

RAMÓN ANTONIO MORALES ZÚÑIGA

ANÁLISE SOBRE A PRECISÃO DAS MEDIÇÕES
DOPPLER USANDO O PROGRAMA GEODOP - V

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-
Graduação em Ciências Geodésicas para
obtenção do Grau de Mestre em Ciências
pela Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA
1986

ANÁLISE SOBRE A PRECISÃO DAS MEDIÇÕES
DOPPLER USANDO O PROGRAMA GEODOP-V

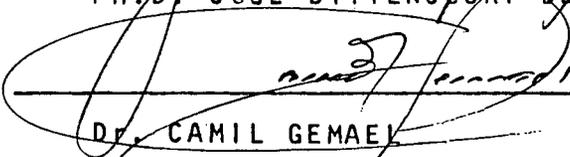
por

RAMÓN ANTÔNIO MORALES ZUÑIGA

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-
Graduação em Ciências Geodésicas para ob-
tensão do Grau de Mestre em Ciências pe-
la Universidade Federal do Paraná.

ORIENTADOR:


Ph.D. JOSÉ BITTENCOURT DE ANDRADE


DR. CAMIL GEMAEI


M.Sc. MILTON DE AZEVEDO CAMPOS

Curitiba, 17 de novembro de 1986.

Aos meus dois grandes amores,
Elena e Valquíria, dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

O autor deseja externar seu profundo agradecimento:

- ao coordenador do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Prof. Camil Gemael;
- ao orientador deste trabalho, Prof. José Bittencourt de Andrade;
- ao co-orientador e amigo, Prof. Milton de Azevedo Campos;
- ao Prof. Günter Seeber;
- ao Eng^o Heiner Lange;
- à CAPES pela bolsa de estudos;
- aos meus pais e irmãos, pelo incentivo e apoio;
- à minha namorada Valquíria, pelo trabalho de revisão e datilografia desta dissertação.

SUMÁRIO

Título	i
Termo de aprovação	ii
Dedicatória.	iii
Agradecimentos	iv
Lista de tabelas	viii
Lista de ilustrações	ix
Resumo	xi
Abstract	xi
Introdução	1

CAPÍTULO I

NAVY NAVIGATION SATELLITE SYSTEM

1.1	Introdução	3
1.2	Descrição do sistema e configuração atual.	4
1.3	Sistema de referência.	8
1.3.1	Efemérides operacionais.	9
1.3.2	Efemérides precisas.	9
1.4	Equação básica do posicionamento	11
1.5	Correção por refração.	17
1.5.1	Refração ionosférica	17
1.5.2	Refração troposférica.	18
1.5.2.1	Modelo de Hopfield	19
1.5.2.2	Modelo de Black.	21

1.5.2.3	Modelo de Saastamoinen	22
1.6	Modelo matemático e solução por mínimos quadra- dos em GEODOP-V.	22

CAPÍTULO II

PROCESSAMENTO COM O SISTEMA GEODOP-V

2.1	Introdução	29
2.2	Origem dos dados	30
2.3	Coleta de dados.	33
2.4	Preparo do ALERT	34
2.5	Redução com o programa EGMJV	35
2.6	Descrição do sistema GEODOP-V.	37
2.6.1	PREDOP	38
2.6.2	NWLFIT	39
2.6.3	MERGE.	39
2.6.4	PREPAR	39
2.6.5	PRERED	40
2.6.6	POSRED	40
2.6.7	NWLDUM	40
2.6.8	GEODOP-V	40
2.7	Processamento.	45
2.7.1	Opções usadas em PREDOP.	45
2.7.2	Tipo de oscilador usado.	47
2.7.3	Dados meteorológicos	48
2.7.4	Qualidade do sinal/ruído	48
2.8	Opções e valores aproximados em GEODOP-V	49

CAPÍTULO III

CONSIDERAÇÕES GERAIS, CÁLCULOS DE COORDENADAS, RESULTADOS

3.1	Passagens rastreadas, processadas e aceitas. . . .	53
3.2	Ponto simples.	54
3.2.1	Efemérides operacionais.	55
3.2.2	Efemérides precisas.	57
3.3	Posicionamento relativo.	59

CAPÍTULO IV

ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1	Precisão teórica do posicionamento Doppler	64
4.2	Análise da precisão dos receptores	65
4.3	Ponto simples, precisão x nº de passagens.	67
4.4	Multiestação	74

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES		77
Conclusões		77
Recomendações.		79

APÊNDICE		81
--------------------	--	----

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		87
--------------------------------------	--	----

LISTA DE TABELAS

1	GEODOP - constantes e limitações	42
2	Valores padrões.	47
3	Resumo do rastreamento	63
4a	Resumo das observações - efem. operacionais.	82
4b	Resumo das observações - efemér. precisas.	82
5	Ponto simples - efem. operacionais	83
6	Ponto simples - efem. precisas	83
7	Resumo do processamento em multiestação, para quatro estações	84
8	Resumo do processamento em multiestação, para cinco estações.	85
9	Diferenças de distâncias no cálculo de ponto simples usando efemérides operacionais e precisas	86

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

1	Satélite tipo OSCAR	4
2	Satélite tipo NOVA.	5
3	Configuração do sistema Transit	7
4	Variação da frequência Doppler	11
5	Princípios da contagem Doppler	13
6	Relação estação-satélite.	15
7	Distribuição Geográfica das estações.	32
8	Programação cronológica das observações	33
9	Ponto Simples	54
10	Processamento, ponto simples, efem. operacionais.	56
11	Processamento, ponto simples, efem. precisas.	58
12	Processamento relativo, translocações	61
13	Processamento, multiestação, efem.operacionais.	62
14	Processamento, multiestação, efem. operacionais usando o programa CHAIN	62
15	Comportamento da precisão interna dos receptores Marconi e JMR	66
16	Ponto simples, efemérides operacionais. Desvio Padrão x número de passagens.	68
17	Ponto simples, efemérides precisas. Desvio Pa- drão x número de passagens.	69
18a	Convergência de valores intermediários para la- titude usando efemérides operacionais	70

18b	Convergência de valores intermediários para longitude usando efemérides operacionais	71
18c	Convergência de valores intermediários para altura usando efemérides operacionais	71
19a	Convergência de valores intermediários para latitude usando efemérides precisas	72
19b	Convergência de valores intermediários para longitude usando efemérides precisas	73
19c	Convergência de valores intermediários para altura usando efemérides precisas	73
20	Técnica de multiestação - variação do desvio padrão x número de passagens e estações	74
21	Convergência da diferença de distâncias	76

RESUMO

Da recente campanha Doppler brasileira realizada pela Universidade Federal do Paraná, escolheram-se cinco estações para analisar o comportamento da precisão em função do número de passagens, nas técnicas de ponto simples e multiestação usando efemérides operacionais e precisas.

Esquemas gráficos do processamento são apresentados nas diferentes técnicas da recente versão do conjunto de programas que compõem o sistema GEODOP-V.

ABSTRACT

In the recent brasilian Doppler campaing at the Federal University of Paraná, five stations were chosed to analyse point position and multi-station precison as a function of number of passes, using broadcast and precise ephemeris.

Graphics of results are presented in different modes and technics of the recent version of GEODOP-V.

INTRODUÇÃO

O posicionamento através de satélites artificiais vem sendo usado no Brasil há muito tempo. A técnica de multiestação, tanto no rastreio como no pós processamento, até agora não tinha sido introduzida no país, conseqüentemente programas apropriados não estavam disponíveis aos usuários.

No primeiro semestre do ano de 1985, a Universidade Federal do Paraná em conjunto com o I.B.G.E., I.T.C.F. e a Universidade de Hannover, realizou a ousada campanha Doppler no sul do país tendo como objetivo analisar a rede geodésica fundamental brasileira no concernente a escala, orientação e possível distorção, rastreando passagens simultâneas de várias estações para posterior processamento na técnica de multiestação.

O grande volume de dados rastreados permitiu realizar o presente estudo que tem como objetivo analisar a "precisão das medições Doppler" no posicionamento por ponto simples e na multiestação. Para isso, o autor viu-se frente ao aprendizado do tratamento feito às observações Doppler, desde o preparo das observações até a obtenção das coordenadas ajustadas finais com a respectiva matriz variância-covariância.

Pretende-se descrever a seqüência observada durante o desenvolvimento do trabalho, que compõe-se de quatro capítulos, começando com uma breve descrição do sistema Transit.

que tenta responder perguntas do tipo: "Como é a configuração satelitária e quais são os sistemas de referenciais usados? Em que está baseado o princípio de posicionamento usando o efeito Doppler?", terminando com uma introdução do modelo matemático usado no programa GEODOP-V.

O segundo capítulo faz uma pequena descrição da rede Doppler e do sistema GEODOP-V. Resume, mas sem obviar, o tratamento das observações, desde a fase de coleta de dados, preparo de previsão de passagens até a sequência completa de processamento usando efemérides operacionais na técnica de multiestação e efemérides precisas. Opções e valores padrões são analisados em detalhes, com o objetivo de deixar uma metodologia a ser adotada em futuros trabalhos que usem o programa GEODOP-V.

O terceiro capítulo dá uma noção sobre técnicas de ponto simples e multiestação apresentando em cada caso a sequência de processamento e arquivos usados pelos distintos programas. A análise dos resultados é feita no quarto capítulo, baseando-se no estudo da estimativa do desvio padrão obtido a partir da matriz variância-covariância. Precisasões relativas no método de ponto simples e multiestação são apresentados graficamente para maior visualização. As fontes de erros externos não serão consideradas na dita análise.

Ao final, são apresentadas as conclusões e são feitas algumas sugestões para futuros trabalhos.

CAPÍTULO I

NAVY NAVIGATION SATELLITE SYSTEM

1.1. INTRODUÇÃO

Produto das grandes invenções que têm caracterizado o século XX, os satélites artificiais abriram mais uma dimensão criando uma nova orientação da Geodésia, a Geodésia Celeste.

O sistema satelitário, montado inicialmente para propósitos militares e de navegação, foi desenvolvido para o Bureau de Guerra Naval dos Estados Unidos, do Navy Navigation Satellite System (N.N.S.S.), conhecido como sistema TRANSIT. A partir de 1967, passou a ser encontrado à disposição de usuários não militares.

Dos diferentes métodos geodésicos que estão baseados na observação de satélites, o método Doppler, sem dúvida, demonstrou ser o mais eficiente. O rastreamento fotográfico de satélites é sinônimo de altíssimos custos, além disso depende das condições climáticas e talvez já atingiu um estado ótimo de precisão /3/.

O método Doppler tem provado ser um método rápido de observação, em qualquer condição climática, relativamente de baixo custo no que tange a pessoal e muito preciso. É, portanto, uma ferramenta que demonstrou com o evoluir do tempo, ser a solução para alguns dos problemas geodésicos clássicos.

1.2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA E CONFIGURAÇÃO ATUAL

O Navy Navigation Satellite System consiste atualmente de cinco satélites em operação, que emitem um par de frequências coerentes e estáveis de 400 e 150 MHz, pulsos a intervalos fixos de tempo e dados das efemérides do satélite. Os satélites se mantêm em órbitas circumpolares, a uma altitude de 1075 km aproximadamente, com períodos orbitais de 106 minutos /6/.

Existem duas classes de satélites no sistema TRANSIT, os originais denominados OSCAR (fig.1) e a nova geração de satélites NOVA (fig.2)

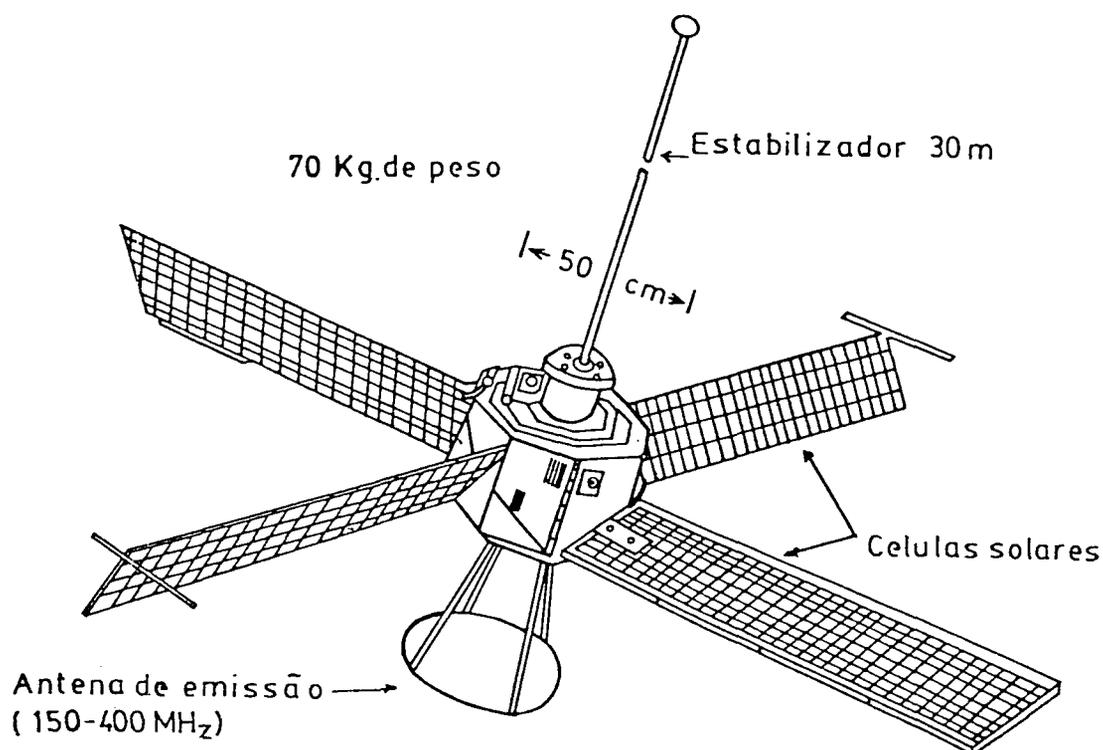
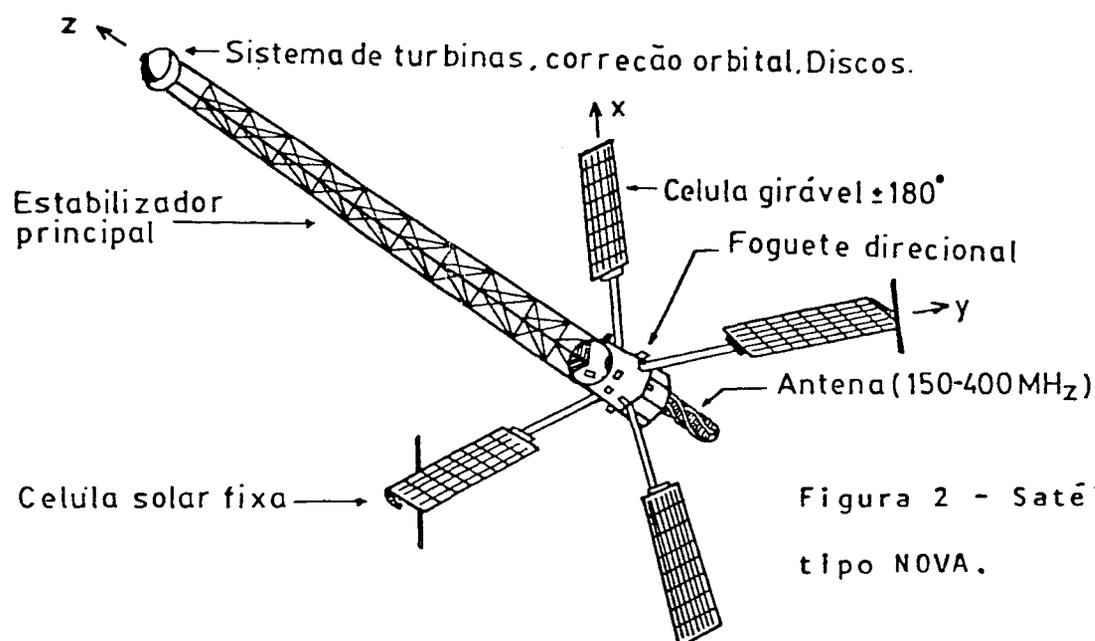


Figura 1 - Satélite tipo OSCAR

Os satélites do tipo Oscar estão em operação desde o começo do projeto, trabalhando satisfatoriamente, proporcionando confiança aos usuários no sistema TRANSIT.

Os satélites terrestres encontram-se a todo momento sob forças perturbadoras que mudam os elementos orbitais. A origem dessas perturbações podem ser classificadas em dois grupos, os efeitos gravitacionais e os não-gravitacionais. Os efeitos mais importantes são: o achatamento terrestre, a distribuição não homogênea de massas terrestres, o atrito atmosférico, a pressão de radiação /10/.

A extrapolação da órbita é insegura na prática. A influência principal nos erros das órbitas preditas é produto das forças perturbadoras superficiais não modeláveis que atuam no satélite. A determinação da posição com uma única passagem com efemérides operacionais é em torno de mais ou menos doze a vinte e três metros / 6/.



Desde julho de 1980 encontra-se a disposição um satélite da série NOVA. Este satélite dispõe de um sistema de compensação (DISCOS: Disturbance Compensation System), que elimina e reduz as forças externas sobre o satélite tais como o atrito atmosférico e a pressão de radiação, permitindo predizer órbitas mais precisas. Há um sistema de propulsão a bordo que permite um ajuste mais preciso da órbita, eliminando diferenças em períodos orbitais /11/.

Por estas melhoras nas correções da órbita, é possível pré-determinar a órbita com maior precisão e o erro de predição reduz-se de mais ou menos 5 a 15 m /25/.

Uma vantagem do NOVA-1, é a potência tripla da emissão do satélite; a energia de saída é de 5 Watts para a frequência de 400 MHz e 3 Watts para 150 MHz, enquanto a potência de emissão dos satélites OSCAR é de 2 e 1 Watt respectivamente.

Pela distribuição geométrica desfavorável das órbitas, o satélite OSCAR-12 desligou-se a começos de 1980 e foi substituído pelo OSCAR 11. Assim se aumentou consideravelmente o número de passagens observáveis dos satélites.

Na figura 3, a linha aries é uma linha de referência no espaço, sendo as órbitas referenciadas a esta linha. As setas indicam o sentido de avanço sobre o pólo norte dos satélites e o respectivo número de identificação.

Geralmente a imprecisão no lançamento dos satélites introduz erros no posicionamento resultando em erros de inclinação, causando posteriormente precessão dos planos orbitais dos satélites expressos em graus por ano.

1.3 SISTEMA DE REFERÊNCIA

O sistema de referência satelital é definido pelo sistema em que estão referidas as efemérides do satélite (operacionais ou precisas) e dos dados orbitais.

Os parâmetros orbitais basearam-se nas coordenadas adotadas pelas estações de rastreamento, um modelo geopotencial adotado para o campo gravitacional terrestre e um conjunto de constantes (Hoar, 1982). São as seguintes:

- a) constante gravitacional multiplicada pela massa GM;
- b) taxa de rotação da Terra com respeito ao equinócio instantâneo Ω_e ;
- c) velocidade da luz;
- d) correções de tempo e taxa de variação do oscilador da estação de rastreamento, empregadas para o cálculo das efemérides.

O fato de considerar um modelo geopotencial como parte integrante do sistema de referência satelital, significa que a origem do sistema estará no centro de massa terrestre. A diferença dos sistemas locais, que estão referidos somente a uma pequena superfície terrestre, e às vezes debilmente relacionados com o centro de massa, como por exemplo o SAD-69, que foi definido de maneira clássica (Fischer, 1973) adotando dimensões de um elipsóide de referência, as coordenadas CHUA e uma ondulação geoidal de zero metros. A adoção de um modelo geopotencial deixa implícito o elipsóide / 5/.

1.3.1 EFEMÉRIDES OPERACIONAIS

As efemérides transmitidas têm usado o modelo geopotencial WGS-72 (World Geodetic System 1972) e o sistema de coordenadas geocêntricas NWL-10D (Naval Weapon Laboratory-10D), obtido pelo rastreamento das quatro estações OPNET. Desde dezembro de 1975, esta combinação é chamada como sistema NWL-10D. As efemérides transmitidas usam somente o modelo geopotencial WGS-72, e não o sistema geodésico completo.

