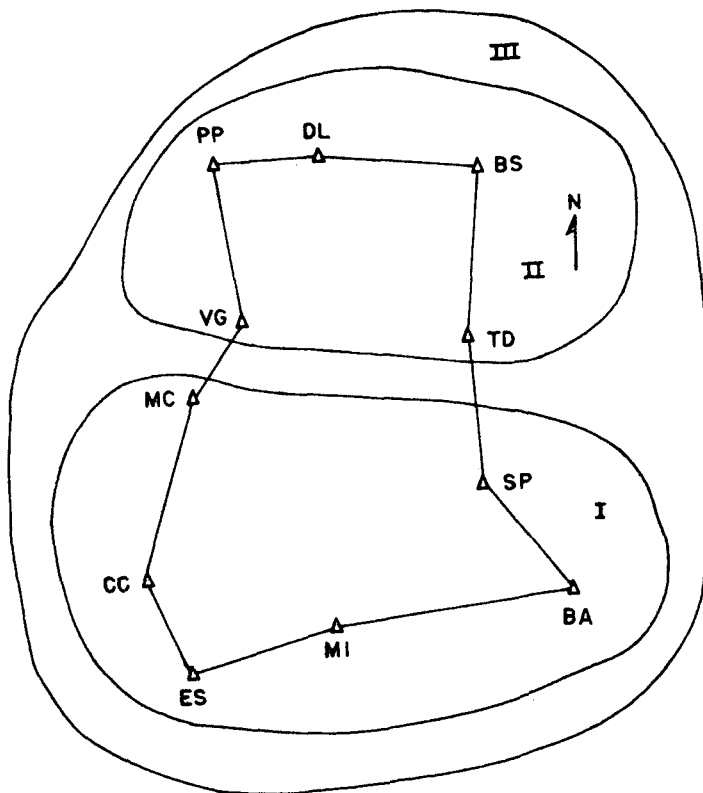
Valores em metros .

4.3 Parâmetros de Transformação

Em razão da área do projeto ser pequena (300km * 300km) e também para possibilitar a análise da escala e da orientação foram consideradas primeiramente para esta pesquisa os parâmetros DX, DY e DZ.

Para a verificação da estabilidade da rede, na área do projeto, foram consideradas tres configurações conforme figura abaixo : área I - SUL, área II - NORTE e área III - TOTAL.

FIGURA 4.4 - ÁREAS DA RTGB PARA CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO



A tabela 4.7 mostra os resultados obtidos na determinação dos parâmetros DX, DY e DZ, de coordenadas do sistema NWL 10D para o SGB, na área do projeto. As alturas obtidas com os modelos OSU86E e GPM2 são as que melhor se adaptam à transformação entre os sistemas NWL 10D e SGB, por apresentarem os menores resíduos e melhor precisão.

Observa-se ainda que os parâmetros obtidos para $N = 0$ m e $N = 5$ m não apresentam discrepâncias superiores a 3,8 m.

A tabela 4.8 mostra os resultados na determinação de 3 e 7 parâmetros de transformação entre as coordenadas dos sistemas NWL 10D e SGB, e os parâmetros gerais preconizados pelo IBGE [28]. Os valores revelam que os parâmetros obtidos com estações da área NORTE e os obtidos com as estações da área SUL apresentam tendências sistemáticas da ordem de 0,5 a 2 m, as quais podem ser melhor visualizadas nas figuras 4.6, 4.7 e 4.8.

Essas tendências são toleráveis no sistema NNSS em razão da precisão, mas, não serão compatíveis com o Global Positioning System (GPS), o qual apresenta precisão da ordem do centímetro no posicionamento relativo.

A tabela 4.8 revela também que não é possível a comparação entre parâmetros de translação obtidos de forma diferente, ou seja, obtidos isoladamente ou em conjunto com os parâmetros de rotação e escala.

A comparação entre os parâmetros das áreas SUL, NORTE e TOTAL da tabela 4.8 e os resíduos apresentados nas tabelas 4.13, 4.14 e 4.15, pags. 96 a 98, indicam que a RTGB, na área

do projeto, é estável, pois as discrepâncias são da ordem de 0,5 a 2 m.

Deve ser enfatizado de que esta estabilidade atende aos requisitos de posicionamento por meio de satélites do sistema NNSS, mas não será adequado ao posicionamento relativo pelo GPS.

TABELA 4.7 - PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO NML 10D - SGB

Estações : CC, SP, BA, MI, ES, MC (m) área I - SUL

Parâmetros	N = 0m	OSU 86E	GEM L2	GPM 2	OSU 81	N = 5m	JBA 84*
DX	77,73+/-0,53	79,27+/-0,34	78,66+/-0,38	79,51+/-0,33	79,78+/-0,36	80,57+/-0,53	78,78+/- 9,5
DY	14,12+/-0,53	12,25+/-0,34	12,96+/-0,38	11,95+/-0,33	11,63+/-0,36	10,71+/-0,53	12,20+/-11,4
DZ	37,55+/-0,53	36,29+/-0,34	36,77+/-0,38	36,09+/-0,33	35,87+/-0,36	35,24+/-0,53	35,03+/- 7,7
So	1,31	0,89	0,92	0,80	0,89	1,30	0,79

Resíduos máximos

VX	-2,57	-1,78	1,69	-1,19	-1,51	-2,66	1,23
VY	1,89	-1,08	-1,07	1,18	1,41	1,79	0,55
VZ	-1,38	-0,99	1,31	1,15	1,31	-1,33	1,22

Estações : PP, TD, DL, BS, VG (m) Área II - NORTE

DX	76,74+/-0,42	78,61+/-0,36	76,97+/-0,54	78,90+/-0,35	78,93+/-0,41	79,95+/-0,33	76,71+/- 6,1
DY	16,20+/-0,42	13,97+/-0,36	15,92+/-0,54	13,65+/-0,35	13,60+/-0,41	12,40+/-0,33	14,30+/- 7,3
DZ	37,16+/-0,42	35,78+/-0,36	36,99+/-0,54	35,71+/-0,35	35,68+/-0,41	34,91+/-0,33	32,19+/- 3,3
So	0,94	0,76	1,21	0,86	1,02	0,80	0,34

Resíduos máximos

VX	1,57	1,65	2,16	1,88	1,79	1,29	0,70
VY	1,22	-0,48	-1,14	-0,81	1,29	1,05	0,61
VZ	-1,31	-0,99	-1,65	-1,01	-1,34	1,00	0,72

Estações : PP, TD, CC, DL, BS, SP, BA, MI, ES, MC, VG (m) Área III - TOTAL

DX	77,29+/-0,41	78,98+/-0,32	77,91+/-0,45	79,18+/-0,32	79,30+/-0,37	80,21+/-0,39	77,04+/- 4,5
DY	15,05+/-0,41	13,02+/-0,32	14,29+/-0,45	12,78+/-0,32	12,63+/-0,37	11,56+/-0,39	13,87+/- 5,5
DZ	37,21+/-0,41	35,89+/-0,32	36,70+/-0,45	35,73+/-0,32	35,63+/-0,37	34,93+/-0,39	33,51+/- 3,6
So	1,37	1,07	1,51	1,09	1,22	1,28	0,63

Resíduos máximos

VX	-3,00	-2,07	2,98	-1,60	2,11	3,01	1,37
VY	2,80	1,67	-2,78	2,01	2,41	2,64	0,88
VZ	2,50	2,50	2,55	2,34	2,23	2,34	1,30

Parâmetros do IBGE, NML 10D - SGB [28]

DX = 75,92m , DY = 18,85mm , DZ = 39,05m .

*JBA 84 = Programa criado e processado pelo Prof. Dr. José Bittencourt de Andrade[05]

TABELA 4.8 PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO NWL 10D / SGB;
NSWC 9Z-2 / NWL 10D, COM 3 E 7 PARÂMETROS

3 Parâmetros NWL 10D e SGB

	ÁREA NORTE	ÁREA SUL	ÁREA TOTAL	IBGE
DX	78,6 +/-0,4	79,3 +/-0,3	79,0 +/-0,3	75,9
DY	14,0 +/-0,4	12,3 +/-0,3	13,0 +/-0,3	18,8
DZ	35,8 +/-0,4	36,3 +/-0,3	35,9 +/-0,3	39,1

7 Parâmetros NWL 10D e SGB

	ÁREA NORTE	ÁREA SUL	ÁREA TOTAL
DX	43,2 +/-14,0	120,5 +/-21,5	96,5 +/-16,8
DY	-25,5 +/-12,5	26,8 +/-21,4	5,5 +/-16,3
DZ	-42,6 +/-17,9	40,6 +/-33,3	-5,2 +/-15,0
EX	0,5 +/- 0,5	-0,3 +/- 1,0	0,7 +/- 0,5
EY	2,8 +/- 0,5	-0,2 +/- 0,9	0,6 +/- 0,5
EZ	-1,0 +/- 0,4	1,5 +/- 0,6	0,3 +/- 0,6
DE	6,3 +/- 8,3	1,8 +/- 7,3	5,3 +/- 8,0

7 Parâmetros NWL 10D e NSWC 9Z-2

	1	2	3	4
DX	-0,1 +/-0,9	-0,8 +/-0,5	-5,9 +/-3,5	-5,9 +/-8,6
DY	-0,6 +/-1,3	0,2 +/-0,5	-0,3 +/-3,4	-8,1 +/-8,3
DZ	-8,8 +/-0,9	-2,6 +/-0,5	-1,6 +/-4,1	4,6 +/-7,7
EX	0,04 +/-0,04	-0,05 +/-0,02	-0,03 +/-0,12	-0,2 +/-0,2
EY	-0,04 +/-0,03	0,02 +/-0,02	0,11 +/-0,12	0,1 +/-0,2
EZ	0,08 +/-0,03	-0,01 +/-0,07	0,12 +/-0,11	-0,3 +/-0,3
DE	0,85 +/-0,12	0,22 +/-0,07	-0,41 +/-0,20	0,5 +/-0,03

(1) Boucher, Parquet e Wilson[60]

(2) Jenkins e Leroy[60]

(3) Allman, J.S.[41]

(4) pelo Autor

DX, DY, DZ em m

EX, EY, EZ em "

DE em ppm

4.4 Escala

A tabela 4.9 - Distâncias, Diferenças de Distâncias, Azimutes e Alturas, foi calculada comparando as coordenadas da solução em Multi-Estação com efemérides operacionais (ME EO) com as coordenadas do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB).

As diferenças de distâncias mostram que 80% das distâncias apresentam fator de escala melhor do que $1/100.000$ para vértices não consecutivos, portanto dentro das especificações do IBGE e indicam a homogeneidade da rede .

A última coluna da direita da tabela 4.9 mostra as diferenças de distâncias, sem tendência sistemática após a aplicação do fator de escala da tabela 4.8 .

A tabela 4.10 apresenta trecho da listagem dos resultados dos cálculos das distâncias espaciais entre os vértices Cerro Chato e Dona Luiza. Os cálculos foram realizados nos Modos 0, 1 e 2.

Modo 0 = sem correlação,

Modo 1 = correlações intra-estação e

Modo 2 = correlações inter-estações.

Os cálculos nos Modos 0 e 1 representam uma simulação da solução em Ponto Simples.

O Desvio Padrão para cada uma das soluções nos Modos 2, 1 e 0 é respectivamente de 0,09m, 0,85m e 0,81m.

Esses resultados evidenciam que o Método da Solução em Multi-Estação é o mais vantajoso, pois a precisão relativa é da ordem de 9cm contra os 85cm da Solução em Ponto Simples em

uma linha de quase 300 km.

Os resultados no Modo 1, mostram também que as correlações intra-estação não têm nenhuma influência na precisão dos resultados.