Não existe nenhum elipsóide formalmente associado com as efemérides transmitidas, geralmente o elipsóide do WGS-72 ($a = 6378135$ m, $f = 1/298,26$) é utilizado com as citadas efemérides.

$$GM = 398.600,8 \text{ Km}^3/\text{s}^2$$

$$\omega_E = 0.7292115855 \times 10^{-4} \text{ rad/s}$$

1.3.2 EFEMÉRIDES PRECISAS

As efemérides precisas adotam o sistema de coordenadas das estações TRANET (sistema que possui aproximadamente 20 estações espalhadas no mundo). O sistema de referência tem mudado com o tempo. Com as melhorias no modelo geopotencial, todas as coordenadas obtidas por observações durante o período de 1º de janeiro de 1973 até 15 de junho de 1977 foram referidas ao sistema de coordenadas NWL-9D e modelo geopotencial NWL-10E. Desde 15 de junho de 1977 até nossos tempos as efemérides são referidas ao sistema de coordenadas NSWC 9Z-2 e o modelo geopotencial NSWC 10E-1. O sistema NSWC 9Z-2 tem sido comparado com outros sistemas satelitários e astronômicos, mostrando que o NWL-9D e NSWC 9Z-2 devem ser corrigidos de $-0,4 \times 10^{-6}$ em esca-

1a, 0,8" em longitude leste, e aproximadamente +4m na coordenada Z, para ser consistente com a convenção internacional de orientação da escala, pólo e longitude (as correções não foram efetuadas) /15/.

A incerteza de 4m na coordenada Z, ainda está sendo investigada e há indícios de que possa ser produto da combinação do antigo valor de GM de $398,601 \text{ km}^3/\text{s}^2$ em lugar do mais recente valor de $398.600,5 \text{ km}^3/\text{s}^2$ e uma limitada distribuição das estações TRANET /15/. O elipsóide associado com as efemérides precisas tem as seguintes dimensões:

$$a = 6378145 \text{ m};$$

$$f = 1/298,25.$$

Os valores adotados nas coordenadas das estações TRANET tinham como objetivo fazer com que a origem do sistema NWL-90 estivesse no centro de massas da Terra, o eixo Z dirigido para o C10, o eixo X assentado no semi-plano origem das longitudes astronômicas e o eixo Y tornando o sistema direto. Não obstante, produto de erros sistemáticos nas observações Doppler e no modelo matemático, o sistema real afasta-se da sua posição normal em escala e orientação.

Algumas das diferenças mais importantes entre as efemérides operacionais e precisas, são resumidas em /11/:

- a) as efemérides operacionais encontram-se disponíveis em tempo real, diferentemente das precisas, que são obtidas semanas após o rastreamento e que não se encontram a disposição de todos usuários;
- b) as efemérides operacionais estão baseadas na informação de quatro estações base, já as precisas, em apro-

- ximadamente vinte;
- c) as efemérides operacionais são uma extrapolação da órbita rastreada, as precisas são observadas;
 - d) Os dois sistemas usam diferentes modelos geopotenciais e conjunto de coordenadas;
 - e) as efemérides operacionais têm uma exatidão (um sigma) de aproximadamente vinte a trinta metros, enquanto que a exatidão das precisas é de dois a três metros.

1.4. EQUAÇÃO BÁSICA DO POSICIONAMENTO

O satélite transmite num certo tempo T , um sinal com frequência constante f_s , o receptor na estação recebe um sinal f_r , no tempo $T + \Delta t$ (figura 4).

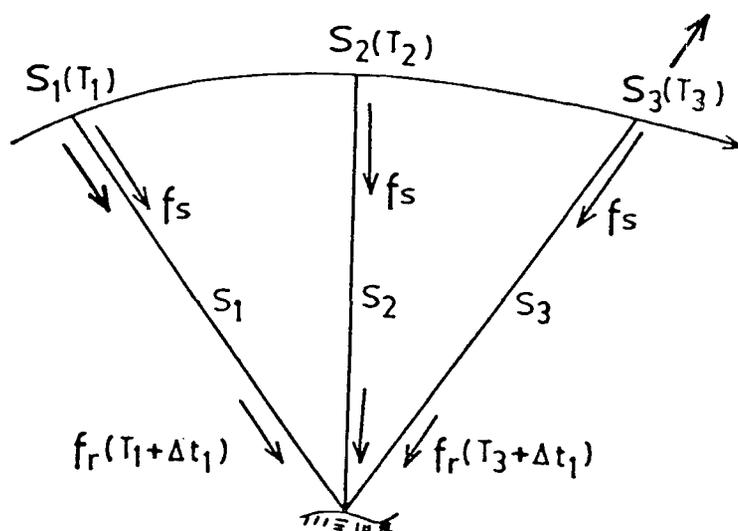


Figura 4 - variação da frequência Doppler.

A diferença de frequências (emitida e recebida) é explicada pelo efeito Doppler, descoberto por Christian Doppler (1803-1853) que é peça fundamental em navegação e posicionamento geodésico usando técnicas espaciais.

$$f_r = f_s - \frac{f_s}{c} \times \dot{S} \quad (1)$$

onde: \dot{S} = velocidade relativa entre o satélite e a estação de observação;

c = velocidade da luz no vácuo;

f_r se desloca com respeito a f_s , o chamado câmbio da frequência Doppler, então:

$$\Delta f = f_r - f_s = - \frac{f_s}{c} \times \dot{S} \quad (2)$$

sendo o termo da direita, o desvio de frequência originado pelo efeito Doppler.

Pode-se determinar então, que Δf é proporcional a \dot{S} , quando o satélite encontra-se mais perto da estação de observação $\dot{S} = \Delta f = 0$ (point of closest approach) que produz um câmbio no sinal de Δf .

sendo: f_0 = frequência de referência (400 MHz) gerado pelo receptor.,

f_s = frequência transmitida (399,968 MHz).

f_r = frequência recebida (399,968 MHz \pm 0,010 MHz)

$(t_5 - t_4)$ = intervalo de tempo em que é realizada a medida Doppler.,

pode-se esquematizar:

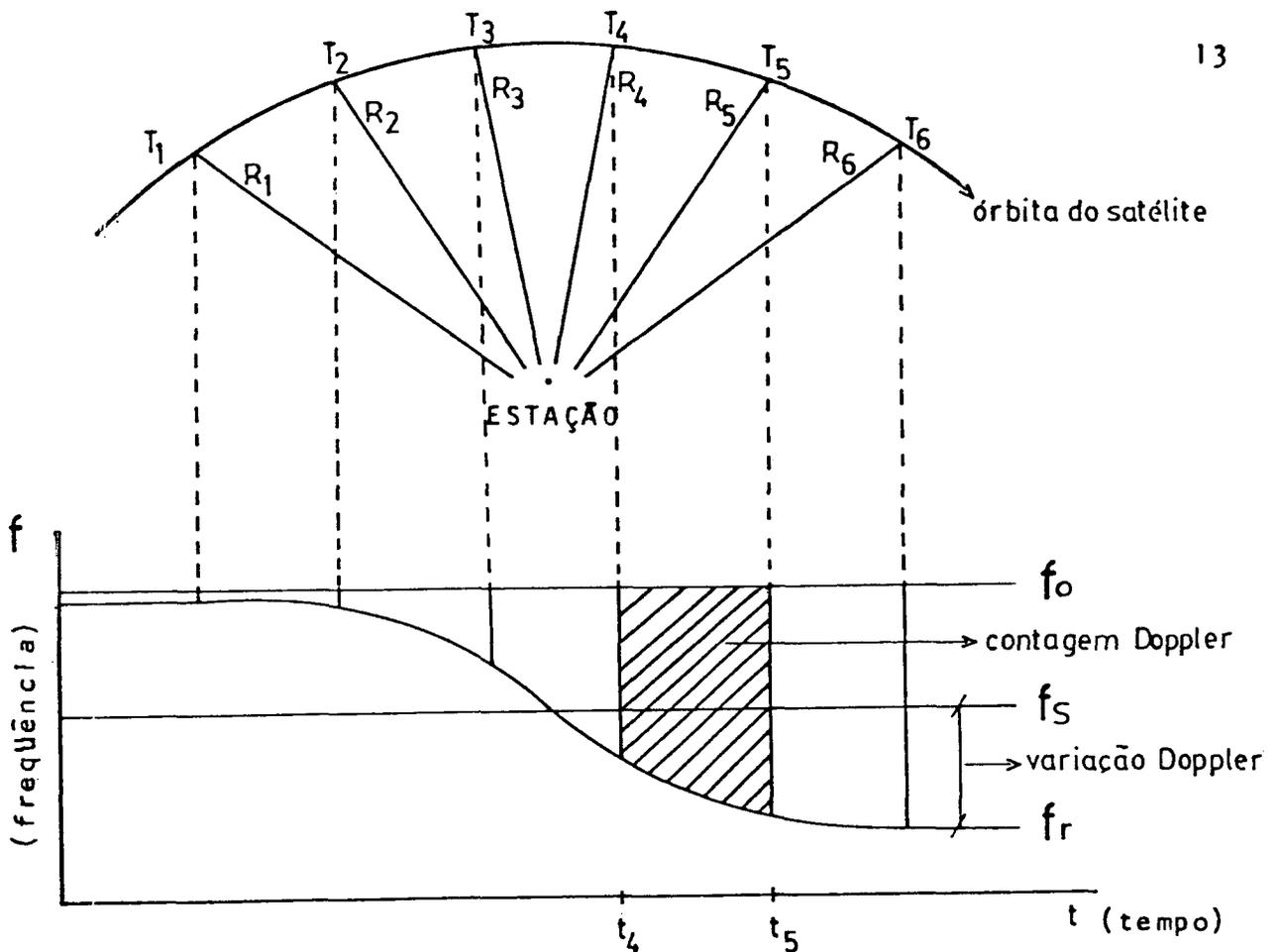


Figura 5 - princípios da contagem Doppler.

A frequência recebida não pode ser medida diretamente, mas a contagem Doppler sim, ela pode ser observada. A frequência f_s não se encontra disponível com a suficiente precisão que se quer, produto do movimento contínuo em que se encontra o satélite, pelo qual é considerada a frequência f_0 , disponível e gerada por um oscilador instalado no próprio receptor. Mediante um contador eletrônico, integra-se a diferença ($f_0 - f_r$), chamada 'frequência de batimento' /26/.

Por razões práticas, f_0 escolhe-se maior que f_r , para obter somente contagens Doppler positivas (figura 5).

Pelo que, a contagem Doppler pode-se expressar por:

$$N = \int_{t_1}^{t_2} (f_o - f_r) dt \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{mas: } t_2 &= T_2 + \Delta t_2 \\ t_1 &= T_1 + \Delta t_1 \end{aligned} \quad (4)$$

T_1 : tempo da saída do sinal;

Δt_i : tempo de atraso da propagação;

f_o : considera-se contante.

$$N = \int_{T_1 + \Delta t_1}^{T_2 + \Delta t_2} (f_o - f_r) dt = f_o(T_2 - T_1) + f_o(\Delta t_2 - \Delta t_1) - \int_{T_1 + \Delta t_1}^{T_2 + \Delta t_2} f_r \cdot dt \quad (5)$$

É importante destacar o fato que a quantidade de ciclos recebidos durante o intervalo de tempo t_1 a t_2 é exatamente o mesmo que foi transmitido pelo satélite no intervalo de T_1 a T_2 .

$$\int_{T_1 + \Delta t_1}^{T_2 + \Delta t_2} f_r \cdot dt = \int_{T_1}^{T_2} f_s \cdot dt = f_s(T_2 - T_1) \quad (6)$$

De (6) em (5), tem-se:

$$N = f_o(T_2 - T_1) + f_o(\Delta t_2 - \Delta t_1) - f_s(T_2 - T_1) \quad (7)$$

Assumindo considerações ideais de propagação, o tempo de atraso pode ser substituído por:

$$\Delta t_1 = \frac{r_1}{c} \quad \Delta t_2 = \frac{r_2}{c} \quad (8)$$

Consequentemente:

$$N = (f_o - f_s) \cdot (T_2 - T_1) + \frac{f_o}{c} \cdot (r_2 - r_1) \quad (9)$$

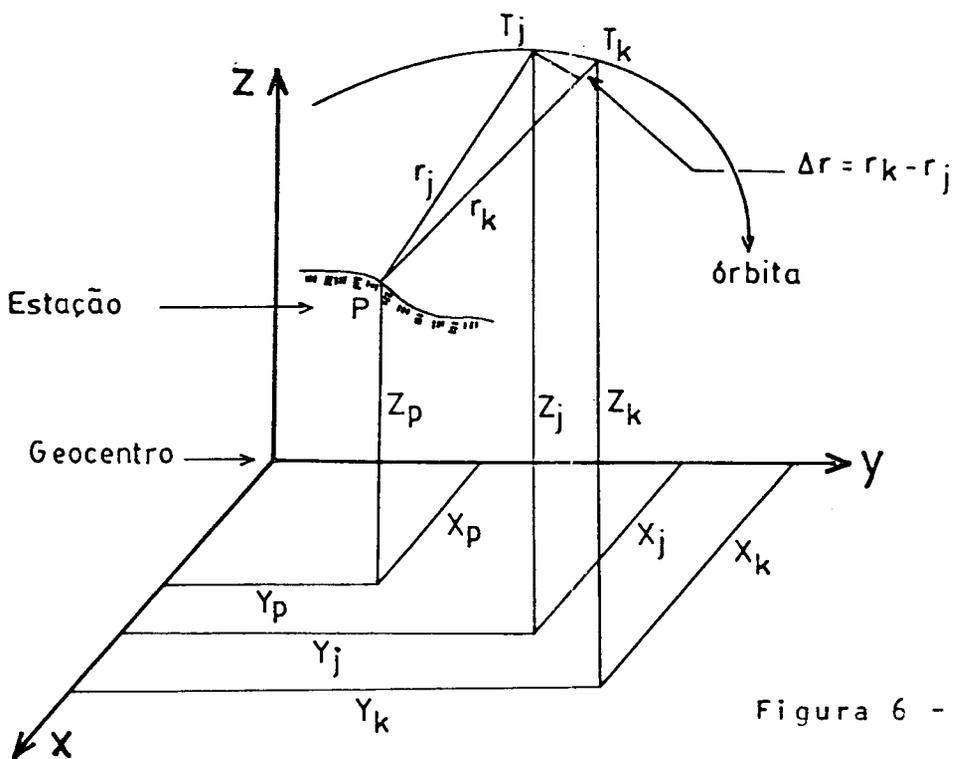


Figura 6 - relação esta-
ção-satélite.

r_j e r_k são os raios vetores estação-satélite nos tempos T_j e T_k . A distância r_j na época T_j é determinada a partir da seguinte equação:

$$r_j = \left[(X_s(T_j) - \bar{X}_g)^2 + (Y_s(T_j) - \bar{Y}_g)^2 + (Z_s(T_j) - \bar{Z}_g)^2 \right]^{1/2} \quad (10)$$

onde:

$X_s(T_j)$, $Y_s(T_j)$, $Z_s(T_j)$ são as coordenadas do satélite na época T_j , no sistema de coordenadas do satélite.

\bar{X}_g , \bar{Y}_g , \bar{Z}_g são as coordenadas da estação corrigidas do movimento terrestre, dados pelas seguintes fórmulas /13/.

$$\begin{aligned}\bar{X}_g &= X_g - Y_g \cdot \omega_E \cdot c / r_j \\ \bar{Y}_g &= Y_g + X_g \cdot \omega_E \cdot c / r_j \\ \bar{Z}_g &= Z_g\end{aligned}\quad (11)$$

onde:

ω_E - taxa média de rotação terrestre;

c - velocidade da luz no vácuo.

Considerando na fórmula (9) as correções de refração troposférica e ionosférica, pode-se escrever:

$$F_i: \frac{f_0}{c} (r_k - r_j) + (f_0 - f_s) \cdot (T_k - T_j) - (N_i - v_i) = 0 \quad (12)$$

onde: v_i = resíduos na observação.

A linearização desta fórmula, um estudo mais detalhado e o ajuste por mínimos quadrados, será estudado na seção 1.6.

1.5. CORREÇÃO POR REFRAÇÃO

É bem conhecido que a atmosfera é uma camada gasosa, não homogênea, que varia sua composição e densidade decrescentemente, à medida em que a distância sobre a superfície terrestre aumenta. Conseqüentemente, as ondas de rádio transmitidas pelos satélites artificiais sofrem significantes atrasos durante o período de propagação, estando principalmente em função da camada ionosférica (porção ionizada da atmosfera, que se estende acima de 50 Km) e a troposférica (porção neutra da atmosfera cuja altitude é menos que 50 km).

Portanto, devem ser consideradas as variações nas ondas de rádio, provocadas pela falta de igualdade nas diferentes camadas atmosféricas, e fazer as correções necessárias, tendo em vista a alta precisão que se quer obter.

1.5.1 REFRAÇÃO IONOSFÉRICA:

O atraso ionosférico, influência em maior grau à correção por refração, depende principalmente da atividade solar. Apresenta variações diárias (mínimo à noite e máximo à tarde) e anuais (mínimo durante o inverno e máximo no verão).

O índice de refração na ionosfera é uma função da frequência de rádio /15/. Uma correção de primeira ordem pode ser feita pela obtenção de duas frequências diferentes. Mesmo feita esta correção, um pequeno erro ionosférico residual pode estar presente, especialmente para passagens à tarde durante períodos máximos de atividade solar.

O modelo matemático usado em Geodop-V, de autoria de

Clynch e Altenburg (1979) /13/, sub-rotina IONOS, cuja fórmula vem dada pela expressão:

$$RRC = \frac{DN^2}{\text{Sec}(E_j)^2 \text{RRN}(E_j) - \text{Sec}(E_i)^2 \text{RRN}(E_i)} \quad (13)$$

onde:

E_i e E_j são ângulos de elevação ao começo e fim do intervalo de observação;

RRN (E) valor normalizado e tabelado por Clynch e Altenburg, fornecido pelas fórmulas empíricas /13/;

$$\text{RRN}(E) = 8,1 - 19,6 e^{-E/20,7} \quad (E = \text{em graus}). \quad (14)$$

DN - correção por atraso ionosférico zenital.

$$DN = \frac{DI}{\text{Sec}(E_j) - \text{Sec}(E_i)} \quad (15)$$

é obtido a partir da correção DI feita às duas frequências observadas, avaliadas no programa 'PREDOF' e é dada no arquivo binário TAPE5 (maiores detalhes em /13/ e sub-rotina IONOS).

1.5.2. REFRAÇÃO TROPOSFÉRICA

Dentro das duas correções por refração, o aporte da correção troposférica é menor, independe da frequência de onda de rádio e o seu efeito é o de encurtar o percurso das ondas /15/, tendo um efeito maior quando o satélite encontra-se próximo do horizonte do que quando está em ângulos elevados, pelo seguinte:

los elevados, pelo seguinte:

- a) perto do horizonte o percurso da onda de rádio, através da troposfera até a estação, é maior, diferindo de ângulos elevados, aumentando o erro nos comprimentos da trajetória refratada;
- b) existe um erro maior, devido a uma maior curvatura da trajetória quando é em baixas altitudes.

A continuação apresentam-se alguns dos modelos mais conhecidos; de maneira rápida e sem pretensões de fazer um estudo acabado do assunto, por ser parte de outra tese de mestrado (em preparo por Leonardo C. de Oliveira).

1.5.2.1 MODELO DE HOPFIELD:

É o modelo mais popular, no posicionamento Doppler é o mais usado, sendo a fórmula a seguinte:

$$\Delta S_i = \int_{R_1}^{R_2} \frac{R n(R)}{R^2 + r_g^2 \cos^2 E_i} dR \quad (16)$$

onde:

R - distância geocêntrica a um ponto arbitrário so
bre uma linha reta de propagação;

r_g - distância geocêntrica da estação;

R_1, R_2 - limites superior e inferior de integração (dis-
tâncias geocêntricas)

E - ângulo de elevação do satélite (graus)

$n(R)$ - índice de refração na altura R .

$$n(R) = 10^{-6} \cdot n(1,2) \cdot \frac{(R_2 - R_1 - R)^4}{(R_2 - R_1)^4} \quad (17)$$

$n(1,2)$ - refratividade na superfície; para maiores detalhes / 9/, página 80.

Uma aproximação prática usada pelo programa Geodop sugerida por Hopfield em 1972, é a seguinte:

$$\Delta S = \frac{K_d}{\text{Sen}(E^2 + 6,25^\circ)^{1/2}} + \frac{K_w}{\text{Sen}(E^2 + 2,25^\circ)^{1/2}} \quad (18)$$

sendo:

$$K_d = 155,2 \times 2 \times 10^{-7} h_d \cdot P/T \quad (19a)$$

$$h_d = 40.136 + 148,72 (T-273)$$

$$K_w = 155,2 \times 10^{-7} h_w \frac{4810}{T^2} e \quad (19b)$$

$$h_w = 11.000 \text{ m}$$

onde:

E = ângulo de elevação do satélite (graus);

P = pressão atmosférica (mb);

T = temperatura ($^\circ\text{K}$);

e = pressão parcial do vapor de água (mb).

A correção por refração troposférica é avaliada a partir da medição da temperatura superficial, pressão atmosférica e pressão parcial do vapor de água.

A porção seca da refração é completamente exata, com um emq¹ de aproximadamente 2% (ou 4cm no zenite) e um emq de 0,1% (2mm) logo que a altitude troposférica h_d é ajustada para uma posição particular, num intervalo de tempo dado.

A porção úmida é muito mais dificultosa de modelar (particularmente por que é difícil medir com exatidão a umidade). Afortunadamente, a contribuição da refração úmida é de somente 10% do total da correção /15/. ¹emq= erro médio quadrático.

1.5.2.2 MODELO DE BLACK:

Para o modelo de Black, o programa GEODOP adaptou uma aproximação dada pela expressão abaixo / 9/:

$$\Delta S = K_d \left[I(E, h_d, L_c) - b(E) \right] + K_w \left[I(E, h_w, L_c) - b(E) \right] \quad (20)$$

$$\text{onde:} \quad I(E, h, L_c) = \left[1 - \frac{\cos E}{1 + (1 - L_c) h/r} \right]^2 \quad (21)$$

sendo:

r = raio vetor geocêntrico da estação;

$$L_c = 0,833 + (0,076 + 0,00015(T-273))^{0,3E} \quad (22)$$

$$b(E) = 1,92/(E^2 + 0,6)^{-1} \quad (23)$$

Estas fórmulas do modelo de refração troposférica encon-

tram-se na sub-rotina TRRBLK (default), onde a correção por curvatura do raio é considerada (ASG=0). Na sub-rotina TRSBLK, a correção é feita sem considerar a curvatura do raio (ASG=5).

1.5.2.3 MODELO DE SAASTAMOINEN:

Na continuação, apresenta-se a fórmula aproximada da correção por refração troposférica:

$$\Delta S = 0,002277 \operatorname{cosec} h' \left[P + \left(\frac{1255}{T} + 0,05 \right) e_p - B \cotg^2 h' \right] + \delta_R \quad (24)$$

onde B e δ_R são correções obtidas da tabela Saastamoinen

$$h' = E - \Delta E$$

$$\Delta E(\text{seg}) = \frac{16 \cotg E}{T} \left[P + \frac{4800}{T} e_p \right] - 0,07 \left[\cotg^3 E + \cotg E \right] \frac{P}{1.000} \quad (25)$$

A correção troposférica é avaliada no programa GEODOP. A chave que permite a escolha de um dos modelos apresentados, encontra-se no cartão 2 (ASG), dados de entrada em GEODOP-V.

1.6 MODELO MATEMÁTICO E SOLUÇÃO POR MÍNIMOS QUADRADOS EM GEODOP-V

Considerando-se a equação (3.8) de /13/, que representa o modelo matemático para cada uma das contagens integradas Doppler D_i , tem-se:

$$F_i : (S_k - S_j) \frac{f_{0j}}{c} + \Delta t_{jk} \cdot \Delta f_i + \beta_i - (D_i + \epsilon_i) = 0 \quad (26)$$

Onde:

S_j, S_k - distância de uma estação terrestre de coordenadas X_g até um satélite de coordenadas X_s ;

Δt_{jk} - intervalo de integração;

$\Delta f_i = f_{oj} - f_s$ - frequência offset (diferença da frequência teórica e a frequência do momento ≈ 32 KHz);

f_{oj} - frequência da estação = $\dot{f}_o(t_j - t_{00}) + f_{00}$.

$$S_i = \left[\{X_S(t_i) - \bar{X}_g\}^2 + \{Y_S(t_i) - \bar{Y}_g\}^2 + \{Z_S(t_i) - \bar{Z}_g\}^2 \right]^{1/2} \quad (27)$$

X_S - vetor posição do satélite;

da equação (11) tem-se:

$$\bar{X}_g = X_g - Y_g \cdot \omega_E \cdot c / S_j$$

$$\bar{Y}_g = Y_g + X_g \cdot \omega_E \cdot c / S_j$$

$$\bar{Z}_g = Z_g$$

ω_E - taxa média de rotação terrestre;

$$\dot{f} = \frac{df_o}{dt} - \text{variação da frequência do oscilador};$$

S_i - representa o modelo dos erros sistemáticos (refração e instrumentais);

D_i - contagem Doppler corrigida dos efeitos troposféricos, ionosféricos, efeitos relativistas e de aberração diária;

ϵ_i - representa os erros aleatórios na medição de D_i ;

δ - atraso médio da passagem.

O modelo dos erros sistemáticos usado em Geodop, é representado sob a seguinte forma, equação (3.10) de /13/:

$$S_i = \underbrace{\frac{\partial}{\partial \underline{o}}(S_k - S_j)d\underline{o}}_{\text{sincroniz.e atrazo}} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial t}(S_k - S_j)d\delta}_{\text{mod.troposf.}} + \frac{Dt_r}{100}.dk + \underbrace{\Delta t_{jk}(t-t_{cpa})d\dot{f}}_{\text{drift do oscil.}} \quad (28)$$

Reduções geodésicas e geodinâmicas geralmente utilizam muitas observações (no mínimo 30 passagens) simultâneas. Funções matemáticas que modelam as tendências sistemáticas (BIASES) das passagens, têm sido desenvolvidas. Como exemplo, tem-se o primeiro termo da equação (28) que denota as tendências sistemáticas nos elementos orbitais. Sendo estes num máximo de 6, na seguinte ordem:

- da - semi eixo maior;
- dn - movimento médio;
- di - ângulo de inclinação;
- dw - ascensão reta do nodo ascendente;
- de - excentricidade;
- d Ω - argumento do perigeu.

O segundo termo considera os erros de tempo e sincronismo $d\delta$ no receptor, sendo δ um valor médio para o atraso do receptor.

O terceiro termo compreende um fator percentual (%) da correção dk para o modelo troposférico.

O quarto termo df compreende as influências dos erros da má qualidade na conservação do tempo, e da variação irregular durante o período que compreende a passagem.

A equação (26) não é linear com respeito às incógnitas (coordenadas da estação, parâmetros das funções modeladoras dos erros, etc). Para valores suficientemente próximos, pode-se aplicar a linearização mediante o desenvolvimento da série de Taylor, negligenciando os termos superiores a segunda ordem.

Em notação matricial, a equação de observação linearizada adota a seguinte forma (3.12 de /13/)

$$AX + CY + W - V = 0 \quad (29)$$

O vetor X está composto pelas correções das coordenadas da estação, o vetor Y contém os parâmetros das funções modeladoras dos erros (28) e da frequência offset desconhecida.

$$A = \left. \frac{\partial F}{\partial X} \right|_{X=X^0} \quad C = \left. \frac{\partial F}{\partial Y} \right|_{Y=Y^0} \quad (30)$$

As matrizes A e C são obtidas diferenciando a função F para cada equação individual de observação F_i de (26). O vetor de fechamento W , é obtido avaliando os valores aproximados X^0 , Y^0 e valores observados L^b .

$$W = F(X^0, Y^0, L^b) \quad (31)$$

A componente do erro randômico ϵ , é determinada a partir do vetor dos resíduos V na equação (29). Na fase de ajustamento, a equação linearizada é multiplicada pela matriz dos pesos P .

onde: P - matriz dos pesos para as contagens Doppler observadas. L_b

P_X - matriz dos pesos para as coordenadas desconhecidas X, Y, Z ;

P_Y - matriz dos pesos a priori dos parâmetros da estação.

$$\sqrt{P} AX + \sqrt{P} CY + \sqrt{P} W - \sqrt{P} V = 0 \quad (32)$$

Aplicando a tradicional condição $V^T P V = \min$, e isolando X e Y , tem-se:

$$X = -N^{-1} A^T P W - A^T P C \left[P_Y + C^T P C \right]^{-1} C^T P W \quad (33)$$

$$Y = - \left[P_Y + C^T P C \right]^{-1} \left[C^T P W + C^T P A X \right]$$

$$N = \left[P_X + A^T P A \right] - A^T P A C \left[P_Y + C^T P C \right]^{-1} C^T P A \quad (34)$$

N - matriz reduzida das equações normais

As coordenadas, parâmetros e observações são calculadas da seguinte forma:

$$\begin{aligned} X^a &= X^o + X \\ Y^a &= Y^o + Y \\ L^a &= L^b + V \end{aligned} \quad (35)$$

A matriz dos coeficientes de peso dos parâmetros ajustados X^a , é dada por:

$$Q_{X^a} = N^{-1} \quad \sigma_0^2 = \frac{V^T P V}{r-u} \quad (36)$$

$$\Sigma_{X^a} = \sigma_0^2 Q_{X^a} - \text{matriz variância covariância dos valores ajustados.} \quad (37)$$

O ajustamento é feito para cada uma das passagens, sendo do tipo sequencial.

$$X_i^o = X_{i-1}^a = X^o + \sum_{j=1}^{i-1} X_j \quad \text{vetor solução} \quad (38)$$

$$P_{X_i} = N_{i-1} = P_x + \sum_{j=1}^{i-1} N_j \quad \text{matriz dos pesos} \quad (39)$$

$$g_l = g_{l_{i-1}} + r_i - u_i = \sum_{j=1}^i (r_j - u_j) \quad (40)$$

onde:

r - número de equações de observação;

u - número de incógnitas;

gl - graus de liberdade.

No ajustamento da i -ésima passagem, as matrizes A, C e o vetor W erro de fechamento, são determinadas pelo ajustamento de tipo sequencial, ou seja, pelo ajustamento acumulativo das $(i-1)$ passagens anteriores (da primeira até a penúltima passagem com a correspondente observação L_i).

Como valor aproximado para a passagem que se quer calcular, introduz-se no próprio ajustamento o vetor solução obtido dos resultados de todas as passagens anteriores.

Para determinar o peso e tipo de correlação das contagens Doppler e dos parâmetros da estação ($\Delta f, d\delta, dk, df$) existem várias opções oferecidas no programa Geodop V (chave RT, cartão 2 Geodop). Para maiores detalhes, consultar /13/.

CAPÍTULO II

PROCESSAMENTO COM O SISTEMA GEODOP-V

2.1. INTRODUÇÃO

O programa GEODOP-V é o resultado de melhoras no antigo programa GEODOP-III, desenvolvido no Canadá durante o período de 1970 a 1974, de autoria dos Srs. J.KOUBA e J.D.BOAL. O programa GEODOP-V e programas associados (PREDOP, PREPAR, MERGE, NWLFIT, PRERED e POSRED) são chamados de sistema GEODOP. Este programa na atualidade é constituído por uma grande variedade de opções, podendo processar observações simultâneas de no máximo quinze estações na técnica de multiestação. GEODOP emprega a técnica de ajustamento seqüencial, onde os parâmetros aproximados são o resultado de ajustamentos prévios. Cada nova observação é submetida a testes estatísticos antes de ser considerada na solução final. O programa aceita dados vindos de diferentes receptores geodésicos, como por exemplo: CMA-722, CMA-761, CMA-751, Magnavox MX-1502 e JMR.

A versão GEODOP-V escrita em Fortran 77, que se encontra no sistema Dec-10 da UFPr, foi doado pela Universidade de Hannover e implantado pelo Eng^o Heiner Lange. Durante esse processo foi necessário modificar os dimensionamentos e a estrutura básica do programa, o que gastou aproximadamente cinco meses, encontrando-se em condições de uso a partir

de setembro de 1985.

A versão atual foi testada e não apresentou diferenças no resultado de quatorze estações na técnica de multiestação com o programa original. Além de fornecer as coordenadas geocêntricas ajustadas, edita todo material necessário para uma posterior análise do comportamento do receptor e precisão interna do ajustamento.

É importante destacar que a vinda do programa tem por objetivo ser peça fundamental no projeto e tese de doutorado do Prof. Milton de Azevedo Campos: "Análise da rede geodésica brasileira por meio de satélites do sistema NNSS".

Esta é a primeira vez na América do Sul que os dados coletados no campo são processados na totalidade no lugar de origem, demonstrando assim a capacidade de absorção de alta tecnologia por parte dos encarregados do processamento no Brasil.

Neste capítulo apresenta-se uma pequena descrição da rede Doppler, preparo de observações, redução das observações com programas do sistema Geodop-V, bem como uma breve explicação do fluxo de processamento, opções e valores default.

2.2. ORIGEM DOS DADOS

Durante o período de abril até início de junho de 1985 foi realizada a campanha Doppler brasileira na região sul do

país (fig.7), entre os paralelos 25° a 28° Sul e os meridianos 48° a 52° Oeste. O trabalho consistiu no rastreamento simultâneo de seis vértices da triangulação geodésica fundamental brasileira durante uma semana. Repetiu-se o trabalho em vértices novos, num total de três semanas, tendo como resultado doze vértices ocupados, três dos quais foram rastreados como pontos fixos por um período de três semanas, sendo os mesmos pontos de Laplace.

Neste trabalho em particular serão usadas cinco estações: Pedra Preta (PP), Cerro Chato (CC), Esmeralda (ES), Base Aérea (BA) e Spitzkopf (SP) no período compreendido entre vinte e dois de abril a três de maio de 1985.

A campanha foi feita em conjunto com as seguintes instituições:

- I.B.G.E., que aportou com seis equipes compostas por vinte e um homens, dez viaturas, três rastreadores JMR-1 e o material de campo necessário;

- Universidade de Hannover, com a participação de dois engenheiros e três receptores Marconi, dois dos quais 751 e o outro 761;

- UFPR, aportando com cinco alunos do mestrado, quatro alunos de Engenharia Cartográfica, um receptor Marconi 751, coordenado e dirigido pelo responsável pelo projeto, o Prof. Milton de Azevedo Campos.

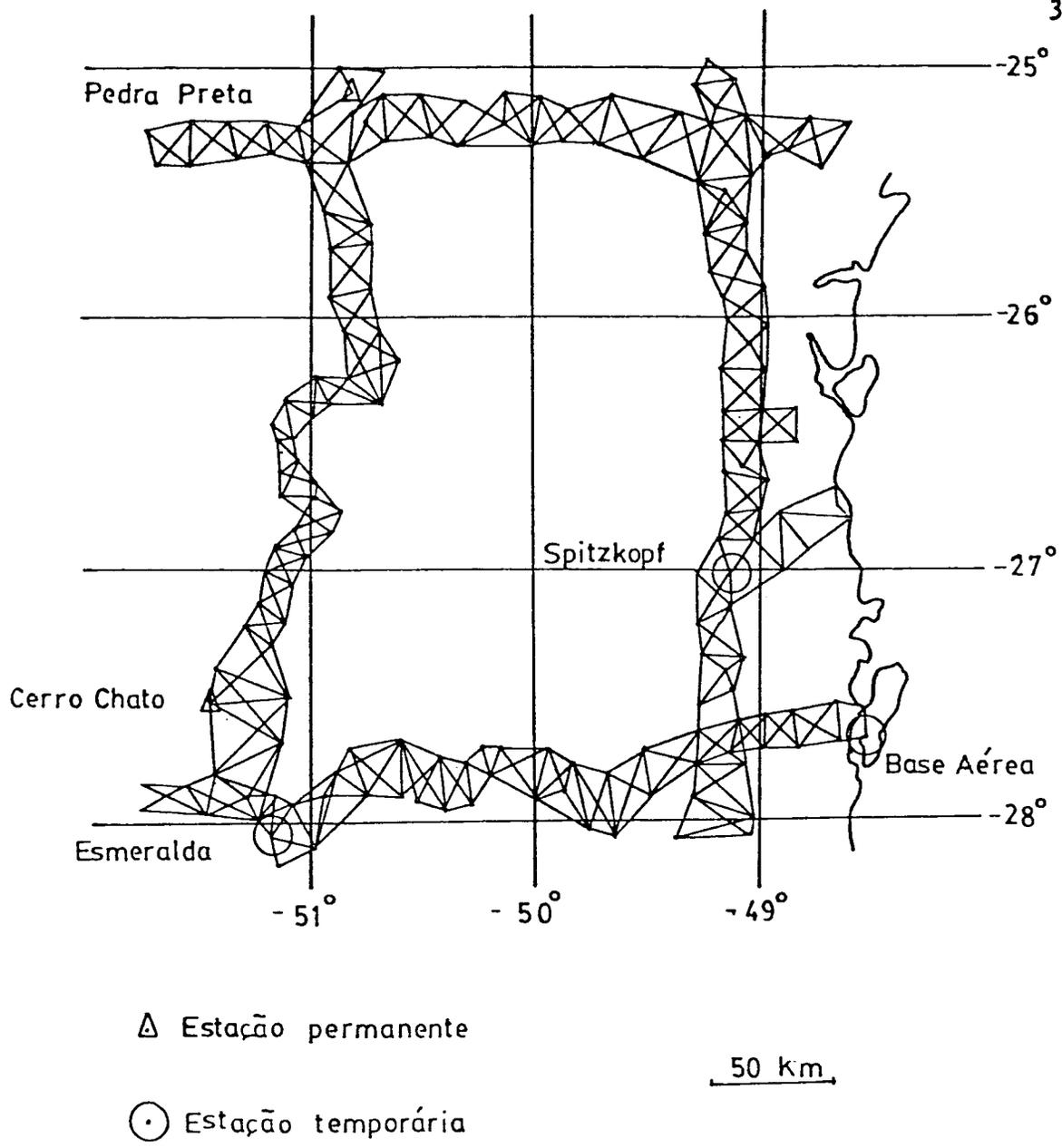


Figura 7 - distribuição geográfica das estações.

2.3. COLETA DE DADOS

Trabalhou-se em módulo aberto, isto é, rastreando-se todas as passagens independentemente do ângulo de elevação do satélite. Cada passagem foi acompanhada com a previsão feita com o programa ALERT, facilitando a tomada de dados meteorológicos (pressão, temperatura úmida e seca). Estes serviram para posterior montagem de arquivos meteorológicos e de dados que ajudassem no processamento com o programa EGMJV, tais como qualidade do sinal ruído (para as frequências de 150 e 400 MHz), data e comprimento gravado da fita cassete.

Quando o contador da unidade cassete indicava 2.500, gravavam-se zeros na fita cassete para indicar o final da fita.

EST.	MES	ABRIL 1985			MAIO 1985		PASS.	
	DATA DIAS	15 105	20 110	25 115	1 120	6 125	OBS.	ACEP.
PP		—————					260	208
CC		—————					238	194
ES				—————			153	128
BA				—————			50	49
SP			—————				95	88

Figura 8 - programação cronológica das observações.

2.4. PREPARO DE ALERT

Preparar Alert significa determinar previsões de futuras passagens a partir de efemérides transmitidas pelos próprios satélites. O preparo foi feito usando o programa ALERT implantado no sistema HP-1000, tendo sido preparadas listagens individuais para cada estação com dois dias de segurança prevendo alterações no cronograma.

A importância desta previsão pode ser resumida nos seguintes pontos:

- Muitas vezes a qualidade da informação rastreada pode ser melhorada pela operação manual, recebendo o sinal transmitido. Em particular quando está presente mais de um satélite disponível no mesmo tempo, sendo que um deles apresenta melhor geometria e elevação, a intervenção manual somente pode ser feita com ajuda do ALERT.

- Na técnica de translocação (dois ou mais receptores rastreiam o mesmo satélite) é muito importante conhecer a priori se a passagem será observada simultaneamente pelas estações.

- Na coleta de dados meteorológicos (no campo).

- Determinação do tempo necessário para atingir o número de passagens que possa fornecer a precisão desejada.