TABELA 4.9 -DISTÂNCIAS, DIFERENÇAS DE DISTÂNCIAS, AZIMUTES E ALTURA
SGB MENOS NWL 10 D

De	Para	Distância m	dist.el. m	AZ 1	AZ 2	Altura m	Dist.(D) m	Dist.(D) m c/FE
PP	- TD	203726,25	-1,157	-0,512	-0,503	-0,016	-1,183	-0,103
PP	- CC	269425,66	-1,242	0,496	0,502	1,389	-1,247	0,180
PP	- DL	69428,02	-1,227	-0,557	-0,539	-0,256	-1,237	-0,869
PP	- BS	176343,93	-1,270	-1,311	-1,294	-1,145	-1,308	-0,374
PP	- SP	270626,25	-2,867	-0,132	-0,105	1,812	-2,863	-1,429
PP	- BA	362234,46	-2,725	-1,038	-1,032	2,631	-2,701	-0,781
PP	- MI	304764,20	-1,536	1,331	1,368	1,373	-1,540	0,075
PP	- ES	325845,83	-2,058	0,959	0,980	-0,129	-2,102	-0,375
PP	- MC	149386,21	-0,691	0,897	0,905	0,756	-0,700	0,092
PP	- VG	102103,19	-0,467	-1,654	-1,666	1,239	-0,471	0,071
TD	- CC	267472,43	-0,389	0,066	0,061	1,405	-0,396	1,022
TD	- DL	152676,47	-0,330	-1,363	-1,354	-0,240	-0,352	0,457
TD	- BS	109608,29	0,049	-1,060	-1,052	-1,129	0,027	0,608
TD	- SP	91220,84	-1,306	2,171	2,188	1,828	-1,311	-0,827
TD	- BA	175020,85	-1,918	-1,287	-1,292	2,647	-1,921	-0,993
TD	- MI	204859,82	0,791	1,417	1,444	1,389	0,787	1,873
TD	- ES	284709,42	-0,341	0,913	0,924	-0,114	-0,380	1,129
TD	- MC	190077,05	-0,059	-0,335	-0,336	0,772	-0,071	0,936
TD	- VG	151600,39	-1,436	-0,449	-0,471	1,255	-1,443	-0,640
CC	- DL	292685,97	-1,431	-0,182	-0,169	-1,645	-1,442	0,109
CC	- BS	345985,66	-0,702	-0,298	-0,284	-2,534	-0,740	1,049
CC	- SP	236819,93	-1,069	-1,081	-1,058	0,423	-1,039	0,216
CC	- BA	286916,15	-0,057	-1,369	-1,368	1,242	-0,006	1,514
CC	- MI	130327,04	-1,751	1,235	1,267	-0,015	-1,739	-1,048
CC	- ES	67909,95	-1,161	1,565	1,581	-1,518	-1,166	-0,806
CC	- MC	120985,32	-0,604	0,014	0,017	-0,633	-0,601	0,041
CC	- VG	178203,54	-0,241	1,534	1,517	-0,150	-0,226	0,718
DL	- BS	107079,29	-0,068	-1,903	-1,903	-0,889	-0,095	0,473
DL	- SP	232964,60	-2,124	-0,449	-0,442	2,068	-2,125	-0,891
DL	- BA	323333,92	-2,230	-1,462	-1,476	2,887	-2,218	-0,504
DL	- MI	297511,36	-0,873	0,737	0,754	1,629	-0,883	0,694
DL	- ES	339530,76	-1,890	0,428	0,430	0,126	-1,943	-0,143
DL	- MC	173781,20	-0,865	-0,305	-0,315	1,012	-0,878	0,043
DL	- VG	114631,35	-1,280	-2,763	-2,793	1,495	-1,286	-0,679
BS	- SP	200213,45	-1,131	0,533	0,541	2,957	-1,147	-0,086
BS	- BA	277761,23	-1,875	-0,937	-0,951	3,776	-1,890	-0,418
BS	- MI	308394,00	0,480	0,644	0,662	2,518	0,448	2,082
BS	- ES	376921,04	-0,782	0,369	0,370	1,015	-0,868	1,130
BS	- MC	241707,59	-0,315	-0,593	-0,604	1,901	-0,351	0,930
BS	- VG	185195,80	-1,395	-1,640	-1,670	2,384	-1,419	-0,437
SP	- BA	91697,87	0,100	-3,746	-3,768	0,819	0,113	0,599
SP	- MI	137089,07	1,246	-0,871	-0,862	-0,439	1,262	1,989
SP	- ES	232522,13	-0,251	-0,239	-0,247	-1,942	-0,250	0,982
SP	- MC	202998,61	-1,558	-1,121	-1,140	-1,056	-1,544	-0,468
SP	- VG	190173,13	-2,984	-0,029	-0,068	-0,573	-2,963	-1,955

CONTINUAÇÃO

TABELA 4.9 - DISTANCIAS, DIFERENÇAS DE DISTÂNCIAS, AZIMUTES E ALTURA
SGB MENOS NWL 10 D

De	Para	Distância m	Dist.El. m	AZ 1	AZ 2	Altura m	Dist.(D) m	Dist.(D) m c/FE
BA	- MI	161345,62	2,163	-2,554	-2,521	-1,257	2,185	3,040
BA	- ES	261038,94	1,187	-0,701	-0,686	-2,760	1,196	2,580
BA	- MC	283007,04	-0,959	-1,677	-1,674	-1,875	-0,927	0,573
BA	- VG	278823,49	-2,524	-1,007	-1,025	-1,392	-2,478	-1,001
MI	- ES	100697,58	-1,205	1,734	1,717	-1,503	-1,205	-0,671
MI	- MC	173824,23	-1,122	1,612	1,583	-0,617	-1,115	-0,193
MI	- VG	203051,08	-1,225	2,856	2,806	-0,134	-1,209	-0,133
ES	- MC	176883,71	-1,372	1,003	0,990	0,886	-1,385	-0,477
ES	- VG	228124,76	-1,161	2,133	2,099	1,369	-1,171	0,038
MC	- VG	59779,68	0,644	3,887	3,867	0,483	0,643	0,960

LEGENDA

Sigla	Vértice
PP	= Pedra Preta
TD	= Tres Divisas
CC	= Cerro Chato
DL	= Dona Luiza
BS	= Bocaiúva do Sul
SP	= Spitzkopf
BA	= Base Aérea
MI	= Mirante II
ES	= Esmeralda
MC	= Matos Costa (E)
VG	= Vera Guarani

TABELA 4.10- TRECHO DOS RESULTADOS DO CÁLCULO DA
DISTÂNCIA DIRETA

3	3527566,1200	-4429020,6800	-2928076,5300
4	3702083,9400	-4436728,8400	-2693237,8800

Matriz variância covariância, Modo 2 (triângulo superior)

0,24900	0,02470	0,04270	0,24000	0,03040	0,04340
0,26600	0,05310	0,01740	0,26200	0,05680	
0,36500	0,03930	0,04250	0,37000		
0,24900	0,01550	0,03900			
0,27400	0,04490				
0,37900					

DX = -174517,8200 7708,1600 -234838,6500
Distância 3 - 4 = 292685,970 m Desvio Padrão = 0,091 m

Matriz variância covariância, Modo 1 (triângulo superior)

0,24900	0,02470	0,04270	0,00000	0,00000	0,00000
0,26600	0,05310	0,00000	0,00000	0,00000	
0,36500	0,00000	0,00000	0,00000		
0,24900	0,01550	0,03900			
0,27400	0,04490				
0,37900					

DX = -174517,8200 7708,1600 -234838,6500
Distância 3 - 4 = 292685,970 m Desvio Padrão = 0,854 m

Matriz variância covariância, Modo 0 (triângulo superior)

0,24900	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
0,26600	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	
0,36500	0,00000	0,00000	0,00000		
0,24900	0,00000	0,00000			
0,27400	0,00000				
0,37900					

DX = -174517,8200 7708,1600 -234838,6500
Distância 3 - 4 = 292685,970 m Desvio Padrão = 0,810 m

LEGENDA

Num. Vértice
3 = Cerro Chato
4 = Dona Luiza

Obs.: A primeira coluna da esquerda contém as variâncias.

4.5 Orientação

A Tabela 4.9, páginas 84 e 85, apresenta as diferenças entre os azimutes AZ1 e contra azimutes AZ2, calculados a partir das coordenadas da RTGB e das coordenadas da Solução em Multi-Estação com Efemérides Operacionais. Os resíduos em azimuth variam de -3,746 a +3,887 segundos, sem tendência sistemática e com valor médio de -0,111 segundos.

A propagação dos erros no cálculo do azimuth, a partir das coordenadas Doppler, da Solução Multi-Estação com efemérides operacionais apresentou os seguintes resultados :

desvio padrão máximo = $0,1''$;

desvio padrão mínimo = $0,005''$;

valor médio das variâncias = $0,02''$

erro médio quadrático dos resíduos das diferenças entre SGB e rede Doppler = $1,41''$.

Estes resultados evidenciam que a rede Doppler tem boa orientação, e portanto, adequada como referência para o controle de redes.

As diferenças de azimutes mostradas na tabela 4.9 indicam que não há rotação, o que também é evidenciado na figura 4.14, pág. 104.

4.6 Precisão

4.6.1 Detecção de Erro Grosseiro

A comparação entre as coordenadas da solução Multi-Estação (Tabela 4.4) com as coordenadas do SGB (Tabela 4.12), apresentam grandes discrepâncias no vértice PEDRA PRETA (Tabela 4.11, tres primeiras colunas).

Os resultados da Solução Multi-Estação indicam que o marco do vértice de Pedra Preta está deslocado de 14,91m na direção Nordeste, ou seja de 6,9m para este e de 13,2m para o norte.

Foram traçadas curvas de mesma diferença de coordenadas (Figura 4.5), as quais indicam com clareza as discrepâncias em DX e em DZ.

A Caderneta de Campo do vértice Pedra Preta (arquivo do IBGE), apresenta as anotações mostradas na Figura 4.6 .

A partir dessas informações concluiu-se que fora ocupado erroneamente o marco astronômico e não o marco geodésico (destruido). Adicionada aos cálculos do posicionamento a excentricidade da antena em Pedra Preta, os resultados se normalizam como mostram as tres colunas da direita da tabela 4.11.

O valor correto da excentricidade do marco Pedra Preta é de 15,16m .

TABELA 4.11 - DIFERENÇAS DE COORDENADAS SGB MENOS NWL 10 D

Estação	Diferenças sem a excentricidade de PP			Diferenças com a excentricidade de PP		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Pedra Preta	68,721	15,721	23,868	78,121	15,341	35,748
Tres Divisas	77,663	14,783	36,224	77,663	14,783	36,224
Cerro Chato	79,924	12,398	35,595	79,924	12,398	35,595
Dona Luiza	76,321	15,547	36,566	76,321	15,547	36,566
Bocaiúva do Sul	75,851	16,017	37,983	75,851	16,017	37,983
Spitzkopt	78,494	12,212	37,081	78,494	12,212	37,081
Base Aérea	79,905	12,681	37,843	79,905	12,681	37,843
Mirante II	76,588	13,607	36,884	76,588	13,607	36,884
Esmeralda	78,022	13,387	37,586	72,022	13,387	37,586
Matos Costa(B.E.)	78,555	13,956	36,008	78,555	13,956	36,008
Vera Guarani	79,351	14,994	35,916	79,351	14,994	35,916

Valores em metros.