- A exatidão da informação da previsão das passagens depende da idade das efemérides usadas e da precisão da posição. A tabela nº 3 mostra que em média foram rechaçados 20%

das passagens rastreadas.

2.5. REDUÇÃO COM O PROGRAMA EGMJV

O programa "Majority-voting" (votação majoritária) geralmente é processado num mini computador para diminuir despesas. Este programa lê os "raw data" (dados brutos) gravados geralmente em fitas cassetes.

As funções básicas do programa podem ser resumidas em duas partes /26/:

verifica:

- que o comprimento da passagem exceda seis minutos de tempo;
- a recepção de ambas frequências: 150 e 400 MHz;
- decodifica corretamente as efemérides orbitais do satélite.

edita:

- o resumo das efemérides orbitais;
- analisa a qualidade do sinal;
- condensa ou concentra as contagens Doppler de 4.6 seg recebidas pelo receptor para 30 seg.

Em geral o processo votação majoritária é a seleção única de um conjunto de variáveis e parâmetros de efemérides, obtidos a partir de dados brutos de uma passagem, que repete mais de uma vez o mesmo valor, sendo que alguns destes valores po-

dem estar defeituosos.

A comparação é feita dígito a dígito ou bit a bit, na prática este é um processamento mais sofisticado /2/.

As efemérides operacionais só podem ser interpretadas a pós a votação majoritária.

Alguns dos atuais receptores estão equipados com micro-processadores que permitem dentre outras funções, a opção de fazer e gravar em fitas cassetes a votação majoritária, tais como o Marconi-751/761 ou o Magnavox MX-1502, que entrega a votação majoritária pronta.

Existem algumas desvantagens desta opção, como por exem plo perder a potencialidade de futuras melhoras no software de pré-processamento dos dados brutos.

A tranferência dos dados brutos para o sistema HP-1000, foi feita usando como interface a própria unidade de cassete CMA-749, tentando dar maior igualdade possível no tratamento, para não introduzir tendências sistemáticas entre dados e instrumentos.

A votação majoritária dos receptores Marconi 751/761 foi feita nas instalações do Curso de Pós-Graduação da UFPR usando o programa EGMJV, instalado no mini-computador HP-1000. Os dados já processados foram arquivados no próprio disco móvel do sistema por motivos de segurança, e gravados em fita magnética para posteriormente serem lidos nas dependências do centro de computação da UFPR.

As fitas cassetes com os dados brutos ficaram registradas e

guardadas em condições ótimas de temperatura e umidade, para posteriores análises.

A votação majoritária dos receptores JMR-1, foram feitos nas dependências do IBGE no Rio de Janeiro, sendo recebidos posteriormente em fita magnética.

Aconselha-se gravar os dados brutos em fita magnética para garantir a segurança do rastreio.

A tabela nº 3 mostra o resumo de passagens rastreadas e aceitas pelos diferentes programas. O alto percentual de aceitação dos rastreadores JMR deve-se ao fato de que estavam programados para rastrear seletivamente, isto é, rastreavam passagens impondo um ângulo mínimo de máxima elevação.

2.6. DESCRIÇÃO DO SISTEMA GEODOP-V

O sistema GEODOP-V é um conjunto de programas que tem por objetivo preparar, pré-processar e processar as observações registradas pelos receptores geodésicos, que rastreiam os satélites do sistema Transit.

O sistema GEODOP-V oferece uma grande variedade de opções, as quais dependerão dos objetivos específicos de cada processamento. Não é um programa com finalidade comercial, muito pelo contrário, é uma ferramenta que visa a pesquisa.

A teoria e detalhes do programa não serão tratados neste trabalho, somente se apresentará uma pequena e rápida explicação das fases mais importantes no processamento, permitindo ao leitor uma melhor compreensão de como estão sendo manipula-

dos os dados pelo programa; para maiores referências, consultar /13/, /8/, /6/ e /22/.

Os programas e suas funções são descritas a seguir e uma visão global do sistema é apresentada em dois esquemas grágraficos que indicam o fluxo do processamento, bem como resume as operações realizadas por cada programa.

2.6.1. PREDOP:

Lê da votação majoritária uma passagem de cada vez, para fazer a correção por refração ionosférica de primeira ordem nas contagens Doppler, decodificando os parâmetros fixos e variáveis. Esta função modeladora e os parâmetros fixos usam-se para o cálculo da órbita do satélite, que é transformmada num sistema de coordenadas terrestres. Um polinômio de oitavo ou décimo grau é ajustado para representar as posições em X, Y e Z. As contagens Doppler comparam-se com o valor teóterico, e antes de criar o arquivo TAPE 5 são interpolados os dados meteorológicos para cada passagem.

O programa aceita dados vindos dos receptores CMA-722, 751/761, JMR-1, JMR-1A e Magnavox MX-1502.

Em GEODOP-V, o programa PREDOP usa o modelo geopotencial GEM-9 (padrão) até o grau e ordem 10, para representar a órbita em arco curto.

2.6.2. NWLFIT:

Lê as efemérides precisas (geradas pela U.S. Defense Mapping Agency Hydrographic Topographic Center) contendo as coordenadas X, Y, Z e as velocidades $\dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z}$ a cada minuto de tempo, ajusta as coordenadas para posterior representação da órbita em coeficientes de polinômios de Chebyshev.

2.6.3. MERGE:

O programa trabalha basicamente em dois modos diferentes. Quando é utilizado com efemérides operacionais na técnica de multiestação, faz uma ordenação cronológica das passagens das distintas estações (no máximo quinze), requisito fundamental para o ajustamento sequencial e simultâneo entre estações e escolhe períodos de observação.

O programa MERGE substitui as efemérides operacionais pelas efemérides precisas, pegando-as da saída binária de PREDOP (TAPE 4) e da saída binária de NWLFIT (TAPE 3) para fornecer as passagens com a substituição feita em TAPE 5.

Também é possível fazer a seleção de satélites e filtrar períodos de observação do TAPE 5 (saída binária PREDOP), na técnica de ponto simples (ver figuras nº 10 e 11).

2.6.4. PREPAR:

Prê-processa dados rastreados pelos receptores do tipo Geociver Tranet ou Tranet II, e junta estes dados com as efemérides operacionais ou precisas vindas dos programas PREDOP ou NWLFIT respectivamente.

2.6.5. PRERED:

Decodifica os arquivos binários criados pelos programas PREDOP, MERGE e PREPAR.

2.6.6. POSRED:

Decodifica e edita arquivos de saída do GEODOP TAPE 9 (coordenadas e continuação do processamento).

2.6.7. NWLDUM:

Decodifica e edita o arquivo binário TAPE 3 criado pelo programa NWLFIT.

2.6.8. GEODOP-V:

Processa passagens rastreadas por receptores geodésicos na forma de contagens, determinando coordenadas cartesianas geocêntricas do centro elétrico da antena do receptor, ajustadas com a respectiva matriz variância-covariância comple

ta, incluindo uma série de testes estatísticos (aos resíduos, ao erro de fechamento, χ^2) feitos a cada passagem individualmente.

Pode processar tanto na modalidade de ponto simples como de multiestação, usando efemérides operacionais ou precisas considerando a órbita fixa ou variável (solução dinâmica). As coordenadas finais são fornecidas em qualquer elipsóide num sistema local ou global aceitando parâmetros de translação no caso de sistemas locais.

O tipo de ajustamento empregado é em fase, isto é, as equações normais vão se somando com as soluções intermediárias. O vetor fechamento e formação de matrizes são inicialmente avaliadas usando os valores aproximados e as subseqüentes soluções intermediárias usam como dados aproximados as soluções anteriores.

A seguir é apresentada a seqüência de uso dos programas na técnica de multiestação e ponto simples usando efemérides operacionais e precisas. Os programas PRERED e NWLDUM são opcionais.

TABELA 1
GEODOP, CONSTANTES E LIMITAÇÕES

velocidade da luz	299.792,458 km/s
rotação terrestre média	$4,3752695 \times 10^{-3}$ rad/min
produto da constante de gravitação e massa terrestre	$3,986005 \times 10^{15}$ m ³ /s
fator de variância a priori	$\sigma_0^2 = 1.0$
testes estatísticos	$3\sigma_0, \chi^2$, erro de fechamento
tipo de ajustamento	seqüencial
refração troposférica (parte não modelável)	$\sigma = \pm 0,1$ (10%)
constantes no modelo para refração troposférica	$hd = 40.136 + 148,72 (T - 273)$ $hw = 11.000$ m
número máximo de contagens Doppler	32
número máximo de passagens	sem limite
número máximo de estações observadas simultaneamente	15 (sendo 10 simultâneas)

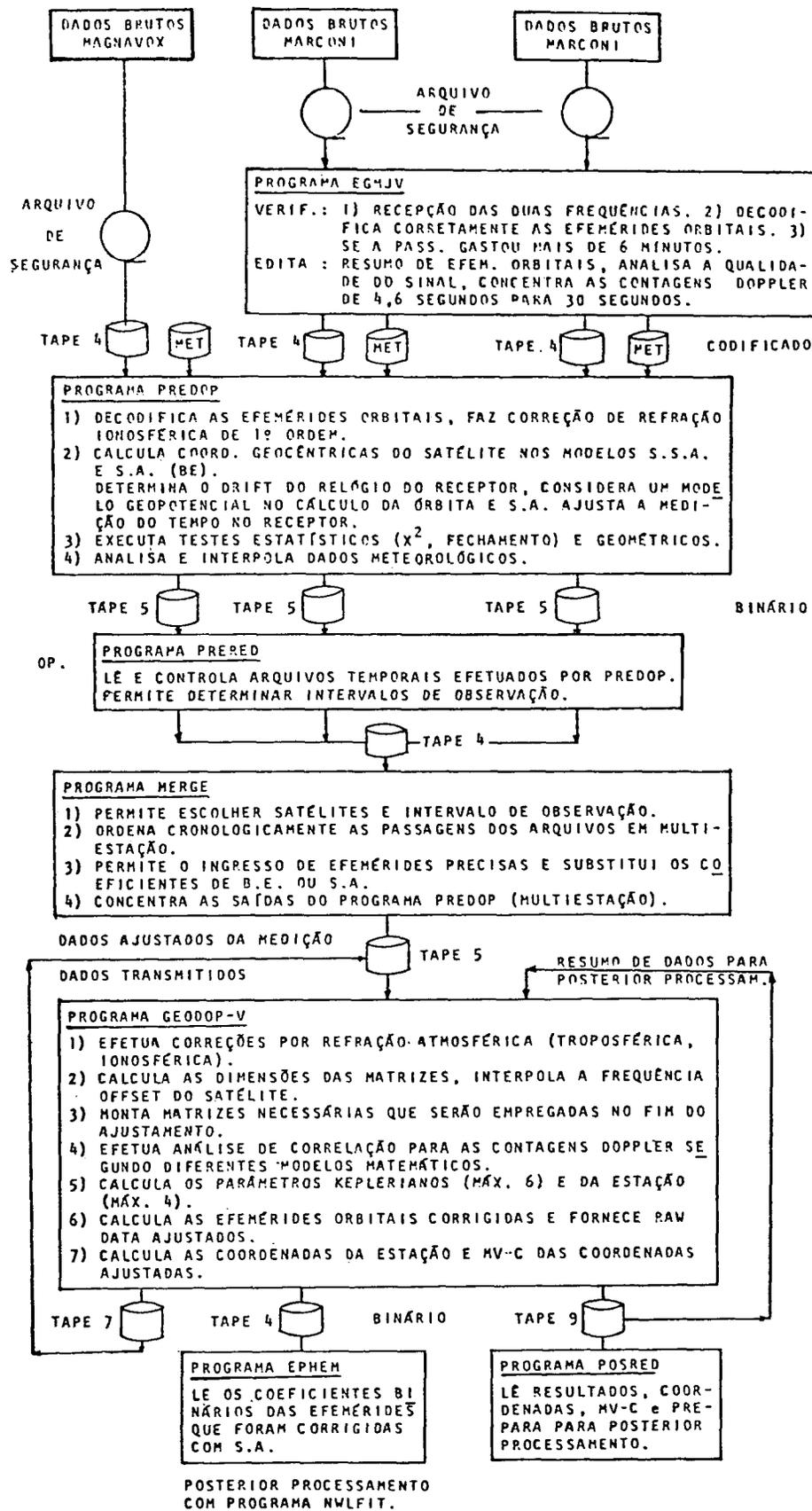


Diagrama - Multiestação, Efemérides operacionais

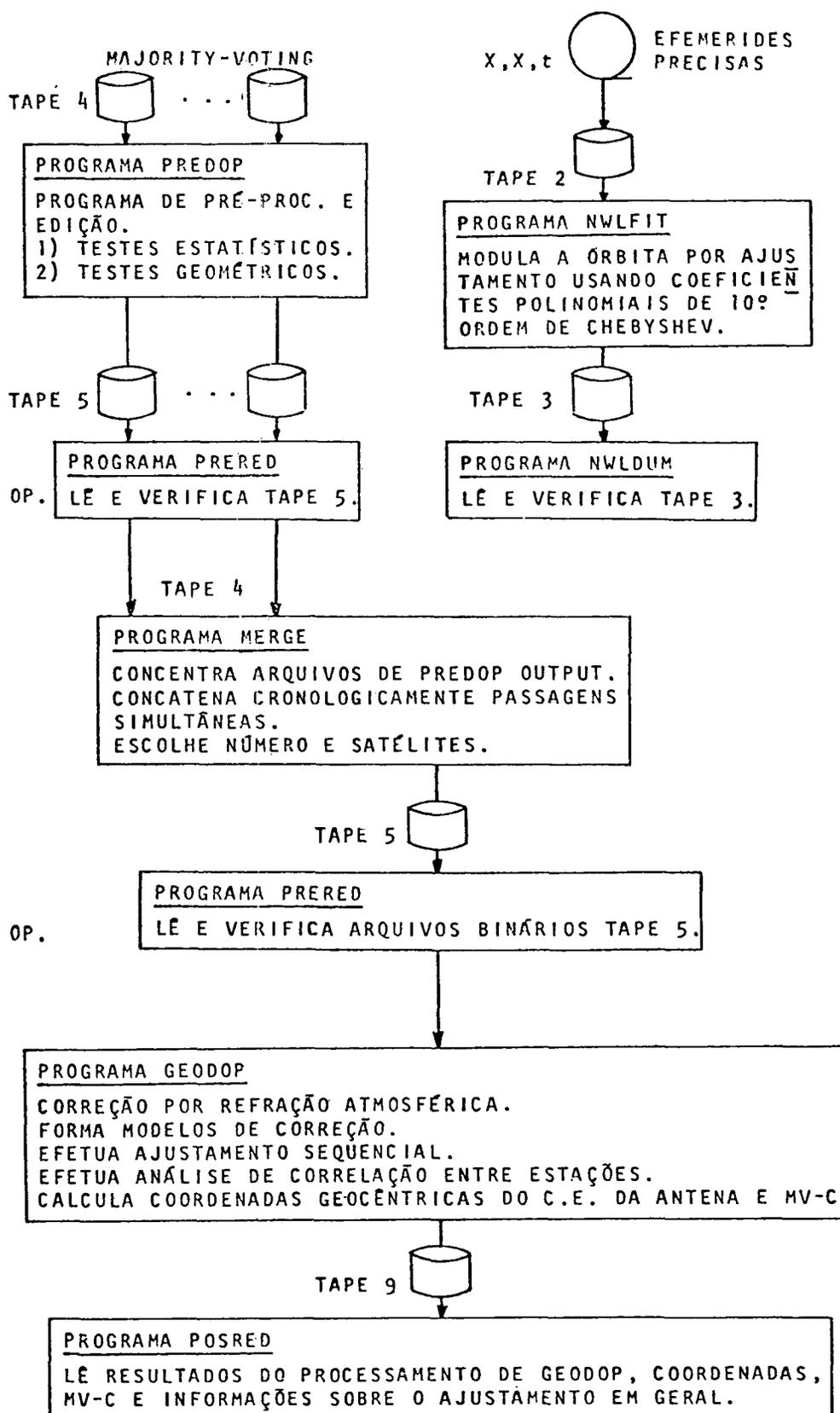


Diagrama - Multiestação, Efemérides precisas

2.7. PROCESSAMENTO

Como já foi dito, o sistema GEODOP-V não é um programa de apresentação compactada. Dentre as dificuldades iniciais o usuário deve ter uma certa familiaridade com a linguagem técnica e saber, em função do objetivo procurado, determinar sem gasto de tempo quais são os parâmetros e variáveis que refletirão melhor o comportamento da solução e a qualidade desta.

Na continuação, expõe-se a seqüência de como foi feito o processamento nas diversas fases e as opções usadas em função do tipo de receptor. É importante ressaltar que o conhecimento prévio do programa e do receptor facilita o manuseio do processamento, otimizando as rodadas iniciais e análise posterior.

2.7.1. OPÇÕES USADAS EM PREDOP

Uma vez feita a votação majoritária aos dados brutos, iniciou-se o pré-processamento do PREDOP. Pela falta de conhecimento dos parâmetros ótimos optou-se por usar como valores iniciais os valores padrões numa primeira aproximação. Com respeito às coordenadas aproximadas, geralmente não são um problema, pois é suficiente ter uma aproximação de ± 1 km. Conhece-se processamentos que usaram coordenadas aproximadas com desvio padrão de ± 10 km na técnica de multiestação, chegando a valores finais após cinco iterações com GEODOP-V.

De todas as opções de PREDOP, as seguintes são as mais relevantes:

a. Passagens com ângulo máximo de elevação inferior a 10 graus e observações inferiores a 5 graus são rejeitadas, pois desta maneira são eliminadas possíveis incertezas na correção por refração troposférica em GEODOP;

b. Passagens com menos de dez contagens Doppler por passagem são rejeitadas, porque não contribuem consideravelmente na melhora da solução. Esta opção é feita internamente.

c. O valor padrão de grau e ordem dez na representação da órbita usando polinômios de Chebyshev quando são usadas eferídes operacionais demonstrou ser a melhor representação da órbita /2/.

d. Contagens Doppler com qualidade de sinal menor que -145 dB, para as frequências de 150 e 400 MHz são rejeitadas. Sinais de boa qualidade são aceitos para melhorar o processamento, há diferentes critérios desta qualidade que dependem do tipo de receptor.

O sistema de coordenadas escolhido foi o próprio sistema de referência do satélite (geocêntrico cartesiano), utilizando sempre os parâmetros do elipsóide do sistema WGS-72. O programa aceita qualquer elipsóide, e fornece coordenadas finais no sistema local ou global desejado.

PREDOP rodou-se duas vezes. Na primeira rodada usou-se como parâmetros iniciais os valores padrões. Desta rodada pegou-se o valor da frequência offset e coordenadas geocêntricas para entrar em GEODOP. A primeira iteração PREDOP-GEODOP-

PREDOP, possibilita o aproveitamento de passagens rejeitadas na execução dos testes estatísticos. Aconselha-se esta iteração no caso de dispor de coordenadas pouco confiáveis.

A tabela nº 2 resume as opções, parâmetros, variáveis e valores padrões utilizados em PREDOP.

TABELA 2
VALORES PADRÕES

tipo de oscilador	receptor
freqüência offset ao começo do período	0
tipo de dados meteorológicos	cabeçalho da passagem.
critério de rejeição das:	
.passagens	10°
.contagens Doppler	5°
simetria da passagem (trimming)	não
elipsóide referência	WGS-72
qualidade do sinal/ruído	3
polinômio que representa o modelo geopotencial.	10

2.7.2. TIPO DE OSCILADOR USADO (RELÓGIO)

Atualmente existe polêmica com respeito à escolha do tipo de referencial de tempo. Tem-se o tempo gerado pelo oscilador de alta estabilidade no satélite (satellite time frame) e o gerado por um oscilador não tão preciso quanto o primeiro, de

caráter local e independente no receptor (receiver time frame) /9/. Este sistema de tempo sincroniza-se automaticamente com o satelitário, ao começo de cada nova passagem. A precisão deste tempo, para um intervalo de 18 minutos no máximo, fornece uma precisão maior que a precisão da medição e a deriva nesse intervalo é insignificante, conseqüentemente escolhe-se o referencial de tempo do receptor, já que nada indica que seja desvantagem seu uso.

2.7.3. DADOS METEOROLÓGICOS

Ao começo do processamento, somente encontravam-se disponíveis dados meteorológicos nos cabeçalhos das passagens, inseridos no campo pelos operadores. Numa segunda fase, usou-se arquivos meteorológicos que processados por GEODOP-V apresentaram diferenças em relação aos dados do cabeçalho.

2.7.4. QUALIDADE DO SINAL/RUÍDO

O critério que aceita as passagens em função da relação sinal/ruído, é dado por um código estabelecido pelos fabricantes dos receptores. Para o JMR o código varia de 0 a 7; para o Marconi 751/761 varia de 0 a 3. No processamento foi adotado o código 3 (> -130 dB) para o Marconi 751/761; para o JMR foi adotado inicialmente o código 7 (> -130 dB), porém as rejeições foram muitas. Adotou-se, então, o código 3 (-140 a -130 dB) o que permitiu melhoria nas passagens aceitas para os receptores JMR.

2.8. OPÇÕES E VALORES APROXIMADOS EM GEODOP-V

Assim como no processamento com PREDOP, GEODOP usou nas primeiras rodadas valores padrões e outros sugeridos pelo Eng^o Heiner Lange. à continuação apresentam-se opções e valores aproximados.

-Opções-

a. O número de parâmetros usados para a estação corresponde ao máximo de quatro (Δf , $d\delta$, dk , df).

b. O número de parâmetros orbitais (parâmetros Keplerianos) usado correspondeu ao máximo de seis ($da, d\eta, di, d\Omega, de, d\omega$).

c. O modelo da correção por refração troposférica usado foi o modelo de Black, com a consideração da curvatura sofrida pela onda eletromagnética ($ASG=0$). Com respeito à correção ionosférica de 3^o ordem, disponível em GEODOP-V ($ASG=10$), não foi empregada por sugestão de Kouba em 1981 /2/, porque introduz ruídos nas contagens Doppler.

d. Os ângulos mínimos de aceitação para as contagens Doppler e altura da passagem foram de $7,5^{\circ}$ e 10° respectivamente. Esta imposição, ao igual que em PREDOP, tem por objetivo eliminar possíveis problemas causados pela refração troposférica, quando são aceitas passagens observadas perto do horizonte.

e. O modelo de correlação para as contagens Doppler usado ($RT=0$) foi de peso idêntico e não correlacionadas.

-Valores Aproximados-

a. O cálculo das frequências offset e respectivas sigmas para cada satélite da configuração Transit, foram determinadas em base a valores obtidos da pré e pós calibração, para os dias 104 e 149 de 1986, previamente feita a votação majoritária.

b. inicialmente para o valor da contribuição do sinal do ruído do satélite por perturbações instrumentais e atmosféricas (σ_s) usou-se o valor de 5 cm (padrão), para num processamento posterior passar para 1 cm. Então foi feita a análise de correlação, o que contribuiu significativamente na determinação dos melhores parâmetros para a técnica de multiestação.

c. Em relação aos valores aproximados nos parâmetros Keplerianos usando efemérides operacionais, usou-se o valor de 10 m para o movimento médio e 9m para os parâmetros restantes, valor que foi modificado em processamentos finais.

No caso de efemérides precisas, para os mesmos valores Keplerianos, usaram-se 2 m para o movimento médio e 1 m para os parâmetros restantes.

d. A frequência offset e deriva do receptor, no começo do período de observação optou-se pelo valor padrão de zero, para posteriormente mudar para o valor obtido do ajustamento feito em PREDOP e GEODOP respectivamente.

e. O atraso do receptor (delay) usou o valor de 600 microssegundos com um sigma de 50 microssegundos.

f. A obtenção da variância das medições da diferença de distâncias (σ_{rr}) e a variância na medição da fase (σ_p) bem como a contribuição do ruído do sinal do satélite por perturbações instrumentais e atmosféricas (σ_s) podem ser estimadas por GEODOP-V a partir do quadrado dos resíduos de peso idêntico. A análise de correlação pode ser feita para o cálculo de ponto simples e multiestação.

A partir da matriz número de observações Doppler e matriz de correlação editadas após o processamento com GEODOP (cartão 2 GEODOP coluna 79) escolhem-se da primeira todos aqueles elementos da segunda coluna maiores que dez e calcula-se a continuação da matriz correlação o valor médio destes elementos. Este processamento de determinação do peso do receptor aconselha-se quando se dispõe de receptores novos ou desconhecidos, para fazer esta análise de correlação introduza-se para σ_p e σ_{rr} os valores padrões de fabricação como primeira iteração, usando as seguintes fórmulas.

$$\sigma_i^2 = \sigma_0 (2\sigma_p^2 + 2\sigma_{rr}^2 \cdot \Delta t); \quad \Delta t = 30 \text{ s}$$

$$\sigma_p^2 = - \bar{\rho} \sigma_i^2$$

$$\sigma_{rr}^2 = \frac{0.5}{\Delta t} (\sigma_i^2 - 2\sigma_p^2)$$

$$\sigma_S^2 = \bar{\rho}_S \sigma_i^2$$

onde:

σ_0^2 = variância dos dados Doppler de uma estação como resultado do ajustamento;

σ_i^2 = variância normalizada com os pesos do receptor a priori;

Δt = intervalo de tempo da contagem Doppler;

$\bar{\rho}$ = média dos elementos diagonais da matriz de correlação das contagens Doppler;

σ_S^2 = ruído do sinal do satélite por perturbações instrumentais e atmosféricas;

$\bar{\rho}_S$ = média das contagens Doppler entre as estações, calculada pelos valores diagonais da matriz de correlação cruzada.

Calculam-se assim os valores para:

σ_{rr}^2 = variância das medições na diferença de distâncias;

σ_p^2 = variância na medição da fase;

σ_S^2 = variância do ruído do sinal do satélite.

Mediante este processo é feita uma estimativa de peso melhor para cada receptor, com isso conseguiu-se que cada estação seja considerada com sua precisão.

CAPÍTULO III

CONSIDERAÇÕES GERAIS, CÁLCULO DE COORDENADAS, RE- SULTADOS

O presente capítulo apresenta os resultados obtidos do processamento nas diferentes técnicas de posicionamento. Estes resultados correspondem à última rodada após várias iterações que tiveram por finalidade determinar em base à análise de correlação as melhores variâncias que representassem de melhor forma a precisão de cada receptor (σ_p , σ_{rr}).

Expondo rapidamente a conceituação básica das diferentes técnicas de posicionamento com o propósito de complementar o primeiro capítulo e aclarar conhecimentos teóricos que permitam compreender os diferentes resultados, bem como os diagramas de fluxo dos processamentos.

3.1. PASSAGENS RASTREADAS PROCESSADAS E ACEITAS

Para a Geodésia é importante saber a precisão das medições o que permite determinar a estabilidade do resultado. Há outro fator que também é de muita importância: o tempo necessário que deve ser empregado para obter a precisão desejada, parâmetro importante na hora do preparo da estratégia do levantamento. A tabela 3 resume a quantidade de fitas cassetes, passagens rastreadas, processadas e aceitas pelo programa GEODOP, sendo que estes dados estatísticos foram obtidos para uma campanha especial. Talvez uma aplicação direta para outras situa-

ções não similares não seja válida, observando-se que o número de passagens por dia varia em função da latitude, e que o número de contagens por passagens está correlacionado com o estado do receptor. Como exemplos temos o caso dos receptores JMR-1, aos quais tivemos que aplicar um critério menos rigoroso na eleição da qualidade sinal/ruído para aumentar o número de passagens aceitas.

3.2. PONTO SIMPLES

É o processo que tem como objetivo determinar a posição tridimensional de uma estação, baseando-se na informação obtida do rastreamento de diferentes satélites de múltiplas passagens, considerando órbitas fixas. A posição terrestre é calculada somente a partir de considerações geométricas. A figura 9 ilustra a geometria básica do posicionamento pontual ou ponto simples.

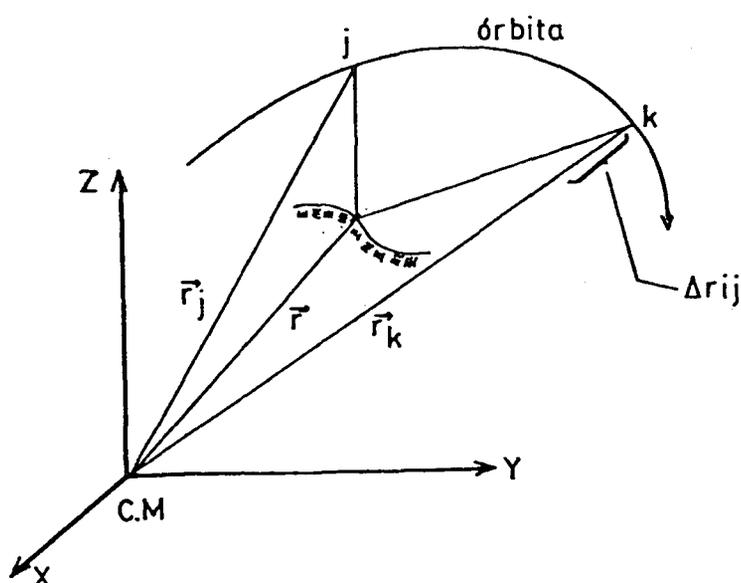


FIG.9 - PONTO SIMPLES

Os resultados estão referenciados ao tipo de efeméride usada, podendo estas serem de dois tipos: operacionais ou precisas, sendo que as primeiras são o resultado de uma extrapolação feita sobre um intervalo de 36 horas de rastreamento por quatro estações da rede OPNET. Estas coordenadas são obtidas em tempo real. Trabalhando com estas efemérides, espera-se uma exatidão de 2 a 5 m para um processamento feito com 50 passagens /11/.

Maior exatidão é atingida quando são usadas efemérides precisas, as quais são produto do rastreamento sobre um intervalo de 48 horas, por uma rede global de aproximadamente 20 estações do sistema TRANET, obtendo uma exatidão geralmente de 1 metro, num processamento com 30 passagens. Para uma latitude de 26° (aproximadamente Curitiba) 30 passagens precisam de 8 a 9 dias de rastreamento contínuo.

O tempo de rastreamento é função do número de satélites disponíveis, os quais geralmente são dois, e da latitude. Não todos os usuários têm a possibilidade de usá-los.

3.2.1. EFEMÉRIDES OPERACIONAIS

A tabela 4a mostra o resumo do processamento independente das cinco estações usando efemérides operacionais. Estas coordenadas estão referidas ao conjunto de coordenadas NWL-10 D, e ao modelo geopotencial WGS-72. Usou-se dados meteorológicos (arquivo TAPE 8) coletados no campo e interpolados por

PREDOP para cada passagem. O número de passagens corresponde às aceitas por GEODOP. Na fase de processamento relaxou-se a órbita e esta foi parametrizada para os seis elementos orbitais Keplerianos, sendo três do receptor e 10% de incerteza da não correção para a correção troposférica, usando o valor de 9 metros para o movimento médio e 7 metros para os parâmetros restantes, pois esta combinação foi a que forneceu o melhor resultado. Com respeito ao modelo geopotencial usou-se o default GEM 9 e o campo da gravidade foi truncado no grau e ordem 10 (IORD=10).

A figura 10 mostra os passos mais importantes do diagrama de fluxo no processamento de ponto simples usando efemérides operacionais. Apresenta-se a opção alternativa do programa MERGE, que tem por objetivo escolher neste caso intervalos de períodos de observação.

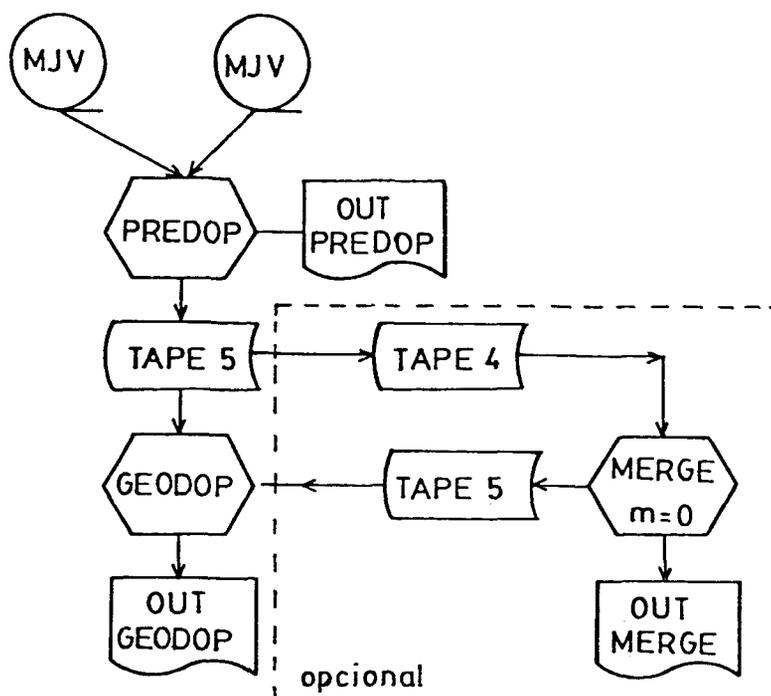


Figura 10 - process. ptº simples, ef. operacionais.

3.2.2. EFEMÉRIDES PRECISAS

A tabela 4b mostra o resumo do processamento independente das cinco estações usando efemérides precisas. Estas coordenadas estão referidas ao sistema de coordenadas NSWC-9Z2, e o modelo geopotencial NSWC-10E1, os quais foram determinados a partir de todas as observações. O período de observação encontra-se referido ao tempo médio em Greenwich e usa dados meteorológicos coletados durante a campanha pelos operadores e interpolados por PREDOP.

Durante a fase de processamento foi relaxada a órbita para os seis parâmetros Keplerianos, adotando o valor de 3 metros para o movimento médio e 2 metros para os restantes. O modelo geopotencial foi o padrão e truncado no grau e ordem 10.

O número de passagens disponíveis para cada estação varia de 31 a 88. O número de contagens Doppler acompanha a tabela para indicar em média quantas contagens por passagem foram utilizadas. No caso da estação Spitzkopf a dêbil quantidade de contagens (14) indicaria possivelmente uma má qualidade na recepção do sinal e/ou má simetria das contagens com respeito ao ponto de máxima aproximação, o que talvez pode introduzir erros sistemáticos na solução.

No caso particular do período de observação da campanha, as efemérides encontravam-se disponíveis para os satélites 20 e 11.

A figura 11 mostra o diagrama de fluxo na redução de

ponto simples usando efemérides precisas. A saída binária TA-
PE 3 do programa NWLFIT pode entrar no programa CHAIN para as-
sim contornar a continuação do processamento. O programa CHA-
IN foi criado em Hannover e tem por objetivo concatenar arqui-
vos binários; neste processamento não foi utilizada esta van-
tagem.

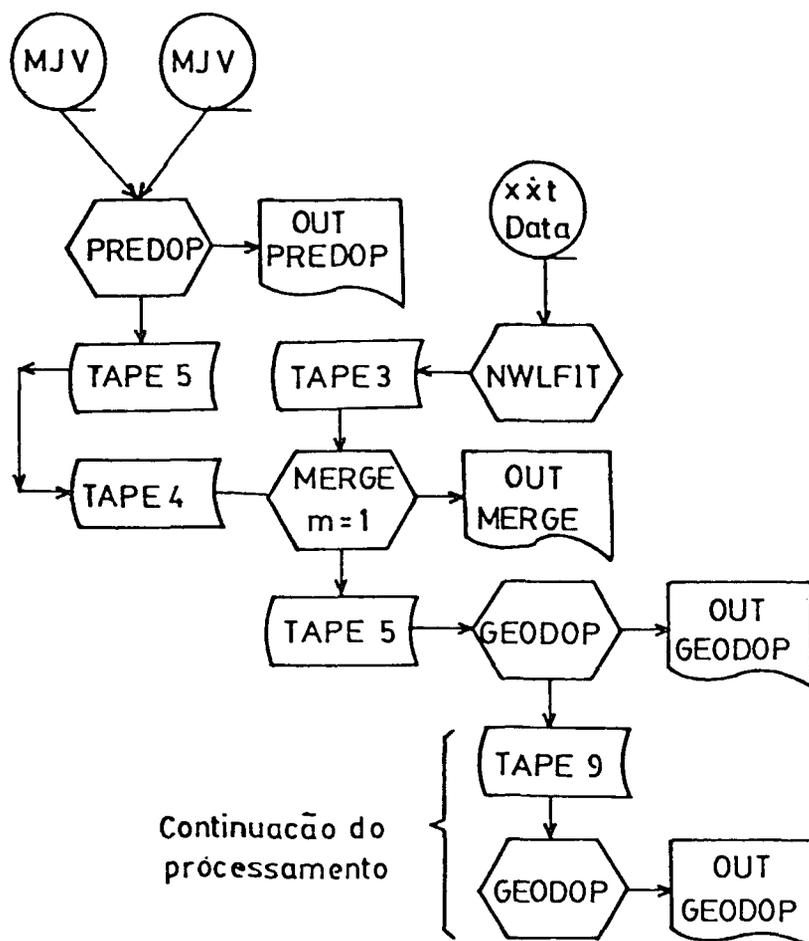


Figura 11- Esquema de processamento na técnica de ponto simples
usando efemérides precisas.

A segunda rodada com GEODOP da figura 11 tem por objetivo processar o segundo satélite que usará o TAPE 9 do primeiro para continuar o processamento.

3.3. POSICIONAMENTO RELATIVO

Chama-se de translocação a uma forma especial de posicionamento que precisa da participação de dois ou mais receptores e rastreamento simultâneo das mesmas passagens. No processo de cálculo é aproveitada a alta correlação introduzida por erros orbitais e atmosféricos (refração ionosférica e troposférica) do rastreamento comum.

Conseqüentemente um vetor distância de alta exatidão pode ser determinado por considerar as fontes de erros contantes fixas para as distintas passagens. O grau de correlação depende da separação entre as estações, orientação relativa e condições atmosféricas /9/ e /30/.

A figura 12 mostra a geometria básica da técnica de translocação. As diferentes distâncias entre estações determina uma rede livre Doppler, isto é, uma figura geométrica que flutua sobre uma superfície de solução, com uma exatidão de alta qualidade. A orientação desta rede é dada pelo tipo de eferíde usada. Uma posição absoluta pode ser obtida desde que uma das estações adote coordenadas fixas na solução (variância zero).

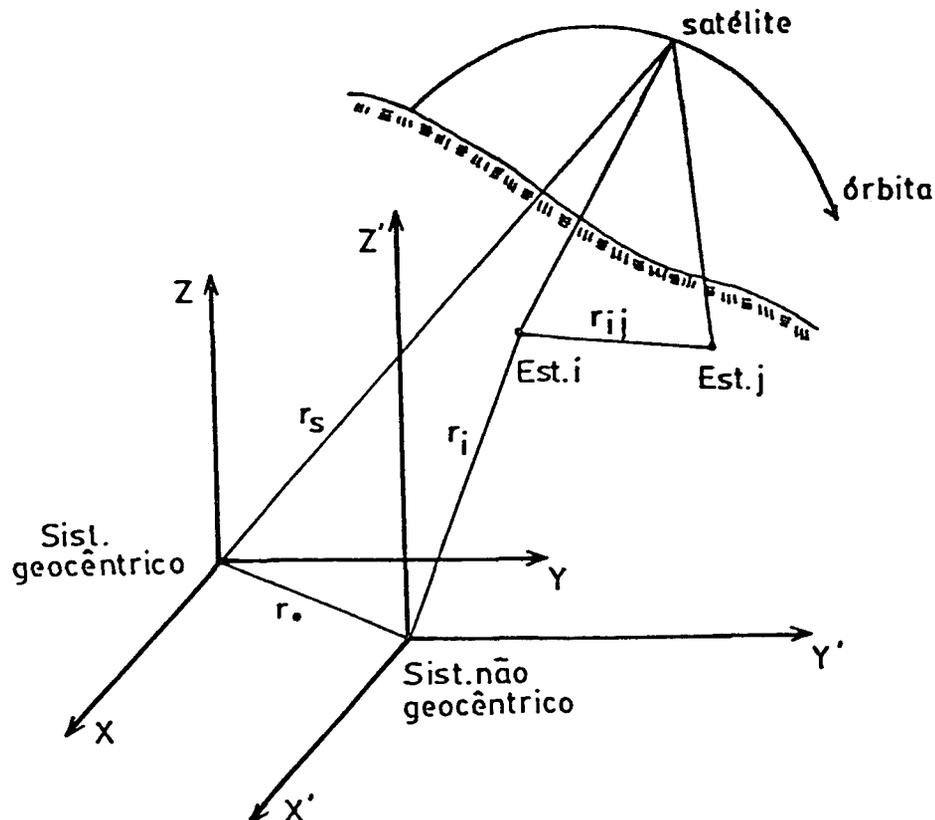


Figura 12 - posicionamento relativo,
translocação.