TABELA 4.12 - COORDENADAS DA REDE DE TRIANGULAÇÃO GEODÉSICA BRASILEIRA (RTGB)*

Elipsóide Internacional de Referência 1967

Estação	Coordenadas Cartesianas			Coordenadas elipsóidicas		Altura
	X	Y	Z	Latitude	Longitude	Geométrica
				° ' "	° ' "	m
Pedra Preta	3648669,471	-4480971,299	-2693003,302	-25 08 04,9446	-50 50 43,7986	950,13
Tres Divisas	3742892,573	-4335330,647	-2799842,866	-26 12 12,3632	-49 11 39,9479	1205,19
Cerro Chato	3527646,044	-4429008,202	-2928040,935	-27 30 06,378	-51 27 47,3244	836,21
Dona Luiza	3702160,261	-4436713,293	-2693201,314	-25 08 12,5336	-50 09 25,5982	919,79
Bocaiuva do Sul	3701044,521	-4364768,403	-2701395,817	-25 13 04,8482	-49 05 55,5051	1044,61
Spitzkopf	3720761,844	-4300229,468	-2881077,939	-27 01 28,8736	-49 07 55,5288	915,48
Base Aérea	3740712,255	-4237604,529	-2945020,217	-27 40 41,7314	-48 33 49,6711	71,56
Mirante II	3614674,248	-4337277,893	-2959605,526	-27 49 17,8961	-50 11 32,1980	1195,24
Esmeralda	3531540,112	-4389119,963	-2982062,144	-28 03 36,4024	-51 10 45,8936	992,06
Matos Costa B.E.	3590444,225	-4445003,974	-2826003,682	-26 28 00,2094	-51 04 32,0031	1227,55
Vera Guarani	3632357,941	-4437883,726	-2784120,564	-26 02 48,2950	-50 42 00,2171	900,9

* Da área do Projeto fornecidas pelo IBGE

FIGURA 4.5 CURVAS DE MESMA DIFERENÇA DE COORDENADAS
 (DY) (DX) (DZ)
 COORDENADAS RTGB MENOS NSWC 9Z-2

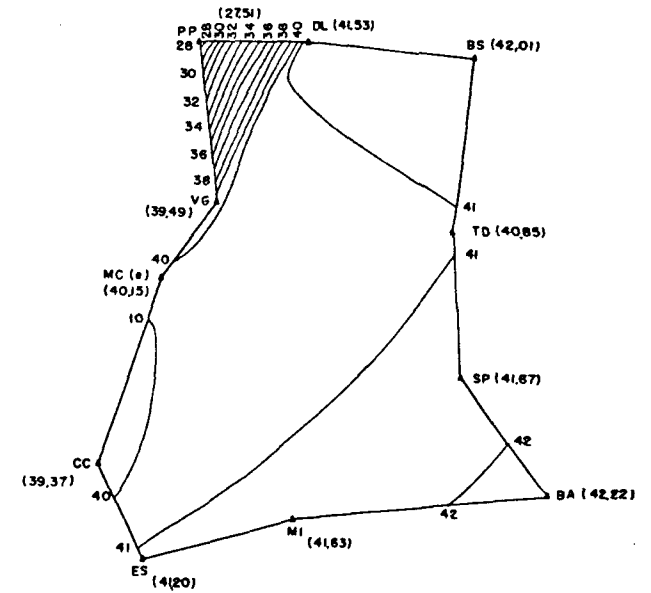
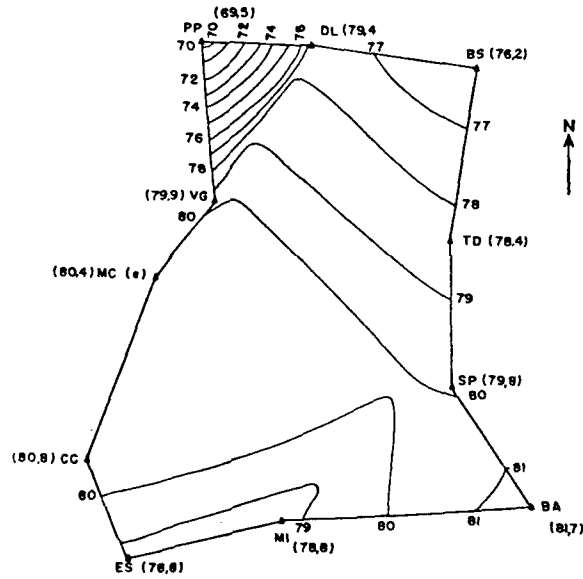
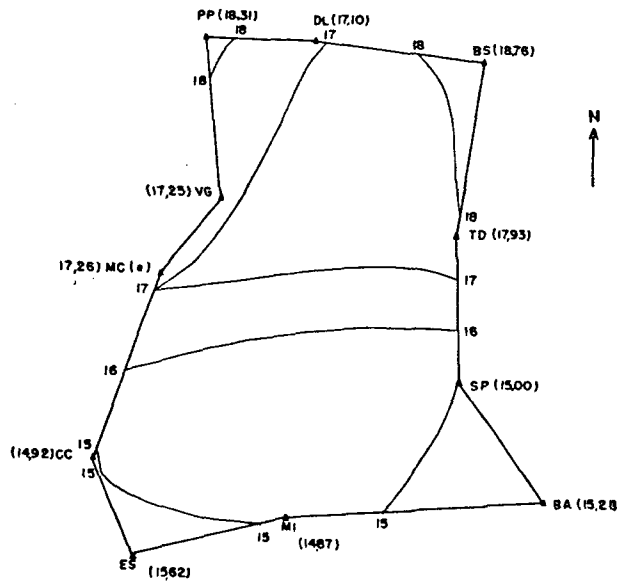
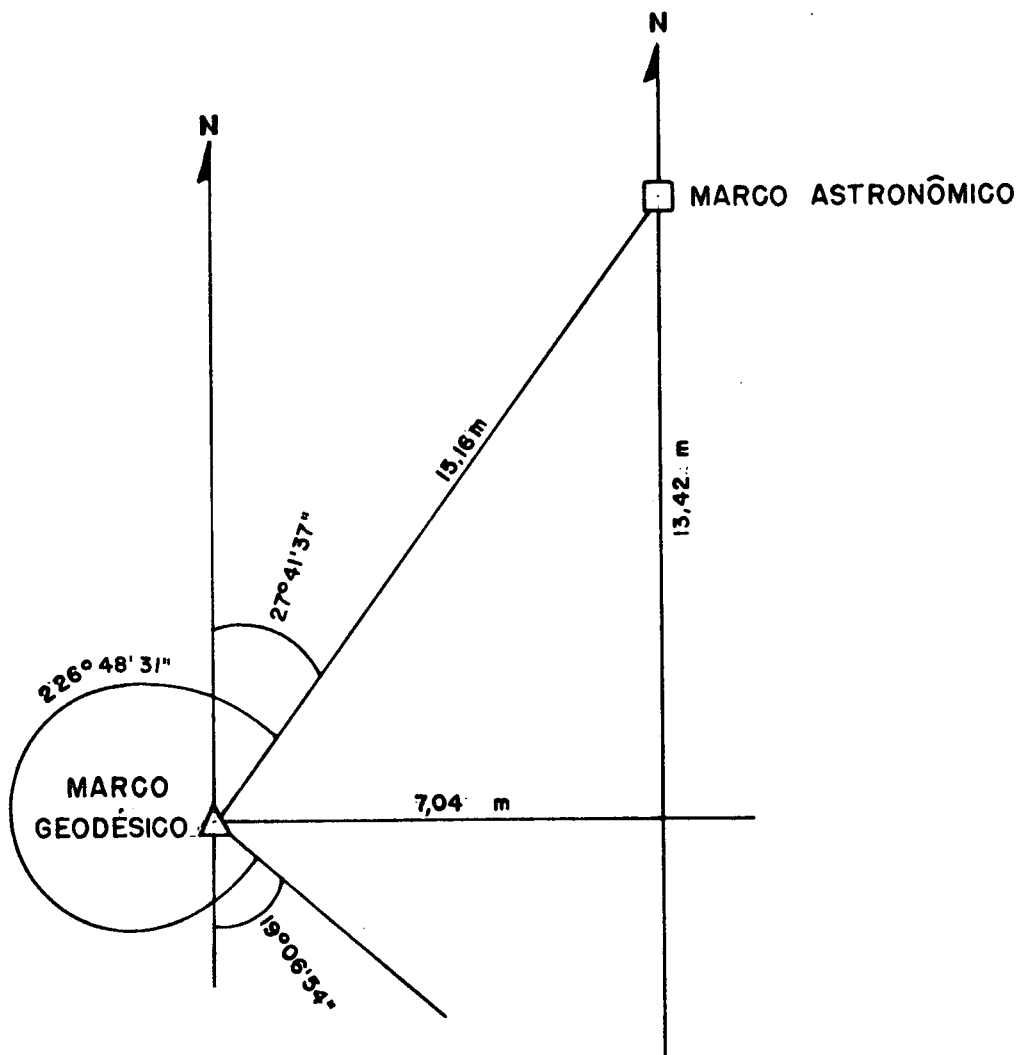


FIGURA 4.6 CADERNETA DE CAMPO - PEDRA PRETA

ESTAÇÃO PEDRA PRETA PR M51 1.193 ANO 1956

	DISTÂNCIA	DIREÇÃO	AZIM
FAXINAL DOS RODRIGUES		0° 00' 00"	
MARCO A	10,85m	08° 03' 37",1	165°
MARCO B	11,67m	281° 32' 58",7	270°
MARCO ASTRONÔMICO	15,16m	322° 09' 09",0	330°



O fato da ocupação errônea conduziu a duas importantes considerações :

- foi detetado com aproximação de 25cm um deslocamento da ordem de 15m do marco Pedra Preta, e,
- ficou evidenciada a precisão e a excelência do Método de Multi-Estação para controle das Redes Geodésicas.

4.6.2 Precisão no posicionamento

A comparação entre as coordenadas da solução em Multi-Estação com Efemérides Operacionais e as coordenadas no SGB foram realizadas com a aplicação de parâmetros de translação calculados com o modelo OSU86E para a altura do geóide, nas tres áreas mostradas na Figura 4.4 com os valores apresentados na Tabela 4.7 e também com os parâmetros do IBGE[28].

Os tres primeiros resultados, tabelas 4.13, 4.14 e 4.15 apresentam pequenas diferenças em latitude, longitude e altitude, o que mostra a boa estabilidade da rede na área do Projeto e também que os parâmtros adotados são adequados para a comparação entre os dois sistemas. Os resultados obtidos com os parâmetros do IBGE contêm erros sistemáticos em longitude e na altura de -1,5m e -7,0m respectivamente, conforme mostra a tabela 4.16 e figuras 4.9 e 4.13.

As diferenças em latitude e longitude tabela 4.13, não apresentam tendência sistemática e são menores do que 0,1", portanto dentro da precisão esperada para a RTGB.

As diferenças em altura, tabela 4.13, não apresentam tendência sistemática. A maior diferença igual a 1,9 m pode ser considerada muito boa se comparada com a precisão esperada para o novo Mapa Geoidal, que será menor do que 5,0 m [14].

As figuras 4.7 a 4.13 ilustram o comportamento das diferenças entre as coordenadas da solução em Multi-Estação com efemérides operacionais e SGB, com o emprego de parâmetros de translação obtidas com estações da área NORTE, área SUL, área TOTAL e parâmetros do IBGE.

A figura 4.7 mostra que as latitudes da solução de parâmetros da área NORTE apresentam desvios de 1m, e que as latitudes da solução com parâmetros da área SUL apresentam desvios de -1m.

A figura 4.8 mostra que as longitudes da solução com parâmetros do IBGE apresentam desvios de -1,5m.

Os desvios em longitude das soluções com parâmetros das áreas NORTE e SUL invertem de tendências em relação à latitude e têm magnitude de +/- 1m.

A figura 4.9 ilustra a forte tendência (-7m) sistemática da solução para a altura com parâmetros do IBGE e também que os desvios das soluções com parâmetros das áreas NORTE e SUL seguem a mesma tendência dos desvios da longitude.

A figura 4.14 mostra uma composição das diferenças em latitude e longitude.

Os vetores resultantes indicam que não há rotação nem tendências sistemáticas.

O maior desvio é notado no vértice Base Aérea, o que pode ser explicado observando-se a figura 1.2, pág.11, que

mostra estar o vértice localizado num trecho sem forte rigidez geométrica em relação à RTGB.