O método de translocação comparado com ponto simples dá uma boa exatidão interna, mas uma exatidão absoluta inferior.

Durante o simpósio do ano de 1976 de Las Cruces em New México, o grupo de trabalho fez a seguinte recomendação sobre o uso dos termos translocação e translocação rigorosa /28/:

- Translocação: refere-se ao método no qual os receptores são operados simultaneamente, embora os dados para cada estação não sejam os mesmos.

- Translocação rigorosa: refere-se ao método no qual somente dados simultâneos de mesmas passagens (contagem Doppler) rastreadas por todos os receptores são consideradas na fase de processamento.

As figuras 13 e 14 mostram os diagramas de fluxo da redução de multiestação usando efemérides operacionais, com a sugestão opcional de criar um programa que leia a saída codificada do programa POSRED (TAPE 1) para calcular as diferentes distâncias entre as estações e o desvio padrão, utilizando a MV-C completa das coordenadas (programa DDP da figura).

A diferença mais importante destes diagramas é a utilização do programa CHAIN (fig.14) que permite agilizar o processamento. Em particular os processamentos foram todos feitos usando esta vantagem, que foi a técnica utilizada no processamento de multiestação.

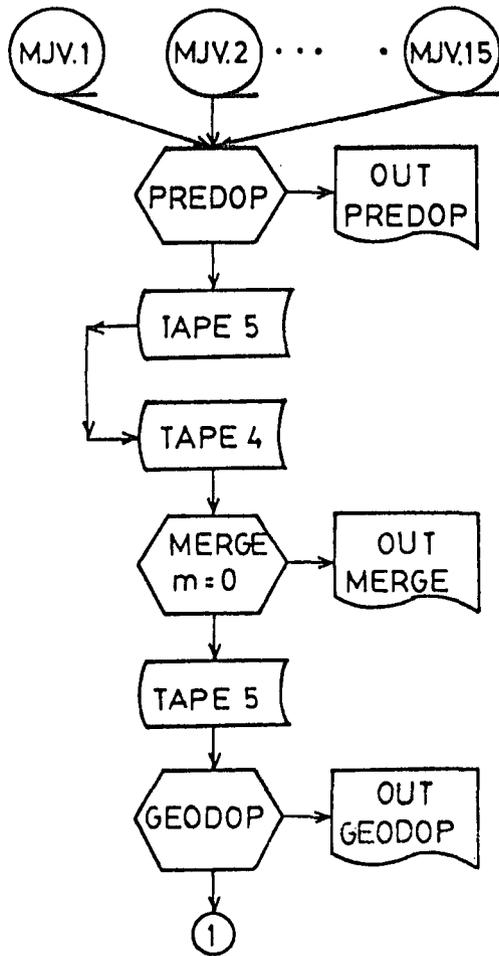


Fig. 13 - processamento de multiestação, e-fem. operacionais.

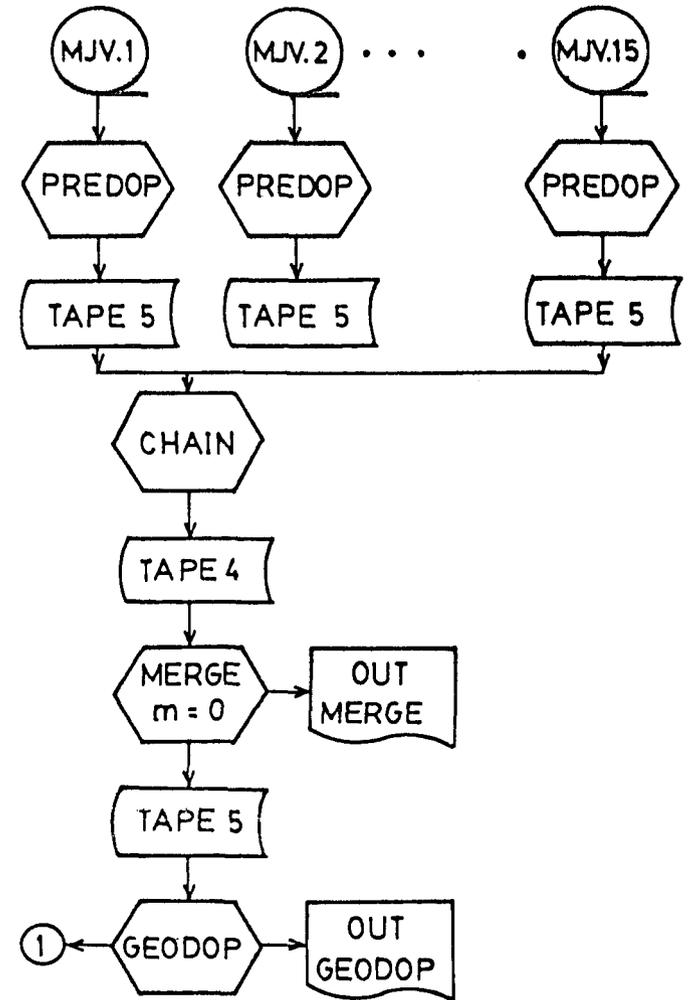
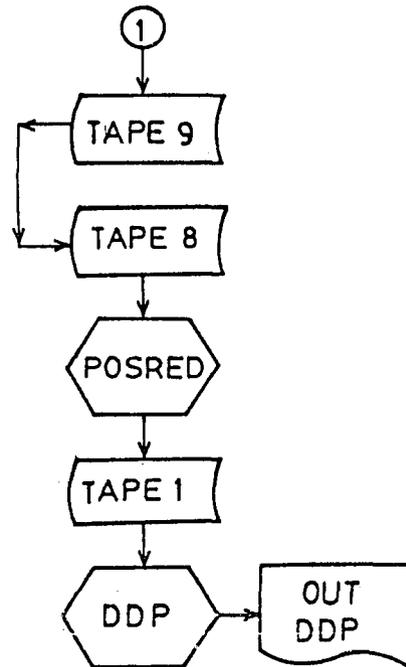


Fig. 14 - Processamento de multiestação, efem. operacionais usando progr. CHAIN.

EST.	OBSERVAÇÃO		Nº DE FITAS	Nº DE PASSAGENS			CONTAGENS DOPPLER	DOPPLER X PASS.	APROV. (%)
	DIA/HORA	DIA/HORA		MJV	PREDOP	GEODOP			
PP	111/8	124/2	8	260	219	208	4398	21.0	80.0
CC	111/3	124/2	8	238	212	194	3837	19.8	81.5
ES	114/22	122/10	3	153	133	128	2509	19.6	83.6
BA ¹	111/13	122/10	3	50	50	49	921	18.8	98.0
SP	111/13	118/9	3	95	88	88	1452	16.5	92.6

TABELA Nº 3 - RESUMO DO RASTREAMENTO

- o dia e a hora correspondem ao tempo do satélite (TU);
- as contagens Doppler correspondem as passagens aceitas por GEODOP;
- o percentual de aproveitamento tem como referência as passagens decodificadas por Majority-voted;
- ¹ a estação BA durante três dias esteve com problemas de rastreio.

CAPÍTULO IV

ANÁLISE DOS RESULTADOS

As coordenadas geocêntricas cartesianas e a estimativa do desvio padrão foram determinadas a partir do processamento de três programas principais: EGMJV, PREDOP e GEODOP. O programa GEODOP teve sua participação no processamento com coordenadas operacionais e precisas nas técnicas de ponto simples e multiestação, sempre fornecendo o comportamento da precisão interna expressa pela matriz variância-covariância (MV-C) das coordenadas ajustadas.

4.1. PRECISÃO TEÓRICA DO POSICIONAMENTO DOPPLER

Dentre os diferentes fatores que contribuem para a precisão e exatidão Doppler podem ser mencionados os seguintes:

- erros das efemérides usadas (erros do tipo externo);
- refração troposférica e ionosférica (precisão dos dados meteorológicos e modelos matemáticos adequados);
- erros instrumentais, condições de operação do receptor e antena;
- número e distribuição das passagens usadas;
- distribuição geográfica das estações, especialmente no caso de multiestação;
- característica e capacidade do programa usado.

O primeiro destes fatores afetará a exatidão no posicionamento, isto é, a qualidade do conjunto de coordenadas geocêntricas retilíneas X,Y e Z em relação ao datum que define as coordenadas satelitais. As efemérides operacionais por ser do tipo preditas (extrapoladas) encontram-se mais afetadas por este erro, o que não acontece com as efemérides precisas, usadas preferentemente no posicionamento pontual na determinação de parâmetros de translação entre sistemas locais e satelitários, pois são sinônimo de alta precisão.

Os erros da refração troposférica, ionosférica e instrumentais são os que mais afetam os processamentos pois são de difícil modelação e o comportamento não é uniforme durante os períodos de observação, variando de receptor para receptor e de estação para estação (sempre que não estejam muito próximas).

As considerações que serão feitas a seguir correspondem à estimativa da precisão interna do ajustamento, excluindo os erros do tipo externo. A estimativa da precisão estará baseada no estudo da matriz variância-covariância.

4.2. ANÁLISE DA PRECISÃO DOS RECEPTORES

Considerando os dados da tabela 3 estimou-se necessário processar uma multiestação para as cinco estações do tipo rigorosa com o objetivo de analisar possíveis diferenças da precisão oriundas dos receptores geodésicos. Através da figu-

ra 15 é possível verificar que os rastreadores que operaram nas estações Base Aérea e Spitzkopf apresentaram desvios padrões maiores.

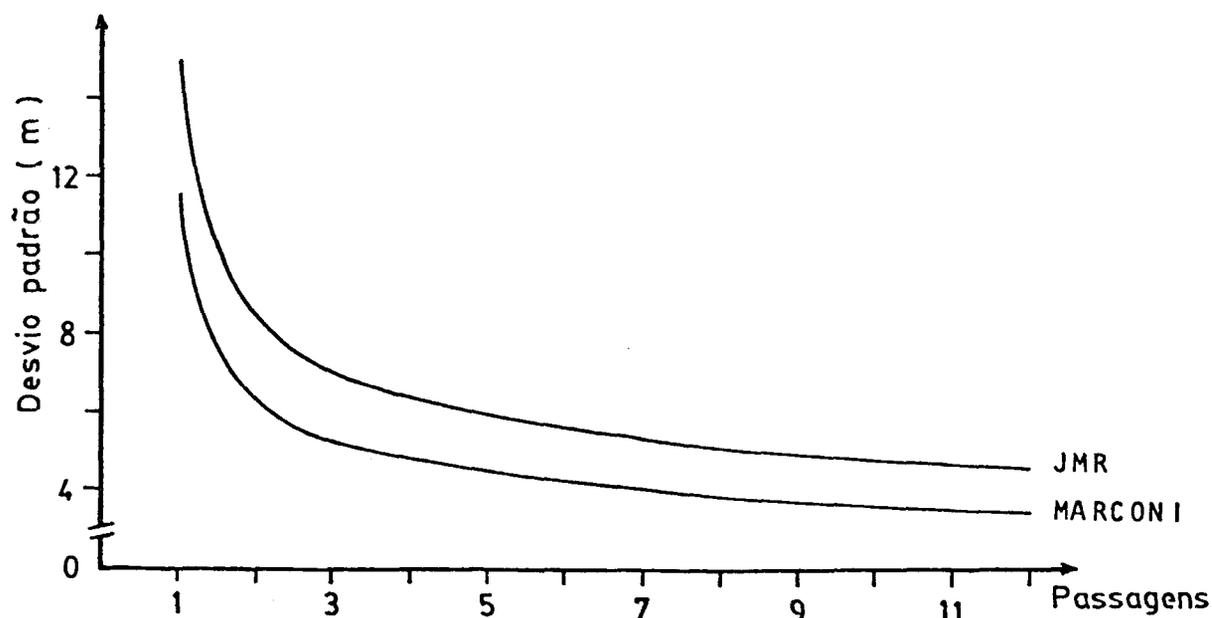


Figura 15 - Comportamento da precisão interna dos receptores Marconi e JMR, multiestação rigorosa.

O número de passagens correspondeu a 12 com um total de 138 contagens Doppler por estação.

Uma análise do comportamento de frequência offset em relação ao número de passagens feita na fase de pré-calibração mostrou que os osciladores dos receptores JMR (empregados no projeto) tinham pouca estabilidade. Fato este que introduz erros sistemáticos nas soluções, conforme se observa na figura 15

O que talvez introduza erros sistemáticos nas soluções afetando, assim, processamentos futuros.

4.3. PONTO SIMPLES, PRECISÃO VERSUS Nº DE PASSAGENS

Os resultados do processamento de ponto simples usando efemérides operacionais e precisas encontram-se nas tabelas 5 e 6, junto acompanham o número de dias, passagens e graus de liberdade necessários para obter uma precisão específica de 10, 5, 3, 2 e 1 metro, bem como a correspondente solução com a totalidade das observações a um nível de significância de 95%. Estas tabelas com maiores detalhes estão representadas nas figuras 16 e 17, nas quais visualiza-se facilmente a diferença de precisão dos dois receptores antes mencionados.

A seguir se falará somente da precisão dos receptores que tiveram o melhor comportamento.

Da figura 16 observa-se que o ganho em termos de precisão é obtido rapidamente até a passagem número cem, o que representa cinco dias e meio úteis de rastreamento. Após esta passagem a contribuição individual de cada nova passagem não proporciona um aumento rápido na precisão, muito pelo contrário, a curva tende a manter-se assintótica ao eixo das coordenadas (pass.).

Em contrapartida, a figura 17 mostra o mesmo comportamento a partir da passagem número trinta, com uma precisão em torno de trinta centímetros, em contraposição aos cem centímetros da figura 16.

Com isso, comprova-se a superioridade em termos de precisão das efemérides precisas. A única desvantagem é o número de dias úteis necessários para atingir esta precisão (5 dias).

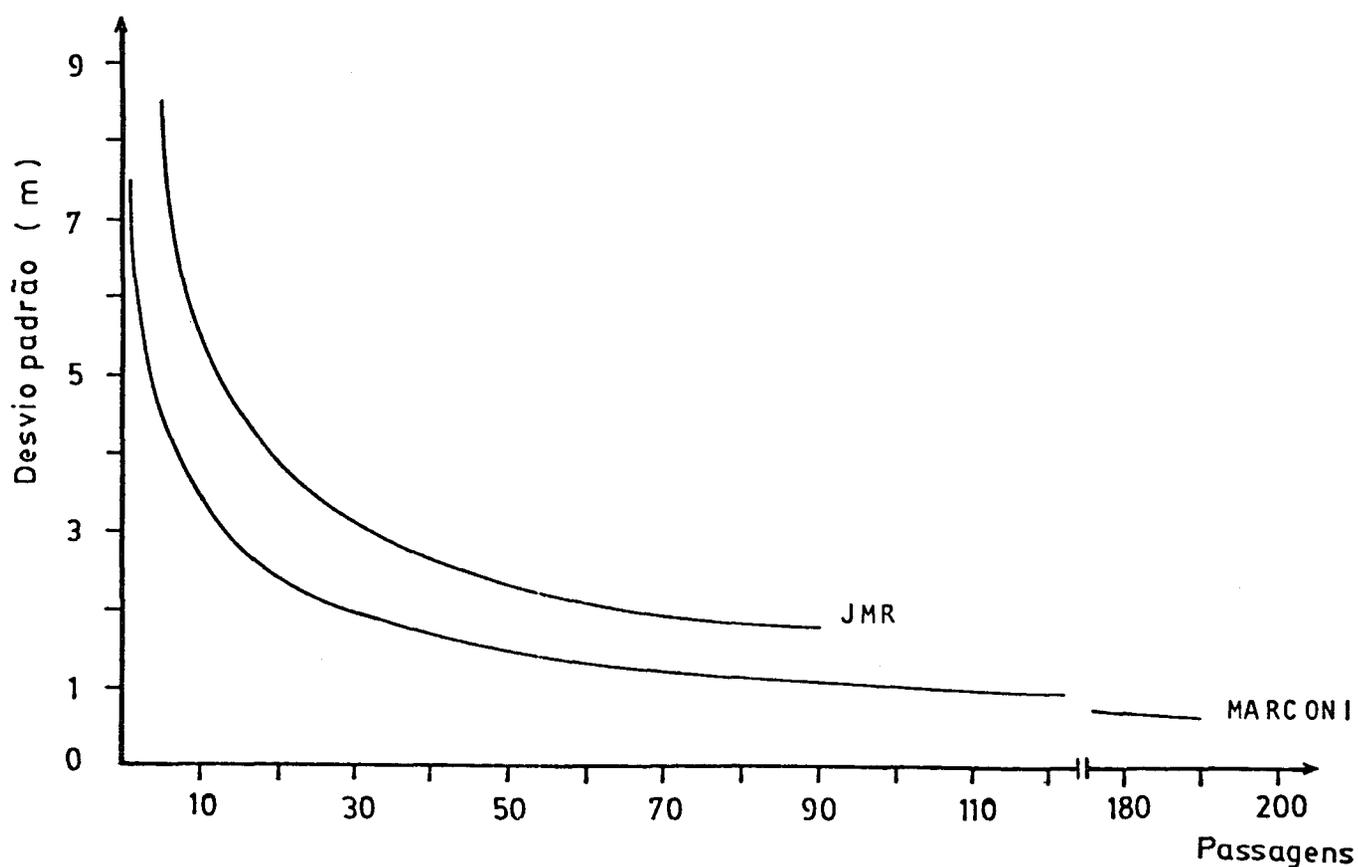


Figura 16 - Ponto simples - efemérides operacionais. Desvio padrão em função do número de passagens.

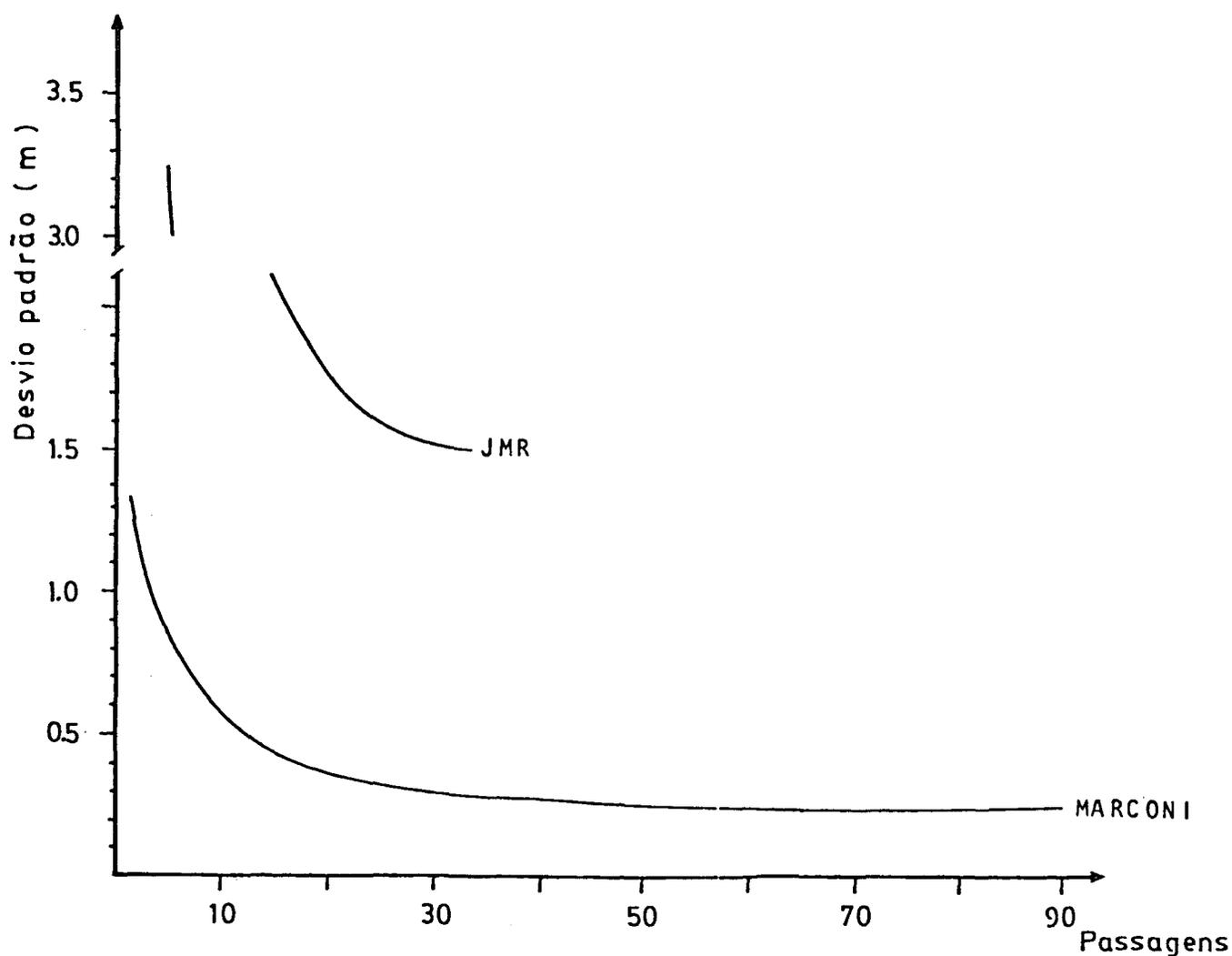


Figura 17 - Ponto simples - efemérides precisas.
Desvio padrão em função do número de passagens.

Até agora a análise tinha sido feita somente sobre a MV-C. As figuras 18a, b e c estão baseadas no conjunto de co ordenadas geodésicas obtidas do ajustamento usando efemérides operacionais. As diferenças correspondem à convergência dos valores intermediários da latitude, longitude e altura para

um total de 19 contagens por passagem em 128 passagens aproveitadas, o que representa 7 dias de rastreamento. Até a passagem 50, as três curvas comportam-se de igual forma, isto é, com grandes variações na solução e, a partir desta passagem, a latitude e altura tendem a estabilizar-se com maior rapidez que a longitude, para posteriormente atingir uma precisão menor de 1 metro. Após a passagem número 56, a latitude mostra um comportamento mais estável e é importante salientar que se está falando em termos de precisão interna. Existem erros do tipo externo que não estão sendo considerados na análise.

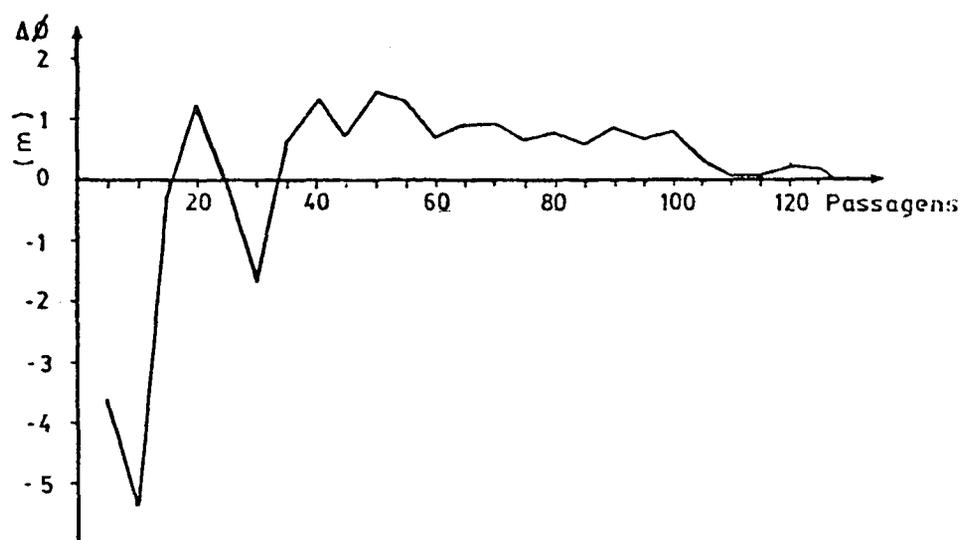


Figura 18a

Convergência de valores intermediários para latitude usando efemérides operacionais.

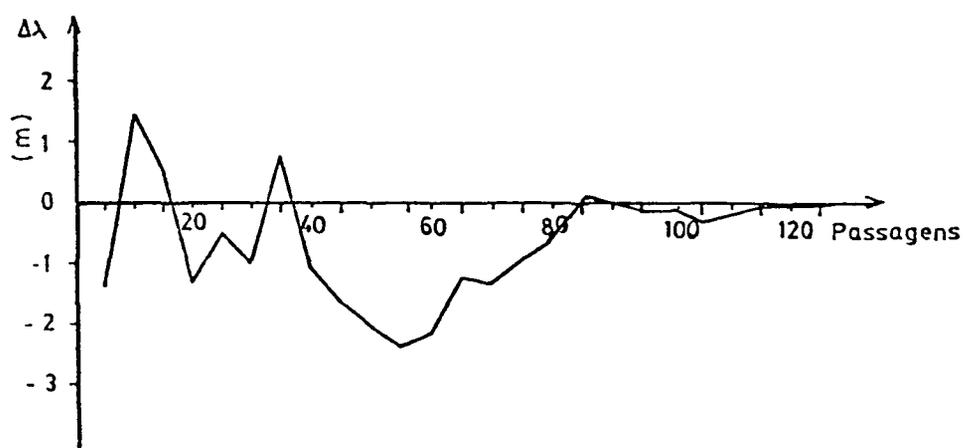


Figura 18b - Convergência de valores intermediários para longitude usando efemérides operacionais.

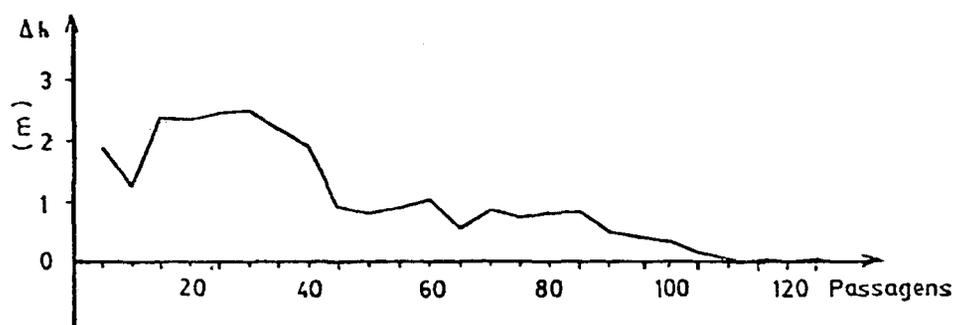


Figura 18c - Convergência de valores intermediários para altura usando efemérides operacionais.

As figuras 18a, 18b e 18c mostram a comparação da convergência de valores intermediários para latitude, longitude e altura usando efemérides operacionais. A convergência encontra-se em função do número de passagens.

As figuras 19a, 19b e 19c apresentam o comportamento da convergência dos valores intermediários para ϕ , λ e h usando efemérides precisas em relação do valor final. Estes gráficos mostram que em média o valor de 0,5 metro foi atingido rapida-

mente após quinze passagens aproveitadas, o que indicaria uma boa estabilidade da solução.

Enquanto a estimativa do desvio padrão na solução com e femérides operacionais, em termos de magnitudes numéricas, não refletiram um comportamento similar à da convergência dos valores intermediários, as efemérides precisas foram mais coerentes.

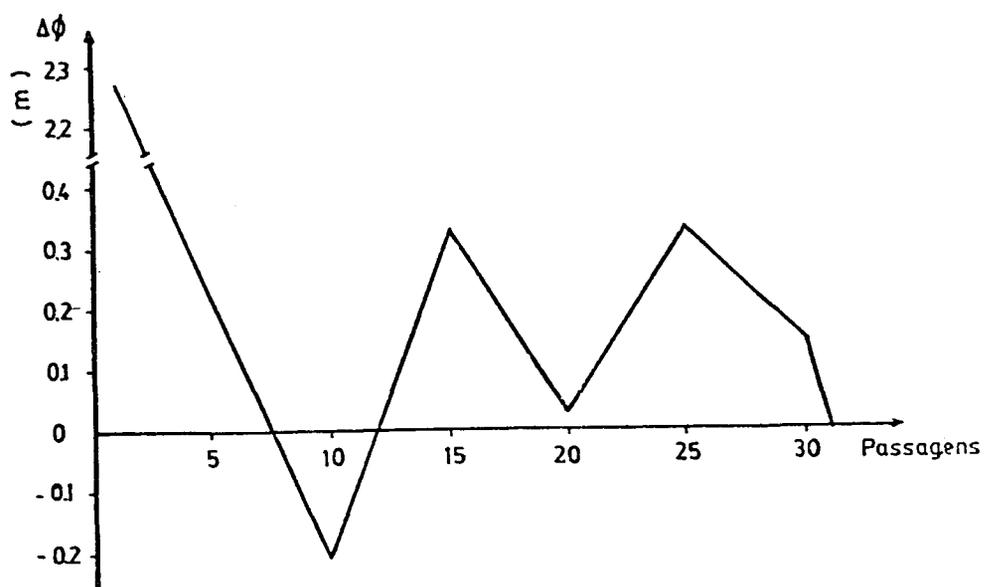


Figura 19a
Convergência de valores intermediários para latitude usando efemérides precisas.

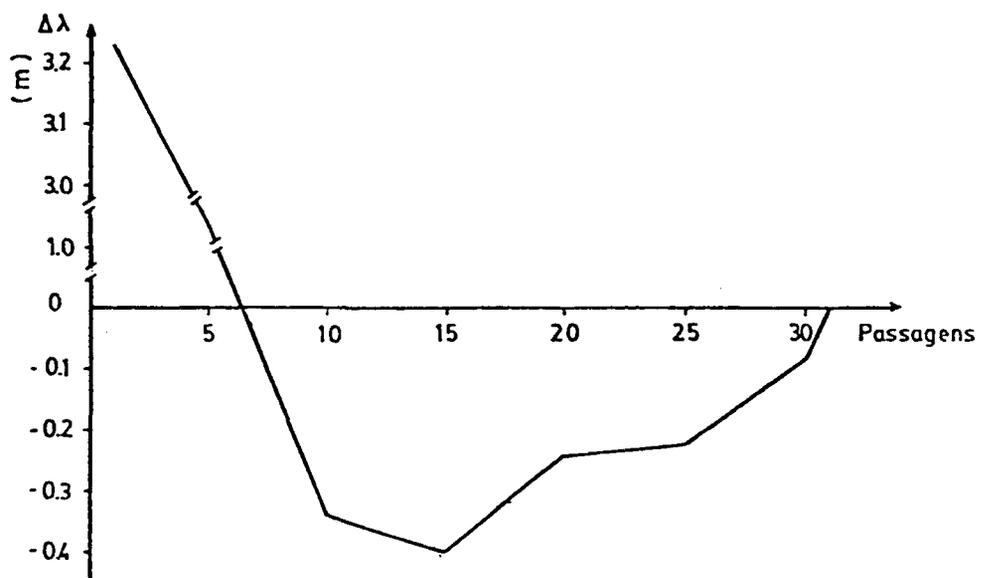


Figura 19b

Convergência de valores intermediários para longitude usando efemérides precisas.

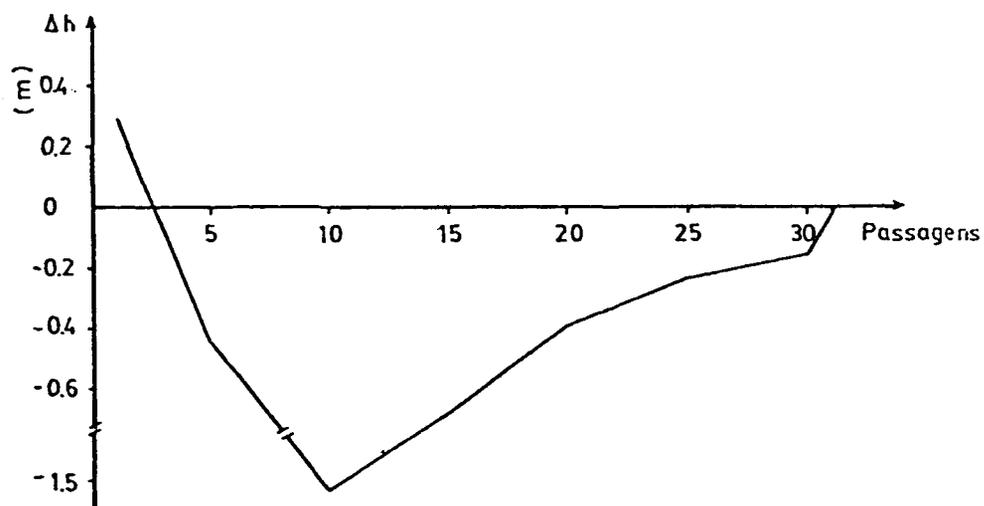


Figura 19c

Convergência de valores intermediários para altura usando efemérides precisas.

4.4 MULTIESTAÇÃO

Na análise do comportamento da estimativa do desvio padrão comprovou-se que a precisão varia em função do número de passagens e da quantidade de estações envolvidas no processamento. A figura 20 foi obtida a partir da matriz variância-covariância dos processamentos de três, quatro e cinco estações observadas simultaneamente.

Como é de fácil visualização, pode-se afirmar que quanto maior o número de passagens e estações, melhor é a precisão obtida.

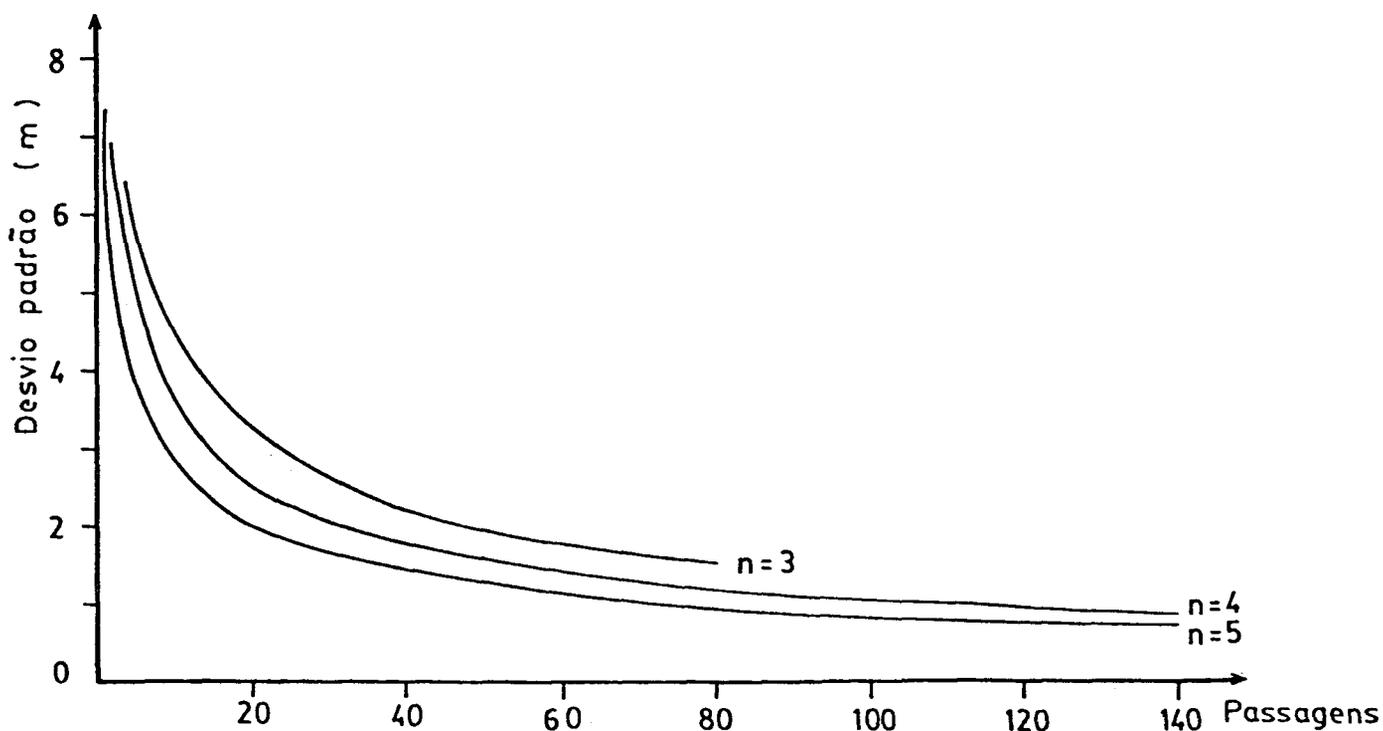


Figura 20 - variação do desvio padrão em função do número de passagens e estações, na técnica de multiestação.

As curvas da figura 20 começam a estabilizar-se a partir da passagem número oitenta, o que representa 1, 1,20 e 1,50 metros para as curvas de cinco, quatro e três estações, respectivamente.

Em relação à figura 21, pode-se observar que novamente o estimador é pouco tendencioso mas a variância continua sendo grande.

Em relação ao comportamento da convergência dos valores intermediários na multiestação, na figura 21 estão apresentadas as diferenças na distância para uma solução de três estações, em função do número de passagens e graus de liberdade (G.L.).

Na comparação usou-se como solução de referência o processamento de multiestação com doze estações.

Verifica-se que a rapidez da convergência aumenta com o número de passagens. Na passagem 65 a diferença de distância com respeito à solução de referência (distância CC-BA), era menor que 0,80 metro. Em contrapartida, o ponto simples que usou 194 e 49 passagens para CC e BA obteve uma diferença equivalente de distância, demonstrando alta qualidade interna das soluções obtidas por multiestação.

Provas realizadas nas multiestações de quatro estações em relação à solução de referência, apresentaram em média discrepâncias de $21,6 \pm 25,3$, $17,4 \pm 66,35$ e $133,3 \pm 106,8$ cm para $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$ e Δh (tabela 7). Para a multiestação de cinco estações as diferenças foram de $-28,5 \pm 60,5$, $45,7 \pm 81,1$ e $42,5 \pm 78,3$ cm para $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$ e Δh (tabela 8).