TABELA 4.13 - RESÍDUOS DA COMPARAÇÃO ENTRE COORDENADAS DO SGB
E SOLUÇÃO ME EO COM PARÂMETROS DA ÁREA TOTAL

	____LATITUDE____		____LONGITUDE____		ALTURA
	segundos	metros	segundos	metros	metros
Pedra Preta	-0,036	-1,110	0,028	0,870	0,797
Tres Divisas	-0,002	-0,064	0,009	0,286	0,817
Cerro Chato	0,007	0,228	0,015	0,477	-0,583
Dona Luiza	-0,031	-0,949	-0,016	-0,481	1,054
Bocaiúva	0,002	0,046	-0,015	-0,450	1,947
Spitzkopf	0,038	1,186	-0,033	-1,008	-1,013
Base Aérea	0,069	2,142	0,017	0,527	-1,824
Base Pista	0,044	1,349	0,010	0,296	-1,113
Mirante II	-0,002	-0,055	-0,054	-1,669	-0,573
Esmeralda	0,035	1,078	-0,019	-0,599	0,927
Matos Costa	-0,011	-0,349	0,009	0,270	0,044
Vera Guarani	-0,018	-0,552	0,055	1,703	-0,439

TABELA 4.14 - RESÍDUOS DA COMPARAÇÃO ENTRE COORDENADAS DO SGB
E SOLUÇÃO ME EO COM PARÂMETROS DA ÁREA NORTE

	____LATITUDE____		____LONGITUDE____		ALTURA
	segundos	metros	segundos	metros	
Pedra Preta	-0,019	-0,596	0,017	0,525	-0,035
Tres Divisas	0,015	0,461	-0,003	-0,093	0,003
Cerro Chato	0,025	0,777	0,004	0,137	-1,396
Dona Luiza	-0,014	-0,437	-0,027	-0,839	0,226
Bocaiúva	0,018	0,557	-0,027	-0,828	1,125
Spitzkopf	0,056	1,722	-0,045	-1,391	-1,818
Base Aérea	0,087	2,686	0,004	0,131	-2,620
Base Pista	0,061	1,894	-0,003	-0,100	-1,910
Mirante II	0,016	0,496	-0,066	-2,035	-1,376
Esmeralda	0,053	1,634	-0,031	-0,947	0,121
Matos Costa	0,006	0,185	-0,002	-0,075	-0,777
Vera Guarani	-0,001	-0,025	0,044	1,352	-1,262

TABELA 4.15 - RESÍDUOS DA COMPARAÇÃO ENTRE COORDENADAS DO SGB
E SOLUÇÃO ME EO COM PARÂMETROS DA ÁREA SUL S

	____LATITUDE____		____LONGITUDE____		ALTURA
	segundos	metros	segundos	metros	
Pedra Preta	-0,058	-1,806	0,037	1,158	1,333
Tres Divisas	-0,025	-0,767	0,019	0,602	1,333
Cerro Chato	-0,016	-0,491	0,025	0,762	-0,074
Dona Luiza	-0,053	-1,645	-0,006	-0,182	1,588
Bocaiúva	-0,021	-0,647	-0,004	-0,136	2,475
Spitzkopf	0,015	0,476	-0,022	-0,689	-0,507
Base Aérea	0,046	1,428	0,028	0,857	-1,328
Base Pista	0,021	0,635	0,020	0,626	-0,618
Mirante II	-0,025	-0,774	-0,044	-1,364	-0,072
Esmeralda	0,011	0,354	-0,010	-0,308	1,429
Matos Costa	-0,034	-1,058	0,018	0,558	0,565
Vera Guarani	-0,041	-1,256	0,065	1,996	0,085

TABELA 4.16 - RESÍDUOS DA COMPARAÇÃO ENTRE COORDENADAS DO SGB
E SOLUÇÃO ME EO COM PARÂMETROS DO IBGE

	____LATITUDE____		____LONGITUDE____		ALTURA
	segundos	metros	segundos	metros	metros
Pedra Preta	-0,040	-1,230	-0,019	-0,573	-6,387
Tres Divisas	-0,002	-0,068	-0,045	-1,377	-6,332
Cerro Chato	0,013	0,412	-0,030	-0,917	-7,778
Dona Luiza	-0,035	-1,077	-0,065	-2,009	-6,115
Bocaiúva	-0,003	-0,082	-0,068	-2,111	-5,199
Spitzkopf	0,042	1,284	-0,087	-2,691	-8,160
Base Aérea	0,075	2,315	-0,040	-1,237	-8,955
Base Pista	0,049	1,522	-0,047	-1,467	-8,245
Mirante II	0,005	0,156	-0,105	-3,229	-7,741
Esmeralda	0,043	1,329	-0,066	-2,037	-6,260
Matos Costa	-0,010	-0,299	-0,038	-1,161	-7,146
Vera Guarani	-0,018	-0,559	0,007	0,231	-7,622

FIGURA 4.7 RESIDUOS EM LATITUDE

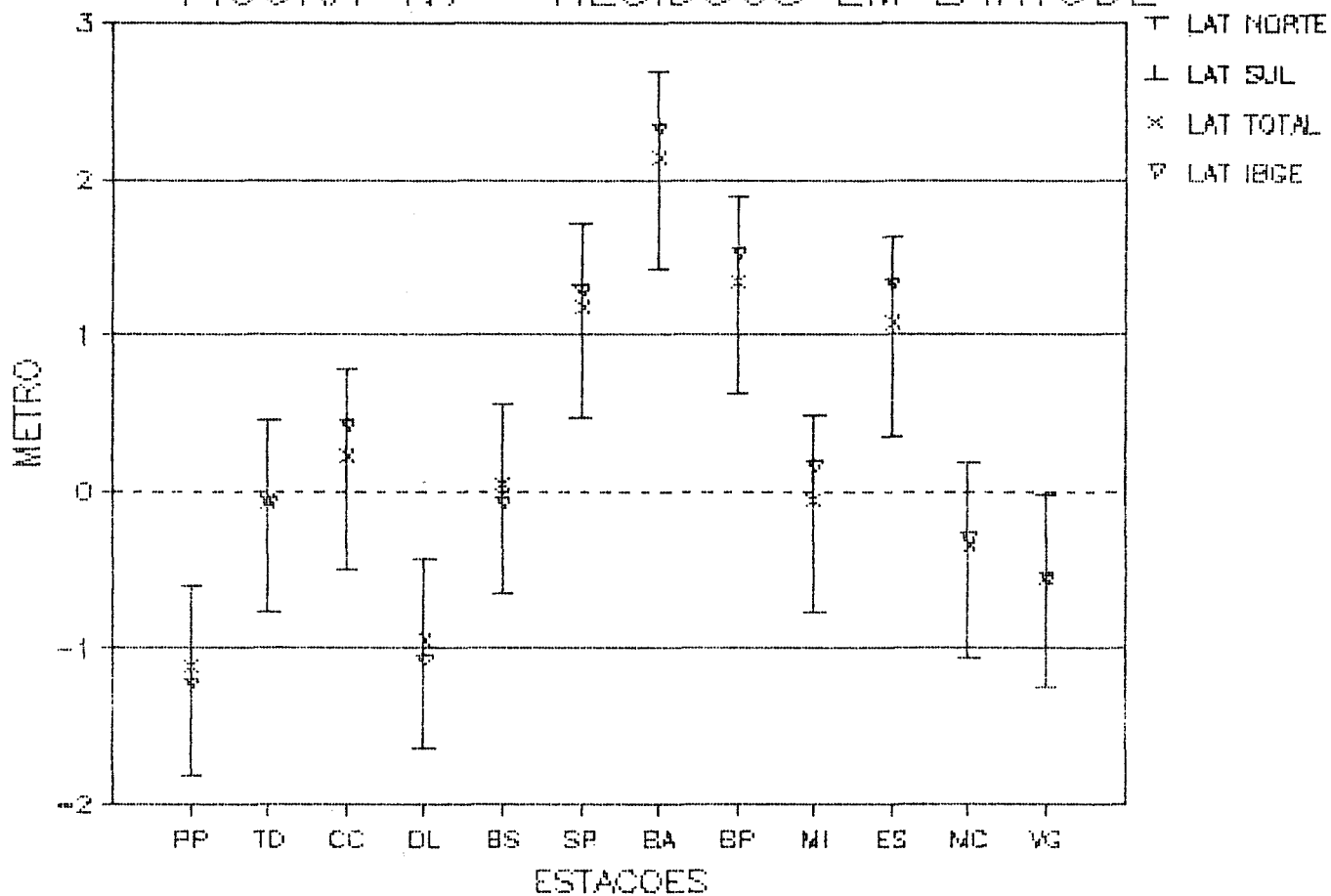


FIGURA 4.8 RESIDUOS EM LONGITUDE

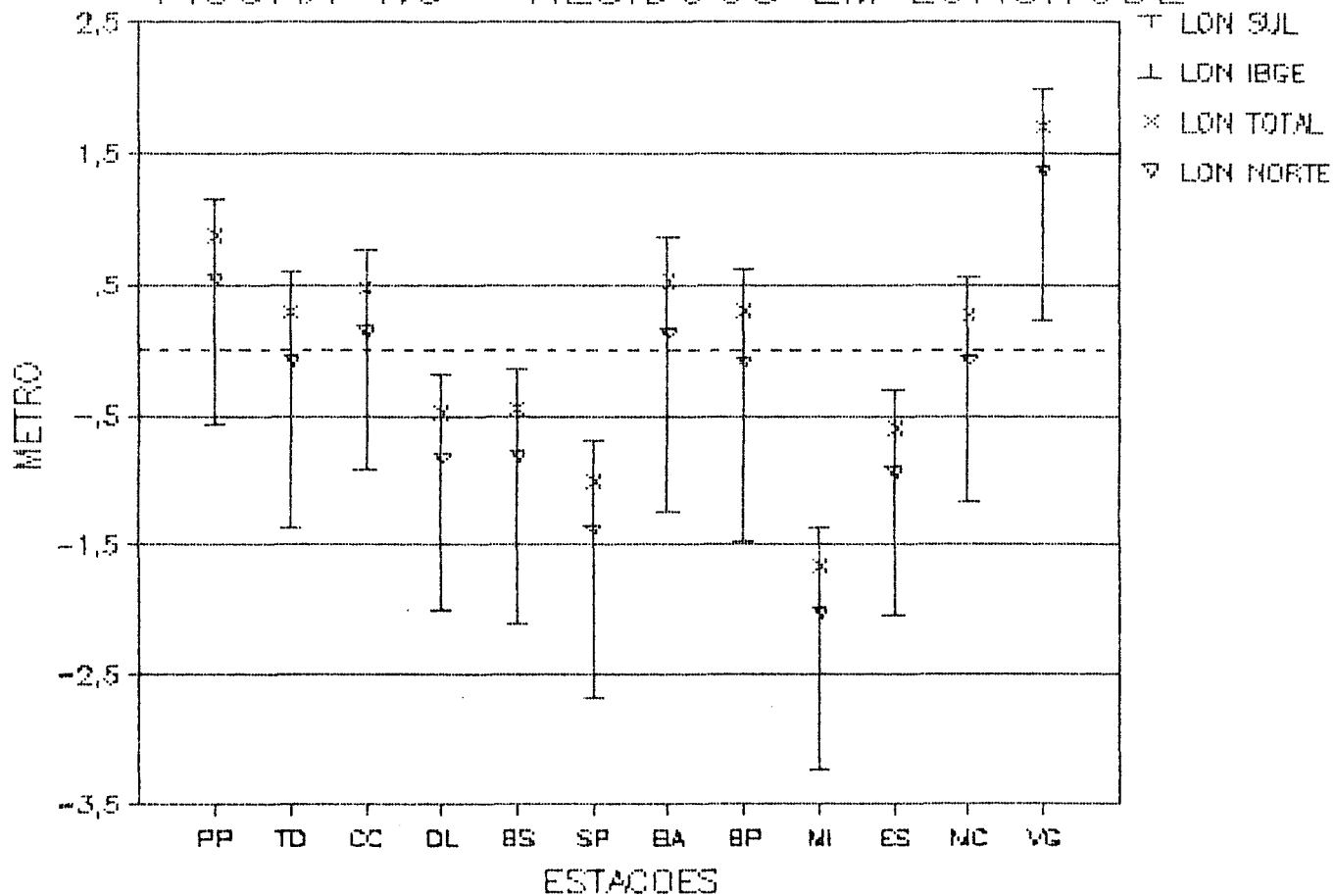


FIGURA 4.9 RESIDUOS EM ALTURA

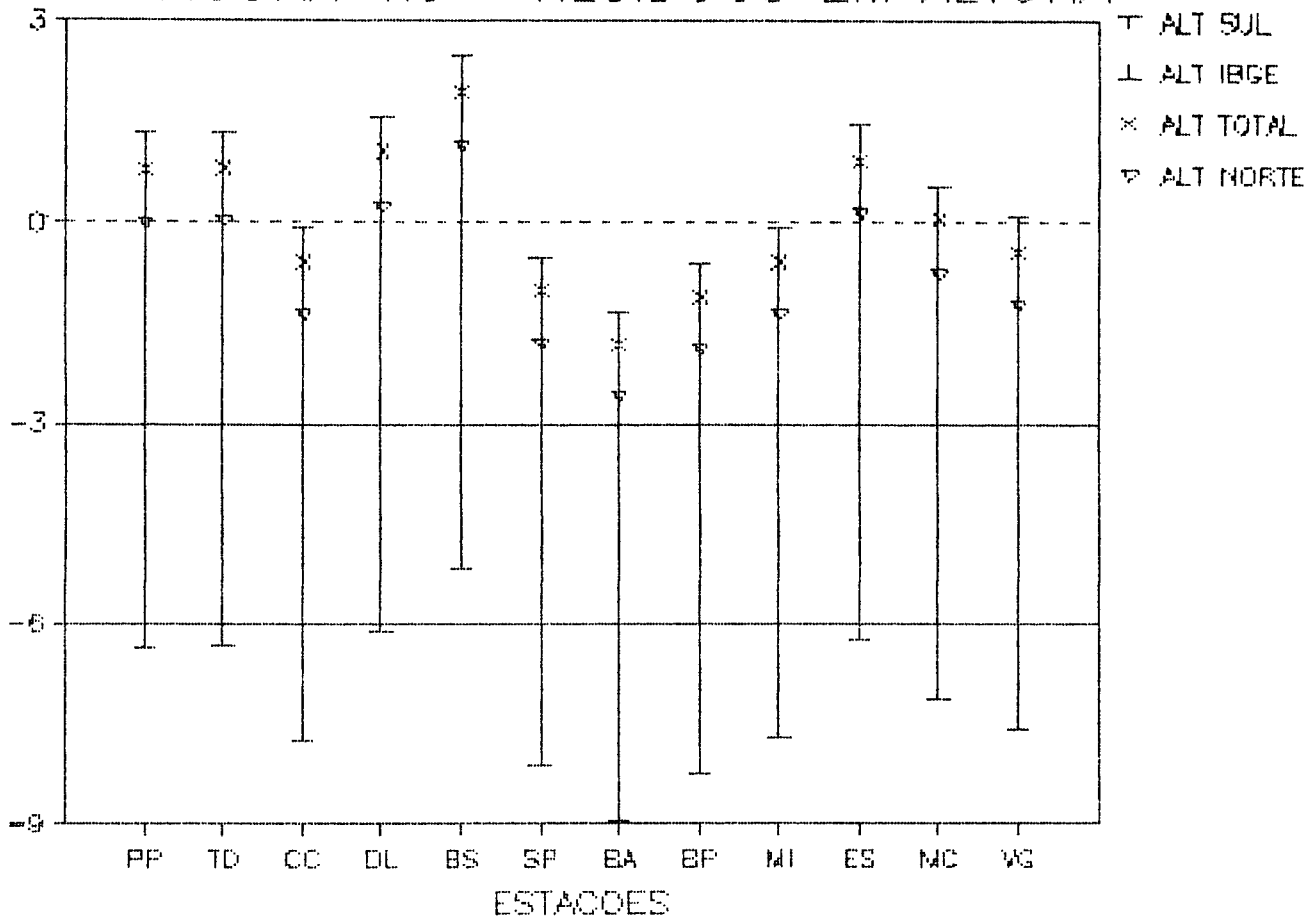


FIGURA 4.10 RESIDUOS EM LATITUDE, LONGITUDE E ALTURA - TOTAL

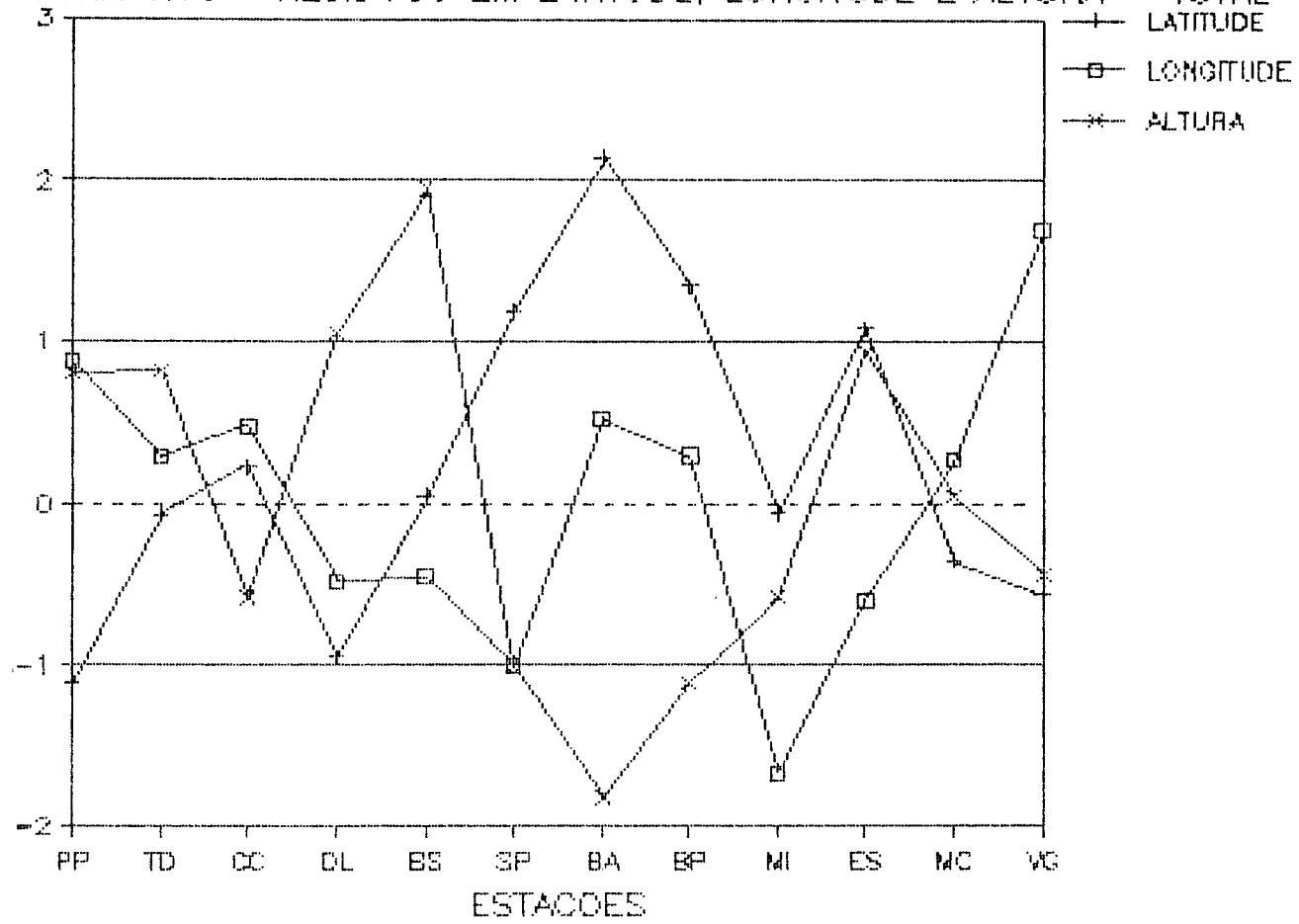


FIGURA 4.11 RESIDUOS EM LATITUDE, LONGITUDE E ALTURA - NORTE

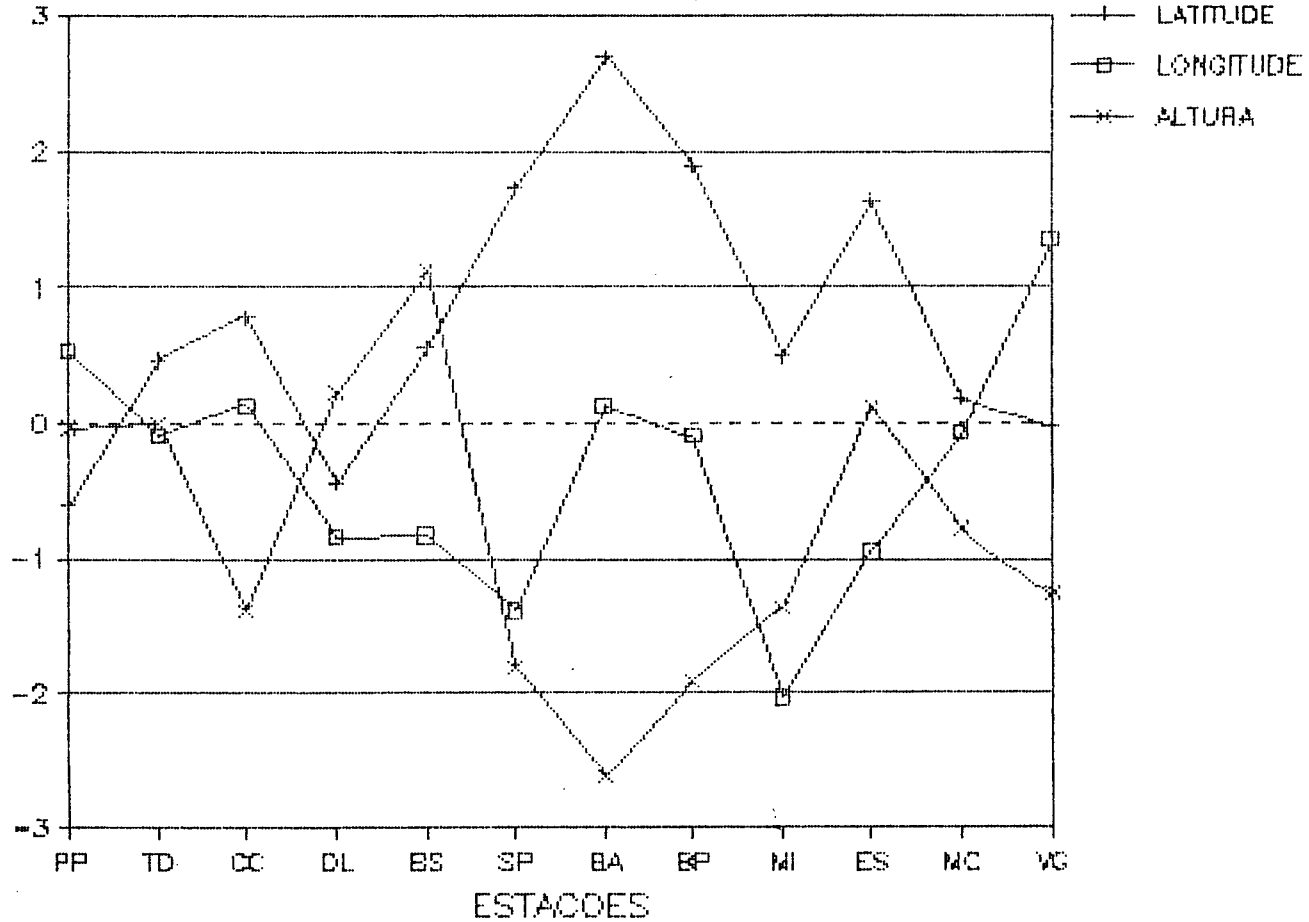


FIGURA 4.12 RESIDUOS EM LATITUDE, LONGITUDE E ALTURA - SUL

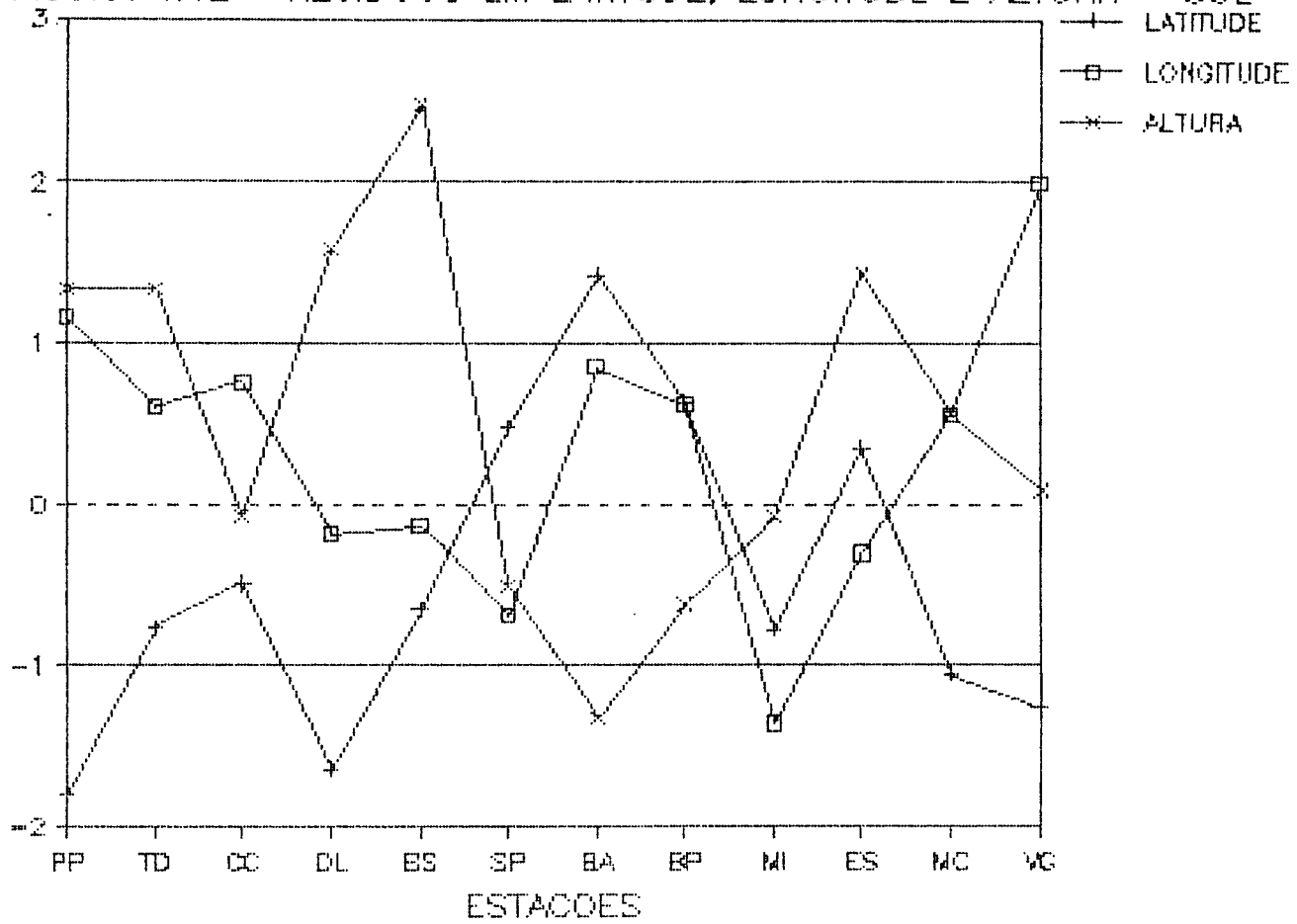


FIGURA 4.13 RESIDUOS EM LATITUDE, LONGITUDE E ALTURA - IBGE

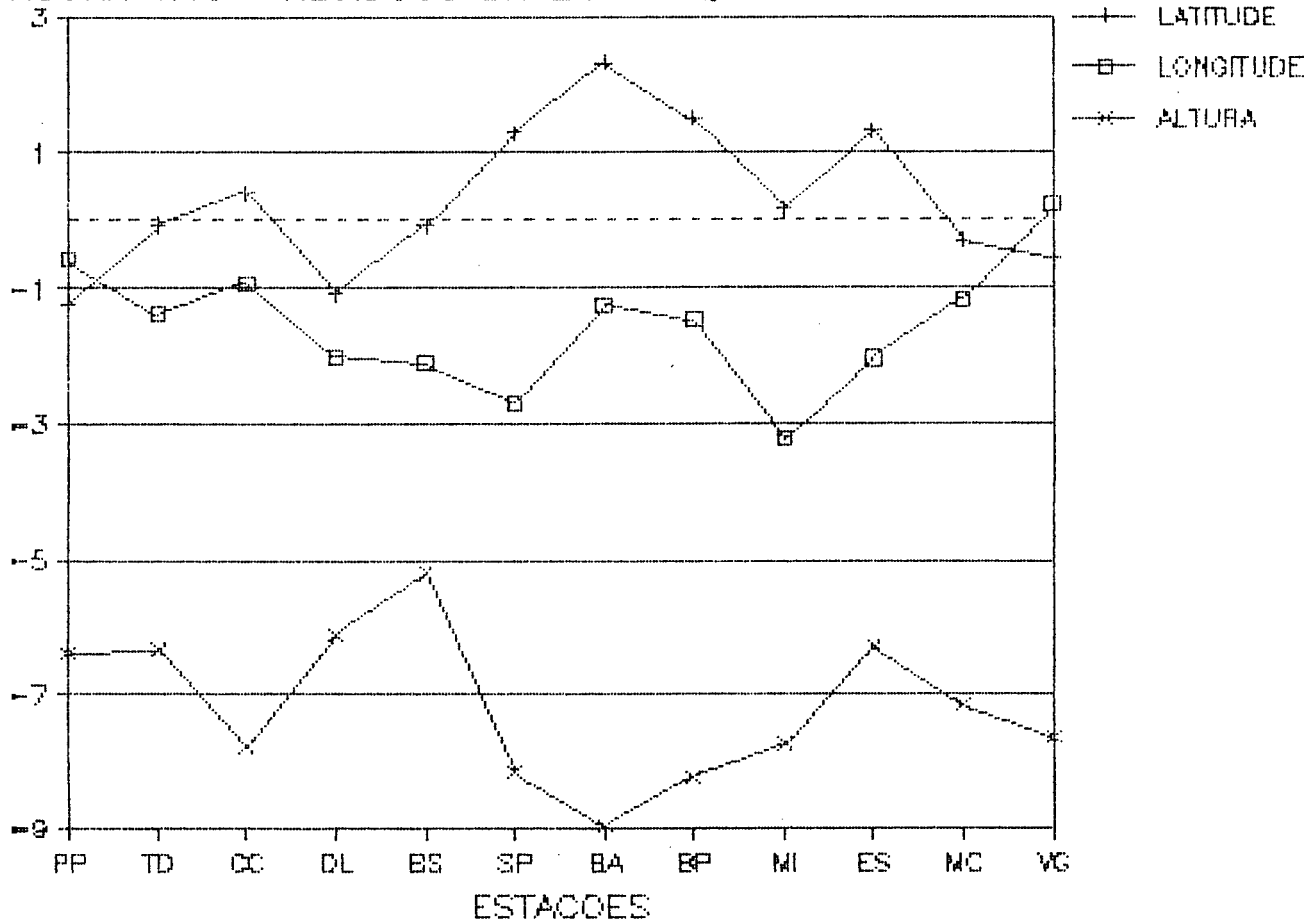
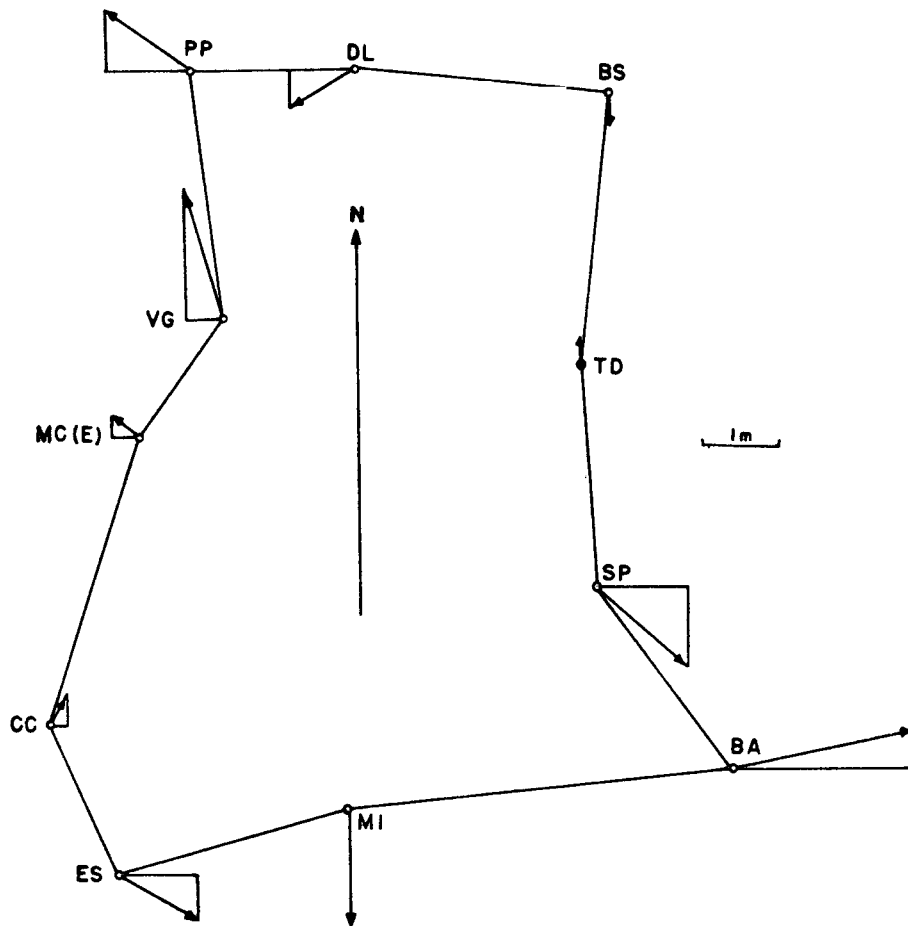


FIGURA 4.14 - COMPOSIÇÃO DAS DIFERENÇAS EM LATITUDE E LONGITUDE



5. Transição do posicionamento por Satélites NNSS para GPS

5.1 Considerações sobre o GPS

O Sistema Global de Posicionamento (GPS) é hoje uma realidade e deverá revolucionar as técnicas de posicionamento. Da mesma forma, como aconteceu com o aparecimento do NNSS, o GPS altera as características das operações de levantamento das medições ponto a ponto para medições ponto - espaço. Mas o GPS não é uma simples substituição do NNSS.

A visibilidade simultânea e contínua de vários satélites permite o cancelamento de fontes de erros nas observações, resultando num posicionamento relativo de grande precisão sobre distâncias de 1 a centenas de quilômetros.

O GPS foi inicialmente projetado como um sistema de navegação civil e militar, para posicionamento em tempo real.

Os satélites GPS transmitem em duas frequências na faixa L : L1 de 1575,42 MHz e L2 de 1227,60 MHz (comprimentos de onda de 19 e 24 cm , respectivamente).

O sinal do satélite consiste da onda portadora modulada com o código S (padrão), mais conhecido por código C/A, com o código P (preciso) e uma Mensagem de Navegação, a qual contém as coordenadas dos satélites em função do tempo (efemérides irradiadas).

O código S destina-se ao uso civil e permite medidas de distância com precisão da ordem de 10m . As soluções obtidas com o código S são referidas como SPS - posicionamento padrão.

O emprego do código P permite medições com precisão da ordem de 1m. As soluções obtidas com o código P são referidas como PPS - posicionamento preciso.