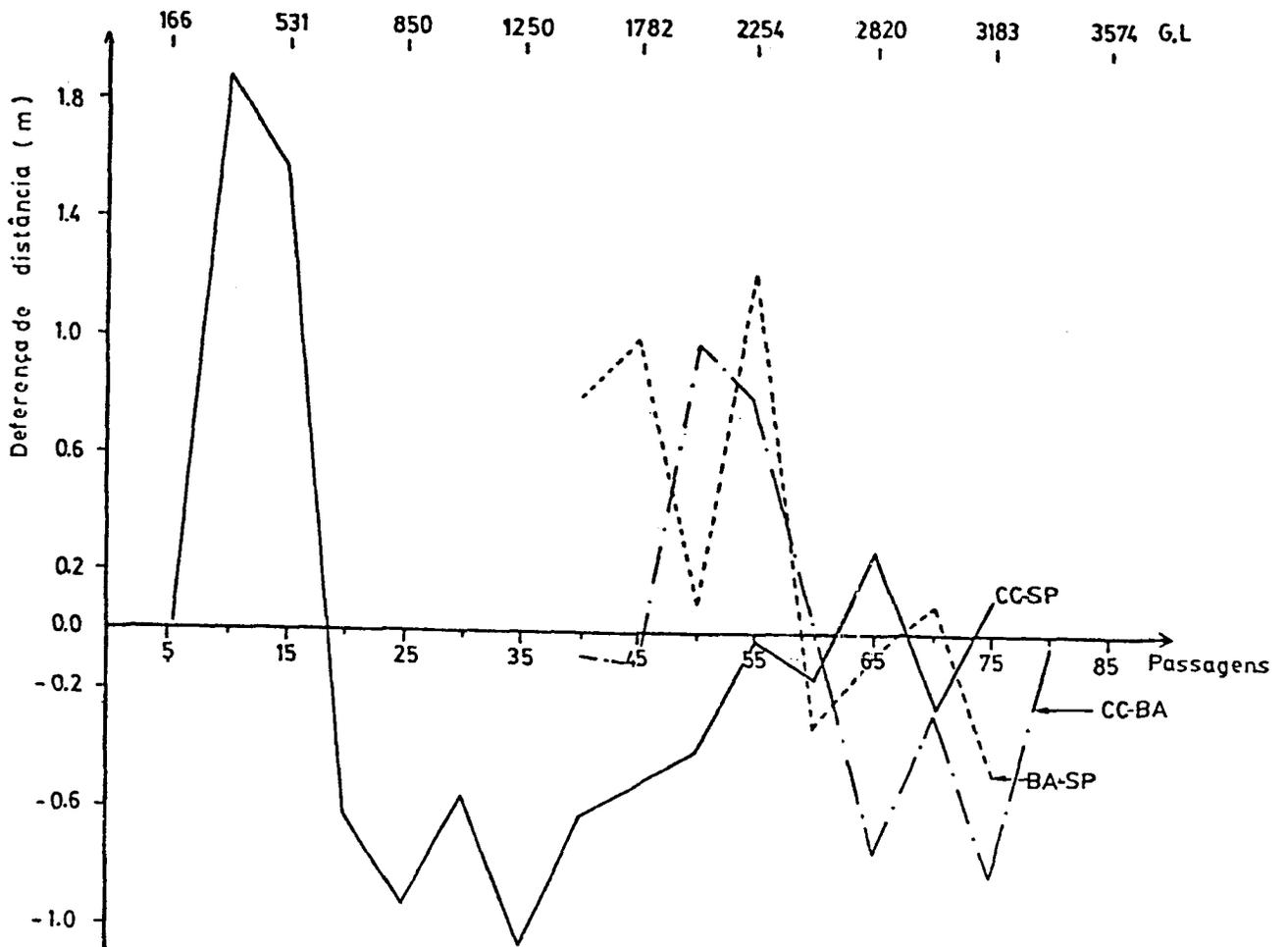


Figura 21 - Convergência da diferença de distâncias para a solução de três estações em relação à solução de referência.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

CONCLUSÕES:

- Durante o desenvolvimento dos processamentos deparamos com o fato de que nem todos os rastreadores encontravam-se em perfeitas condições de funcionamento, em especial no que toca à estabilidade do oscilador. Conseqüentemente, recomenda-se que cada vez que um projeto envolva a participação de dois receptores pelo menos, estes sejam submetidos a um período de funcionamento contínuo e simultâneo, até se obter um número suficiente de passagens simultâneas que permitam analisar o comportamento dos receptores.

- O uso de efemérides operacionais é justificado porque permite maior número de passagens aceitas por dia e na técnica de multiestação, fornece resultados de alta precisão interna. Em contra partida, as efemérides precisas estão disponíveis somente um mês após o rastrio, envolve apenas dois satélites e nem todos os usuários têm acesso.

- Uma grande contribuição deste trabalho é o fornecimento do roteiro de uso do conjunto de programas do sistema GEO-DOP-V, tanto na explicação da filosofia dos programas como na exposição gráfica de diagramas de processamentos usando efemérides operacionais e precisas.

- Em termos de coordenadas ajustadas obtidas do processamento e respectivas matrizes variância-covariância, pode-se dizer que o estimador é pouco tendencioso mas de variância

grande no processamento com efemérides operacionais. Em contra partida, o uso de efemérides precisas demonstrou maior coerência, o que é comprovado quando os resultados (coordenadas) são comparados com uma solução de referência.

- Após os processamentos e análises comprova-se que os resultados obtidos em multiestação são ótimos em termos de diferenças de coordenadas mas de inferior qualidade no posicionamento absoluto, pois dos diferentes processamentos realizados mesmo com variações significativas nas coordenadas a distância permanecia constante.

- O conceito de translocação rigorosa requer que sejam usadas as mesmas passagens para todas as estações e que cada passagem tenha a mesma quantidade de observações em torno do ponto de maior aproximação, para que com isso se evite a introdução de tendências sistemáticas na solução, provocadas pela assimetria das contagens. Já para estações distantes isso não é aconselhável porque o número de passagens e contagens diminui, uma vez que a maior aproximação produz-se em tempos diferentes.

- As precisões obtidas foram determinadas a partir de um trabalho específico, talvez não representem a rigor uma generalização do posicionamento Doppler.

- Os rastreadores Marconi apresentaram melhor precisão para igual número de passagens observadas pelos rastreadores JMR, o que indicaria que as contagens Doppler foram medidas em forma mais precisa pelos primeiros receptores.

- A diferença de precisão não fornece material suficiente para discriminar vantagens de um receptor sobre o outro em termos de qualidade de fabricação.

- Na fase de cálculo determinou-se que os fatores que influenciam a qualidade no processamento de cada passagem são

- a) elevação angular máxima do satélite;
- b) número de contagens por passagem;
- c) simetria das contagens em torno do ponto de maior aproximação satélite-receptor;
- d) qualidade de recepção das frequências de 400 e 150 MHz (qualidade do sinal/ruído);
- e) estabilidade do oscilador e qualidade da antena.

- Por que não foi atingida uma precisão melhor?

Talvez a resposta esteja na análise das fontes que teriam criado este fenômeno:

- a) eleição inadequada dos pesos dos parâmetros Keplerianos;
- b) eleição inadequada dos pesos do receptor;
- c) precisão dos dados meteorológicos;
- d) distribuição geográfica das estações.

RECOMENDAÇÕES:

- Analisar o (s) modelo (s) que representem melhor as condições climáticas predominantes nas áreas de rastreamento.

- Analisar qual dos modelos de correlação para as conta

gens Doppler oferece melhores resultados:

- Analisar a possibilidade de contornar o problema da dependência das efemérides precisas usando a saída binária TAPE 4 de GEODOP para posteriormente processar com os programas EPHEM e NWLFIT para obter pseudo efemérides precisas.

- Analisar se existe perda da correlação geométrica na realização da combinação do conceito de translocação e relaxamento da órbita que tem o mesmo objetivo: diminuir a influência dos erros orbitais no posicionamento.

APÉNDICE

EST.	OBSERVAÇÃO		PASS. APROV.	CONTAGENS DOPPLER	CONT.xPASS.	COORDENADAS GEOCÊNTRICAS					
	DIA/HORA	DIA/HORA				X(m)	σ_x	Y(m)	σ_y	Z(m)	σ_z
PP	111/07:40	124/01:42	208	4398	21	3648600.51	0,67	-4480986.75	0,70	-2693026.38	0,82
CC	111/03:12	124/01:42	194	3837	20	3527566.88	0,74	-4429021.34	0,78	-2928076.30	0,85
ES	114/21:42	122/09:52	128	2509	20	3531463.51	0,87	-4389133.97	0,91	-2982898.53	1,05
BA	111/13:04	122/09:56	49	921	19	3740633.15	2,71	-4237618.68	2,48	-2945063.16	2,10
SP	111/12:56	118/08:36	88	1452	17	3720686.27	1,84	-4300242.22	1,86	-2881114.71	1,63

Tabela 4a - resumo de observações, efemérides operacionais.

EST.	OBSERVAÇÃO		PASS. APROV.	CONTAGENS DOPPLER	CONT.xPASS.	COORDENADAS GEOCÊNTRICAS					
	DIA/HORA	DIA/HORA				X(m)	σ_x	Y(m)	σ_y	Z(m)	σ_z
PP	111	124	88	1753	20	3648600.02	0,47	-4480989.99	0,49	-2693031.09	0,59
CC	111	124	67	1237	18	3527565,93	0,49	-4429024.06	0,46	-2928081.08	0,58
ES	111	122	31	526	17	3531462.15	0,75	-4389136.19	0,72	-2982903.84	0,88
BA	111	122	17	286	17	3740630.32	3,26	-4237621.11	2,66	-2945065.86	1,78
SP	111	118	32	438	14	3720685.34	1,94	-4300245.36	1,83	-2881120.37	1,46

Tabela 4b - resumo de observações, efemérides precisas.

EST.	1ª PASSAGEM			D.P. ≤ 10			D.P. ≤ 5			D.P. ≤ 3			D.P. ≤ 2			D.P. ≤ 1			PERÍODO COMPLETO			
	DIAS PASS.	G.L.	D.P.	DIAS PASS.	G.L.	D.P.	DIAS PASS.	G.L.	D.P.	DIAS PASS.	G.L.	D.P.	DIAS PASS.	G.L.	D.P.	DIAS PASS.	G.L.	D.P.	DIAS PASS.	G.L.	D.P.	
PP	0,0	1	26 7,5	-	-	-	0,1	2	50	0,2	11	181	1,2	24	447	5,0	90	1784	12,9	208	4398	0,7
CC	0,0	1	05 23,5	-	-	-	0,2	5	94	1,2	12	225	2,0	27	496	7,2	110	1974	13,0	194	3837	0,8
ES	0,0	1	17 14,7	-	-	-	0,7	5	91	0,8	12	232	1,8	29	566	6,7	105	1944	7,5	128	2381	0,9
BA	0,0	1	13 17,6	-	-	-	4,2	13	240	6,0	32	583	-	-	-	-	-	-	10,9	49	872	2,4
SP	0,0	1	08 23,0	0,1	4	31	1,0	13	170	2,8	33	478	5,0	66	1032	-	-	-	6,8	80	1234	1,8

Tabela 5 - Ponto simples, efemérides operacionais.

D.P. = Desvio padrão. G.L. = Grau de liberdade.

EST.	1ª PASSAGEM			D.P. ≤ 10			D.P. ≤ 5			D.P. ≤ 3			D.P. ≤ 2			D.P. ≤ 1			PERÍODO COMPLETO			
	DIAS PASS.	G.L.	D.P.	DIAS PASS.	G.L.	D.P.	DIAS PASS.	G.L.	D.P.	DIAS PASS.	G.L.	D.P.	DIAS PASS.	G.L.	D.P.	DIAS PASS.	G.L.	D.P.	DIAS PASS.	G.L.	D.P.	
PP	0,0	1	16 1,33	-	-	-	-	-	-	0,2	3	53	1,2	6	101	5,2	18	313	13,3	89	1479	0,23
CC	0,0	1	15 1,80	-	-	-	-	-	-	1,0	3	47	1,2	4	65	4,2	14	255	11,0	64	1132	0,27
ES	0,0	1	16 3,23	-	-	-	-	-	-	1,0	3	56	1,0	4	71	5,0	15	230	5,0	31	495	0,43
BA	0,0	1	21 3,10	-	-	-	-	-	-	2,0	4	65	2,0	13	213	-	-	-	7,8	18	286	1,80
SP	0,0	1	9 3,10	-	-	-	-	-	-	0,1	2	21	2,3	17	198	-	-	-	6,0	33	407	1,53

Tabela 6 - Ponto simples, efemérides precisas.

D.P. = Desvio padrão. G.L. = Grau de liberdade.

PROC.		1				2			3					
ESTAÇÕES	PASS.	$\Delta\phi$	$\Delta\lambda$	Δh	PASS.	$\Delta\phi$	$\Delta\lambda$	Δh	PASS.	$\Delta\phi$	$\Delta\lambda$	Δh		
PP-CC	191/191	- 7	41	128	90/90	- 5	-28	124	57/56	0,0	-24	121		
PP-ES	191/125	- 4	-21	91	90/45	-12	- 9	79	57/45	1	- 5	84		
CC-ES	191/125	4	20	- 37	90/45	4	20	-45	56/45	0	20	- 37		
PP-BA	191/42	28	-119	223	90/24	51	-68	332	57/24	45	-47	245		
CC-BA	191/42	36	160	95	90/24	56	97	208	56/24	45	71	123		
ES-BA	125/42	44	51	160	45/24	51	77	252	45/24	51	77	254		
MÉDIA		17	8	110	24			15	158	24			15	132
σ		± 22	± 94	± 87	± 32			± 63	± 134	± 26			± 51	± 108
MÉDIA GERAL										21,6	17,4	133,3		
σ										25,3	66,35	106,8		

Tabela 7 - Resumo do processamento em multiestação para quatro estações, onde a média e o desvio padrão (σ) estão em centímetros.

PROC.	1				2				3			
ESTAÇÕES	PASS.	$\Delta\phi$	$\Delta\lambda$	Δh	PASS.	$\Delta\phi$	$\Delta\lambda$	Δh	PASS.	$\Delta\phi$	$\Delta\lambda$	Δh
PP-CC	139/137	- 4	- 37	120	12/12	4	-109	117	219/212	- 5	- 42	108
PP-ES	139/125	-14	-75	90	12/12	-14	- 75	90	219/133	- 4	- 21	81
PP-BA	139/42	2	64	147	12/12	148	- 58	91	219/50	31	154	164
PP-SP	139/58	-91	37	-133	12/12	296	238	-319	219/88	-120	50	87
CC-ES	137/125	1	20	- 31	12/12	-18	34	- 28	212/133	10	21	-26
CC-BA	137/42	6	101	26	12/12	-152	51	- 26	212/50	- 26	196	57
CC-SP	137/58	-88	73	13	12/12	292	129	- 21	212/88	-114	92	-21
ES-BA	125/42	32	114	131	12/12	-134	17	1	133/50	- 27	174	82
ES-SP	125/58	-89	54	42	12/12	310	-163	229	133/88	116	70	4
BA-SP	42/58	-95	- 27	- 14	12/12	443	-180	228	50/88	- 90	-104	-78
MÉDIA		-34,0	32,4	39,1		117,5	- 11,6	41,4		- 22,9	59,3	45,8
σ		$\pm 50,2$	$\pm 61,9$	$\pm 86,6$		$\pm 208,3$	$\pm 131,6$	$\pm 156,7$		$\pm 71,5$	$\pm 97,6$	$\pm 73,7$
MÉDIA GERAL										- 28,5	45,7	42,5
σ										$\pm 60,5$	$\pm 81,1$	$\pm 78,3$

Tabela 8 - Resumo do processamento em multiestação para cinco estações, onde a média e o desvio padrão (σ) estão em centímetros. O processamento n° 2 não foi considerado na média geral.

EST.	E. PRECISAS		E. OPERACIONAIS	
	PASS.	δ	PASS.	δ
PP-CC	88-87	-0,304	208/194	0,064
PP-ES	88/31	-0,015	208/128	1,119
PP-BA	88/17	-1,920	208/49	-3,369
PP-SP	88/32	-0,881	208/88	-0,271
CC-ES	87/31	-0,014	194/128	0,684
CC-BA	87/17	0,488	194/49	-0,838
CC-SP	87/32	-0,485	194/88	-0,872
ES-BA	31/17	1,681	128/49	0,759
ES-SP	31/32	0,248	128/88	0,087
BA-SP	17/32	-1,203	49/88	-3,196

Tabela 9 - Diferenças de distâncias no cálculo de ponto simples usando efemérides operacionais e precisas, onde δ representa a diferença de distância em relação à solução de referência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ABIB, O.A. Geodésia geométrica e por satélites. Rio de Janeiro, s.ed.; 1981. 160 p.
- 2 ARCHINAL, B.A. A comparason of geodetic Doppler satellite receivers. Columbus, Dept. of Geodetic Science, The Ohio State University, 1982. 107 p.
- 3 ASHKENAZI, V. Una red continental terrestre Doppler de control para América del Sur. Rev. Cart. Inst. Panam. Geogr. Hist. (31): 33-55, 1977.
- 4 ASHKENAZI, V. et alii. Cálculo de posiciones geodésicas por satélites Doppler. Madrid, s.ed.; 1977. 56 p.
- 5 BLACK, H.D. The transit system, 1977: perfomance, plans and potential. Phil.Trans. R. Soc. Lond. A 294 : 217-236, 1980.
- 6 BOAL, J.D. Satellite Doppler surveying. In: CANADÁ. Department of Energy, Mines and Resources. Surveys and Mapping Branch. Collected papers, geodetic survey. Ottawa, Surveys and Mapping Branch, 1980. p. 15-48.
- 7 BOAL, J.D. & KOUBA, J. Adjustment and analysis of the satellite Doppler network in Canadá. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PROBLEMS RELATED TO THE REDEFINITION OF NORTH AMERICAN GEODETIC NETWORKS, 2., Arlington, Virginia, 1978. Proceedings. Arlington, VA, 1978. p. 181-194.

- 8 BROWN, D.C. Doppler positioning by the short arc method. In: INTERNATIONAL GEODETIC SYMPOSIUM ON SATELLITE DOPPLER POSITIONING, 1., Las Cruces, NM, 1976. Proceedings. Las Cruces, NM, 1976. p. 187-206.
- 9 CHEN, J.Y. Geodetic datum and Doppler positioning. Graz, s.ed., 1981. 255 p.
- 10 GEMAEL, C. Introdução à geodésia celeste, 1ª parte, órbitas e rastreamento. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1975. p. irr.
- 11 HOAR, G.J. Topografia por satélite. s.l., Magnavox, 1983 p. irr.
- 12 JENKINS, R.E. & LEROY, C.F. Broadcast versus precise ephemeris apples and oranges. In: INTERNATIONAL GEODETIC SYMPOSIUM ON SATELLITE DOPPLER POSITIONS, 2., Austin, TX 1979. Proceedings. Austin, TX, 1979. p.39-62.
- 13 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. 69 p.
- 14 KOUBA, J. Improvements in Canadian geodetic Doppler programs. In: INTERNATIONAL GEODETIC SYMPOSIUM ON SATELLITE DOPPLER POSITIONING, 2., Austin, TX, 1979. Proceedings. Austin, TX, 1979. p.63-82.
- 15 KOUBA, J. A review of geodetic and geodynamic satellite Doppler positioning. Rev. Geophys. Space - Phys., 21 (1): 27-40, 1983.

- 16 KOUBA, J. Users guide. The GEODOP-V program system. Ottawa, Dept. of Energy, Mines and Resources, 1982. 34 p. + appendix.
- 17 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.
- 18 KOUBA, J. & BOAL, J.D. Program GEODOP. Ottawa, Surveys and Mapping Branch, 1976. p.irr.
- 19 KOUBA, J. & HOTHEM, L.D. Compatibility of canadian and U. S. Doppler station network. In: CANADA. Department of Energy, Mines and Resources. Surveys and Mapping Branch. Collected papers, geodetic surveys. Ottawa, Surveys and Mapping Branch, 1978. p.137-156.
- 20 KRAKIWSKY, E.J. & WELLS, D.E. Coordinate systems in geodesy. Fredericton, Departament of Surveying Engineering, University of New Brunswick, 1973. 115 p. Lecture Notes, 16.
- 21 KRAKIWSKY, E.J. et alii. Controle geodésico através de observações Doppler de satélites. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 6., Rio de Janeiro, 1973. 24 f.
- 22 LAWNIKANIS, P. Program PREDOP. Ottawa, Surveys and Mapping Branch, 1976. 80 p. + Appendix.
- 23 LEROY, C.F. Results from portable Doppler receivers using broadcast and precise ephemerides. In: INTERNATIONAL GEODETIC SYMPOSIUM ON SATELLITE DOPPLER POSITIONING, 1., Las Cruces, NM, 1976. Proceedings. Las Cruces, NM, 1976. p. 399-416.

- 24 ROMÃO, V.M.C. Método Doppler de posicionamento por satélites NNSS. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1982. 126 f. Dissertação, Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná.
- 25 SCHENKE, H.W. Untersuchungen zur Genauigkeit von Doppler-Satellitenbeobachtungen. Wissen. Arb. Fachr. Vermess. Univ. Hannover - (129):, 1984. 205 p.
- 26 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 p.
- 27 SIEBOLD, J.; SCHENKE, H.W.; EGGE, D. GEODOP-V portable version Fortran 77. Institute of Geodesy, University of Hannover, 1983. 20 p.
- 28 STANSELL Jr., T.A. The continuing evolution of satellite based geodetic positioning and survey navigation capabilities. In: OFFSHORE TECHNOLOGY CONFERENCE, 13., Houston, TX, 1981. 16 p.
- 29 VANICEK, P. & KRAKIWSKY, E.J. Geodesy; The concepts. Amsterdam, North-Holland, 1982. 692 p.
- 30 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.

- 31 WELLS, D.E. Doppler satellite control. Fredericton, Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick, 1976. 277 p. Technical Report, 29.

- 32 WONNACOTT, T.H. & WONNACOTT, R.J. Introdução à estatística. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1980 589 p.