Atualmente, agosto de 1987, existem em órbita 9 satélites : 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12 e 13.

O satélite 7 tem um relógio de quartzo, e não pode ser usado para navegação, sendo possível sua utilização em geodésia desde que se disponha de um modelo para o oscilador no ajustamento.

O satélite 4 não está em operação.

Estes satélites são experimentais (bloco 1), os quais serão substituídos progressivamente por satélites definitivos (bloco 2). O sistema completo terá 18 satélites dispostos em 6 planos orbitais, numa altitude aproximada de 20200 km.

A configuração atual dos 8 satélites GPS permitirá em novembro de 1987, na região de Curitiba, Pr (latitude 25 S e longitude 49 W), quase 6 horas de visibilidade simultânea de 4 satélites, no horário de 15 às 21 horas.

Como no NNSS, o GPS proporciona muito maior precisão para posicionamento relativo, a partir de observações simultâneas em duas estações de observação. Este método é normalmente referenciado como Método Relativo.

Todo sistema de posicionamento por satélites fornece as coordenadas do receptor num sistema de coordenadas geocêntricas. A orientação desse sistema de coordenadas é determinada pelas efemérides dos satélites GPS. Para relacionar as coordenadas obtidas pelo GPS com o Datum local, será necessário determinar os parâmetros de transformação.

Os fatores que influenciam a precisão final obtida com o GPS são :

- a precisão da medição e a geometria receptor-satélite;
- a técnica de processamento adotada;
- a precisão com a qual os efeitos das refrações atmosférica e ionosférica forem modelados e,
- a precisão das efemérides dos satélites.

5.2 Transição NNSS para GPS

Os resultados e as análises apresentados no capítulo anterior demonstraram a eficiência e as qualidades do sistema NNSS, mas provavelmente em 1994 esse sistema deixará de operar e o GPS será uma realidade. As empresas terão seus receptores GPS e as determinações relativas serão de maior precisão do que a RTGB.

Considerando que a RTGB não é muito densificada, o que é uma vantagem para o Brasil em relação aos países que já possuem uma rede muito densificada, deve-se de agora em diante pensar em termos de GPS com o objetivo de atender à comunidade cartográfica nos anos vindouros.

Uma idéia é a de se estabelecer inicialmente 3 pontos Laser ou VLBI, distantes 3000 km ou mais, os quais definem um Datum geocêntrico e servem de base para que receptores GPS realizem a determinação precisa das órbitas dos satélites GPS.

Com as órbitas precisas estabelecer uma rede de base homogênea, com pontos distantes centenas de quilômetros e com

precisão relativa da ordem de 10^{-8} .

Densificar a rede de base com pontos de 50 a 100 km, os quais servirão a todos os usuários e empresas para o posicionamento relativo.

A realização do "Datum geocêntrico WGS 84 brasileiro" fica definido pelo conjunto dos pontos de alta precisão da rede de base.

Na impossibilidade da utilização dos pontos Laser ou VLBI, uma alternativa é o rastreamento simultâneo de 10 pontos por uma ou duas semanas - o que permite a realização do Datum médio para o período.

Outra alternativa é a utilização das efemérides precisas ou a utilização dos pontos Laser de Natal(RN), da Argentina e do Peru.

6. Conclusões

As análises e considerações apresentadas no Capítulo 4. conduzem para a área do Projeto, as seguintes conclusões :

- Os modelos que melhor se adaptam ao geóide do SGB são os OSU 86E e GPM2;
- As pequenas discrepâncias entre os parâmetros de transformação, calculadas com diversos modelos e tres configurações, demonstram que a RTGB é estável e homogênea;
- Os cálculos de distâncias com e sem correlação demonstram que o Método de Multi-Estação é mais vantajoso, pois apresenta precisão muito superior ao Método de Ponto-Simples, e que as correlações intra-estação em nada contribuem para a precisão;
- Os resíduos das diferenças de distância demonstram que a RTGB atende aos requisitos de escala em 80% ;
- A propagação das variâncias dos azimutes da solução Multi-Estação mostrou que a orientação é boa, prestando-se para o controle de redes;
- Não há indicação de rotação da RTGB;
- A precisão da RTGB é da ordem de 1,5m ;
- O método de Multi-Estação é adequado para o controle de redes geodésicas.

Considerando as conclusões enunciadas e considerando que a rede foi executada por equipes de mesmo padrão técnico, é de se esperar que essas conclusões possam ser estendidas a

toda a RTGB.

As conclusões sugerem, face às boas qualidades da RTGB, que se aprimorem e intensifiquem os trabalhos de preservação dos marcos geodésicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01 ABIB, O.A. Geodésia geométrica e por satélites. Rio de Janeiro, s.ed., 1981. 160 p.
- 02 ABIB, O.A. Parâmetros para transformação de Datum WGS-72/SAD-69. Rev.Bras.Cartogr. (20):32-9, 1978.
- 03 ANDERLE, R.J. Error model for geodetic positions derived from Doppler satellite observations. Bull.Geod., 50(1):43-77, 1976.
- 04 ANDERLE, R.J. Role of artificial Earth satellites in redefinition of the North American Datum. Can.Surv., 28(5):590-7, 1974.
- 05 ANDRADE, J.B. Determinação simultânea de parâmetros de transformação entre referenciais geodésicos e de desníveis geoidais. Bol.Univ.Fed.Paraná. Geodésia (30):1-16, 1984.
- 06 ARCHINAL, B. & MUELLER, I.I. A comparison of geodetic Doppler satellite receivers. In: INTERNATIONAL GEODETIC SYMPOSIUM ON SATELLITE DOPPLER POSITIONING, 3., Las Cruces, NM, 1982. III INTERNATIONAL ... s.n.t. 14f.
- 07 AZHKENAZI, V. et alii. SATELLITE-DOPPLER POSITIONING. Nottingham, University of Nottingham, Department of Civil Engineering, 1983. 48 p.
- 08 BADEKAS, J. Investigations related to the establishment of a World Geodetic System. Columbus, Department of Geodetic Science, Ohio State University, 1969. 181 p. Reports, 124.
- 09 BAUMKER, M. Common adjustment of terrestrial and satellite Doppler observations in three dimensions. In: IUGG/IAG GENERAL ASSEMBLY, 18.,, Hamburg, 1983. XVIII IUGG/IAG... s.n.t. 32 p.
- 10 BAUMKER, M. Zur dreidimensionalen Ausgleichung von terrestrischen und Satellitenbeobachtungen. Wiss.Arb.Fachr.Vermess.Univ.Hannover (130) 1984. 146 p.
- 11 BENDER, P.L. Establishment of terrestrial reference frames by new observational techniques. In: GAPOSCHKIN, E.M. & KOLAZEK, B. Reference coordinate systems for Earth dynamics. Dordrecht, D. Reidel, 1981. p.23-36. (Astrophysics and Space Science Library; v. 86, Proceedings).
- 12 BLACK, H.D. The transit system 1977: performance, plans and potential. Phil.Trans.R.Soc.Lond., A294:217-36, 1980.

- 13 BLAHA, F. An overview of important parameters and features of transit satellite geodetic survey equipment. In: SEMINAR ON DOPPLER SYSTEMS AND THEIR APPLICATION FOR GEODETIC CONTROL PURPOSES, Buenos Aires, 1977. Seminar ... s.n.t. 8 f.
- 14 BLITZKOW, D. & FORTES L.P.S. As alturas geoidais e os modelos de grau elevado do potencial gravitacional. XII CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, BRASÍLIA, DF, 1987.
- 15 BOAL, J.D. & KOUBA, J. Adjustment and analysis of the satellite Doppler network in Canada. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PROBLEMS RELATED TO THE REDEFINITION OF NORTH AMERICAN GEODETIC NETWORKS, 2., Arlington, VA, 1978. Proceedings. Arlington, VA, 1978. 181-4.
- 16 BOAL, J.D. & MORRIS, R.J. Evaluation of transit data using a refined version of program GEODOP. s.n.t. 11 f.
- 17 BROWN, D.C. Doppler positioning by short arc method. In: INTERNATIONAL GEODETIC SYMPOSIUM ON SATELLITE DOPPLER POSITIONING, 1., Las Cruces, NM, 1976. Proceedings. Las Cruces, NM, 1976. p.97-140.
- 18 BROWN, D.C. Doppler surveying with the JMR-1 receiver. Bull.Geod., 50(1):9-25, 1976.
- 19 BURSA, M. & PICHA, J. Transformation of azimuth and zenith distance determined by satellites into Geodetic Reference System. Stud.Geophys.Geod., 11(3):253-61, 1967.
- 20 CANADIAN MARCONI COMPANY. Operating manual for CMA-751 data processor program 2D position fix, alerts and diagnostics part number 751-201.X. Montreal, 1980. 43 p. + Appendix. Publication n. 751-GEN-0109A.
- 21 CASTELLO BRANCO Fº, M. História do Serviço Geográfico do Exército. s.l., Ministério do Exército, Diretoria de Serviço Geográfico, s.d. 100 p.
- 22 CHEN, J.Y. Geodetic datum and Doppler positioning. Graz, s.ed., 1981. 255 p.
- 23 DE LUCA, N. Mecânica celeste. Curitiba, Ed. da Universidade Federal do Paraná, 1982. 438 p.
- 24 EGGE, D. Zur sequentiellen Auswertung von Doppler-Satellitenbeobachtungen. Wiss.Arb.Fachr.Vermess.Univ.Hannover (141) 1985. 150 p.
- 25 EGGE, D. et alii. The NIEDOC '81 Doppler campaign - GEODOP V short arc results. In: IUGG/IAG GENERAL ASSEMBLY, 18., Hamburg, 1983. XVIII IUGG/IAG ... s.n.t. 22 f.

- 26 FERRARI, D. A look at Brazilian geodesy using satellite Doppler as a tool. In: INTERNATIONAL GEODETIC SYMPOSIUM ON SATELLITE DOPPLER POSITIONING. 2., Austin, TX, 1979. Proceedings. Austin, TX, 1979 p.1028-52.
- 27 FISCHER, I. Estrutura basica del datum sudamericano de 1969. Rev.Cartogr.Inst.Panam.Geogr.Hist., 21(23):9-28, 1972.
- 28 FUNDAÇÃO IBGE. Diretoria de Geodésia e Cartografia. Trabalhos técnicos - 1985. Rio de Janeiro, IBGE, 1985. n.p.
- 29 FUNDAÇÃO IBGE. Resolução PR nº 22 de 21 jul. 1983. Ficam aprovadas, na forma do Anexo, as especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos em território brasileiro. Bol.Serv.IBGE, 32(1602):1-11, 1983. Suplemento.
- 30 Gemael, C. Introdução à Geodésia Celeste. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1975. 2v.
- 31 Gemael, C. Referenciais cartesianos utilizados em Geodésia. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1981. p.irr.
- 32 GILL, T.P. The Doppler effect; an introduction to the theory of the effect. London, Logos Press, 1965. 149 p.
- 33 HAUCK, H. Das Navy Navigation Satellite System auswertemodelle und programmsysteme. In: GEODATISCHEN SEMINAR, München, 1984.. Satelliten-Doppler-Messungen, München, Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, 1984. Heft 15, p. 47-59.
- 34 HAUCK, H. The program ORBDOP (extended GEODOP). 24/11/82. 21 ff. Manuscrito.
- 35 HAUCK, H. et alii. Untersuchungen zur Doppler-positionsbestimmung nach der semi short arc und der short arc methode. AVN, 89(7):274-86, 1982.
- 36 HOAR, G.J. Topografia por satélite. s.l., Magnavox, 1983. p.irr.
- 37 HOSKINS, G.W. Navy Navigation Satellite System status. In: INTERNATIONAL GEODETIC SYMPOSIUM ON SATELLITE DOPPLER POSITIONING, 3., Las Cruces, NM, 1982. III International ... s.n.t. 17f.
- 38 HOTHEM, L.D. Determination of accuracy, orientation and scale of satellite Doppler point-positioning coordinates. In: INTERNATIONAL GEODETIC SYMPOSIUM ON SATELLITE DOPPLER POSITIONING, 2., Austin, 1979. Proceedings. Austin, 1979. p.609-24.

- 39 HOYER, M. Satelliten-Dopplermessungen als unterstützende Beobachtungen bei der Kontrolle und Verbesserung eines geodatischen Netzes in Venezuela. *Wiss.Arb.Fachr.Vermess. Univ.Hannover*(111) 1982. 160 p.
- 40 JENKINS, R.E. & LEROY, C.F. Broadcast versus precise ephemeris apples and oranges. In: INTERNATIONAL GEODETIC SYMPOSIUM ON SATELLITE DOPPLER POSITIONING, 2., Austin, TX, 1979. Proceedings. Austin, TX, 1979. p.39-62.
- 41 JONES, A.C. An investigation of the accuracy and repeatability of satellite Doppler relative positioning techniques. Kensington, NSW Australia, 1984. Reports from School of Surveying, the University of New South Wales.222p.
- 42 KADLEC, F.A. & GOMES, J.P. Cálculo de parâmetros de transferências de sistemas geodésicos.*Rev.Bras.Cartogr.* (22): 27-34, 1978.
- 43 KOUBA, J. An efficient short-arc orbit computation. *Bull. Geod.*, 57(2):138-45, 1983.
- 44 KOUBA, J. GEODOP V - Geodetic Doppler Positioning Programs (Version V). Report of Gravity, Geothermics & Geodynamics Division. Earth Physics Branch. Dept. of Energy, Mines and Resources, Ottawa, 1983. 69p.
- 45 KOUBA, J. Reduction of Doppler satellite data observed in Canada. *Can.Surv.*, 28(5):480-6, 1974.
- 46 KOUBA, J. A review of geodetic and geodynamic satellite Doppler positioning. *Rev.Geophys.Space-Phys.*,21(1):27-40, 1983.
- 47 KOUBA, J. Users guide. The GEODOP V program system. Ottawa, Department of Energy, Mines and Resources, 1982. 34p. + Appendix.
- 48 KOUBA, J. & BOAL J.D. The Canadian Doppler satellite network. In: INTERNATIONAL GEODETIC SYMPOSIUM ON SATELLITE DOPPLER POSITIONING, 1., Las Cruces, NM, 1976. Proceedings. Las Cruces, NM, 1976. p.187-206.
- 49 KOUBA, J. & BOAL J.D. Program GEODOP. Ottawa, Surveys and Mapping Branch, 1976. p.irr.
- 50 KOUBA, J. & WELLS, D.E. Semi-dynamical Doppler satellite positioning. *Bull.Geod.*, 50(1):27-42, 1976.
- 51 KOVALEVSKY, J. Introduction to celestial mechanics. New York, Springer-Verlag, 1967. 126 p.

- 52 KRAKIWSKY, E.J. et alii. Geodetic Control from Doppler satellite observations for lines under 200 Km. Fredericton, Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick, 1972. 158 p. Technical Report, 22.
- 53 KRAKIWSKY, E.J. & Thomson, D.B. Mathematical models for the combination of terrestrial and satellites networks. *Can. Surv.*, 28(5):606-15, 1974.
- 54 KRAKIWSKY, E.J. & WELLS, D.E. Coordinate systems in geodesy. Fredericton, Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick, 1973. 115 p. Lecture Notes, 16.
- 55 LACHAPELLE, C. & KOUBA, J. Relationship between terrestrial and satellite Doppler systems. In: GAPOSCHKIN, E.M. & KOLACZEK, B. Reference coordinate systems for Earth dynamics. Dordrecht, D. Reidel, 1981. p.195-203.
- 56 LAWNIKANIS, P. Program PREDOP. Ottawa, Surveys and Mapping Branch, 1976. 80 p. + Appendix.
- 57 LELGEMANN, F. Differential equations for the motion of artificial satellites with special regard to interpolation series of harmonic kernel functions. *Manuscr.Geod.*, 4(1):1-43, 1979.
- 58 LEROY, C.F. Results for portable Doppler receivers using broadcast and precise ephemeris. In: INTERNATIONAL GEODETIC SYMPOSIUM ON SATELLITE DOPPLER POSITIONING, 1., Las Cruces, NM, 1976. Proceedings. Las Cruces, NM, 1976. p.399-416.
- 59 LEVALLOIS, J.-J. & KOVALEVSKY, J. *Geodésie générale*. Paris, Eyrolles, 1971. v.4.
- 60 MEADE, B.K. NWL-10F versus WGS-72 Doppler results and broadcast versus Precise Ephemeris Coordinates. s.n.t. n.p.
- 61 MORALES ZUNIGA, R.A. Análise sobre a precisão das medições Doppler usando o Programa GEODOP V. Curitiba, 1986. 91f. Dissertação, Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas,, Universidade Federal do Paraná.
- 62 MUELLER, I.I. Introduction to satellite geodesy. New York, Frederick Ungar, 1964. 415 p.
- 63 MUELLER, I.I. Reference coordinate systems for Earth dynamics : a preview. In: GAPOSCHKIN, E.M. & KOLACZEK, B. Reference coordinate systems for Earth dynamics. Dordrecht, D. Reidel, 1981. p.1-22. (Astrophysics and Space Science Library; v. 86, Proceedings)

- 64 MUELLER, I.I. Review of problems associated with conventional geodetic datums. *Can.Surv.*, 28(5):514-23, 1974.
- 65 NESBO, I. Comparison of mathematical models for Doppler satellite positioning. Fredericton, 1976. 111 p. Thesis, Master of Science in Engineering, University of New Brunswick.
- 66 PETERSON, A.E. Merging of Canadian triangulation network with the 1973 Doppler satellite data. *Can. Surv.*, 28(5): 487-95,, 1974.
- 67 ROCHA, G.A. Determinação de coordenadas através de satélites; a experiência brasileira. *Rev. Bras. Cartogr.*, 4(12):19-21, 1974.
- 68 SCHENKE, H.W. Precision Doppler satellite observation on the German three-dimensional testnet "Western Harz". s.n.t. 23 f. Mimeografado.
- 69 SCHENKE, H.W. Untersuchungen zur Genauigkeit von Doppler - Satellitenbeobachtungen im Testnetz Westharz. *Wiss.Arb. Fachr.Vermess.Univ.Hannover* (129) 1984. 205 p.
- 70 SCHLUTER, W. Satellite Doppler point positioning using the Navy Navigation Satellite System. Manuscript prepared for a series of lectures held at the Wuhan College of Geodesy, Cartography and Photogrammetry, 1981. 67 f.
- 71 SCHLUTER, W. Systemüberwachung und ephemeridenberechnung. In: GEODATISCHEN SEMINAR, Munchen, 1984. *Satelliten-Doppler-Messungen*, Munchen, Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, 1984. Heft 15, p.31-45.
- 72 Schodlbauer, A. Bezugssysteme der Landesvermessung unter Berücksichtigung terrestrischer und satelliten-geodatischer mess und auswerteverfahren. In: GEODATISCHEN SEMINAR, Munchen, 1984. *Satelliten -Doppler-Messungen*, Munchen, Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, 1984. Heft 15, p.63-153.
- 73 SEEBER, G. Das Navy Navigation Satellite System und seine geodatische nutzung. In: GEODATISCHEN SEMINAR, Munchen, 1984. *Satelliten-Doppler-Messungen*, Munchen, Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, 1984. Heft 15, p.7-30.
- 74 SEEBER, G. Satelliten-Dopplerpositionsbestimmung - eine Einführung. *AVN, Karlsruhe*, 89((7):265-74, 1982.
- 75 SEEBER, G. *Satelliten-geodasie I*. Hannover, Universitaet Hannover, 1979. 60 f. Mimeografado.

- 76 SEEBER, G. & SEEGER, H. Satelliten-Dopplermessungen in Deutschen hauptdreiecksnetz. In: GEODATISCHEN SEMINAR, Munchen, 1984. Satelliten-Doppler-Messungen. Munchen, Wissenschaftlicher Studiengang Vermessundswessen, 1984. Heft 15, p.231-47.
- 77 SEEBER, G. et alii. Einsatzmoglichkeiten von Doppler-Satellitenmessungen. AVN, Karlsruhe, 89(10):373-88, 1982.
- 78 SEEBER, G. et alii. Status report on Donav. s.n.t. 16p.
- 79 SEPPELIN, T.O. The Department of Defense World Geodetic System 1972. Can.Surv., 28(5):496-506, 1974.
- 80 SIEBOLD, J. et alii. GEODOP V portable version Fortran 77. Hannover, Institut of Geodesy, University of Hannover, 1983. 20 p.
- 81 SIGL, R. Der beitrag der satellitengeodasie zur erdmessung. Abh.Braunschweig.Wiss.Ges., 27:193-226, 1977.
- 82 SILVA, M.V.D. O projeto de reajustamento da Rede Geodésica Planimétrica Nacional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 12., Brasília, 1985. XII Congresso ... s.n.t. 19 f.
- 83 STANSELL Jr., T.A. The continuing evolution of satellite based geodetic positioning and survey navigation capabilities. In: OFFSHORE TECHNOLOGY CONFERENCE, 13., Houston, TX, 1981. XIII Offshore ... s.n.t. 16 p.
- 84 TORGE, W. Geodesy; an introduction. New York, Walter de Gruyter, 1980. 254 p.
- 85 UNITED STATES ARMY TOPOGRAPHY COMMAND.
Corps of Engineers & SERVIÇO GEODÉSICO INTERAMERICANO. Brazil geographic positions and Universal Transverse Mercator grid coordinates; South American 1969 datum, South American 1969 elipsoid. Area I: the basic framework of the South American Datum of 1969. s.l., s.ed., 1970. n.p.
- 86 VANICEK, P. & KRAKIWISKY, E.J. Geodesy; the concepts. Amsterdam, North-Holland, 1982. 692 p.
- 87 VANICEK, P. & WELLS, D.E. Positioning of horizontal geodetic datums. Can.Surv., 28(5):531-8, 1974.
- 88 WALKER, J.W. Derivation and application of datum transformations relating Doppler positions to local and national datum in Latin America. Rev.Cartogr.Inst.Panam.Geogr. Hist. (34):49-55, 1978.

- 89 WELLS, D.E. Concept of satellite Doppler positioning using translocation techniques. In: INTERNATIONAL GEODETIC SYMPOSIUM ON SATELLITE DOPPLER POSITIONING, 1., Las Cruces, NM, 1976. Proceedings. Las Cruces, NM, 1976. p.77-96.
- 90 WELLS, D.E. Doppler satellite control. Fredericton, Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick, 1976. 277 p. Technical Report, 29.
- 91 WELLS, D.E. et alii. Guide to GPS positioning. Fredericton, Canadian GPS Associates, 1986. p.irr.
- 92 WELLS, D.E. et alii. Internal and external consistency of Doppler satellite triangulation and terrestrial networks. Can.Surv., 28(5):467-73, 1974.
- 93 WELSCH, W. & OSWALD, W. Kombinierte ausgleichung von Doppler-satellitennetzen und terrestrischen netzen. In: GEODATISCHEN SEMINAR, Munchen, 1984. Satelliten-Doppler-Messungen, Munchen, Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, 1984. Heft 15, p.155-91.
- 94 WENZEL, H.G. Notas pessoais e resultados de processamentos. Hannover, 1986. Entrevista concedida a M.A.Campos em setembro de 1986.
- 95 WOLF, H. Satelliten-Dopplermessungen in der berechnung des europaischen dreiecksnetzes (RETrig). In: GEODATISCHEN SEMINAR, Munchen, 1984. Satelliten-Doppler-Messungen, Munchen, Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, 1984. Heft 15, p.221-9.
- 96 ZEPEDA, GODOY, R.A. Calibração dos receptores geodésicos Doppler envolvidos no projeto Controle da Rede Geodésica Brasileira usando o Programa GEODOP V. Curitiba, 1987. 93 f. Dissertação, Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná.