

PRIMEIROS RESULTADOS, NO IBGE, DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE MULTIESTAÇÃO, COM ARCOS CURTOS, NO PROCESSAMENTO DE OBSERVAÇÕES DE SATÉLITES DO SISTEMA TRANSIT

Luiz Paulo Souto Fortes. Eng^o Cartógrafo

Recebido para publicação em 25/08/87

RESUMO. Neste trabalho, são apresentados os primeiros resultados, obtidos no IBGE, do processamento de observações de rastreamento de satélites do Sistema TRANSIT aplicando-se o método de multiestação, com modelo de arcos curtos. Para a realização deste processamento, estão sendo utilizados os programas integrantes do Sistema GEODOP V, implantados pelo autor no parque computacional do IBGE durante o ano de 1986, a partir do recebimento da versão IBM disponível no Canadian Department of Energy, Mines and Resources, onde o Sistema original foi desenvolvido. A partir de comparações com os métodos clássicos de levantamento (triangulação, nivelamentos geométrico e barométrico) é efetuada uma avaliação inicial da precisão do método. Baseando-se nos resultados alcançados, são oferecidas as perspectivas de sua utilização no estabelecimento do Sistema Geodésico Brasileiro.

ABSTRACT. In this work, the first results, obtained at IBGE, of the TRANSIT System tracking observations reduction, using the multi-station method, in a short-arc model, are presented. For this reduction, programs of GEODOP V System are being used, implanted by the author into the IBGE computer during the 1986 year, from the receipt of the IBM version available at Canadian Department of Energy, Mines and Resources, where the original system was developed. From comparisons with classical surveying methods (triangulation, geometric and barometric levelling), a starting evaluation of the method's accuracy is done. Being based on the obtained results, its use's view in the Brazilian Geodetic System's establishment are presented.

INTRODUÇÃO

O IBGE, no cumprimento de sua missão institucional de implantação e manutenção do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), vem desde 1973 utilizando a técnica de posicionamento geodésico por satélites do Sistema TRANSIT.

Inicialmente, esta técnica foi utilizada nos levantamentos efetuados na região amazônica, por representar o único método capaz de penetração naquela área, sendo vastamente empregado, portanto, para expansão da rede planimétrica do SGB, além de servir a trabalhos de apoio suplementar na mesma região (1).

Posteriormente, sua utilização foi expandida para outras regiões do País, especificamente sobre estações constituintes das redes planimétrica e altimétrica, a fim de propiciar observações que subsidiassem os Projetos de Determinação do Mapa Geoidal do Brasil e dos Parâmetros de Transformação entre os Sistemas Geodésicos adotados como referência em geodésia a satélite - NWL-9D (posteriormente NSWC-9Z-2), asso-

ciado às efemérides precisas, e NWL-10D, associado às efemérides operacionais - e o SAD-69 (1).

Em grande parte dos casos, o método utilizado foi o de posicionamento isolado, salvo em algumas campanhas nas quais procuraram-se observar, a partir de duas ou mais estações, passagens comuns de satélites. As razões de emprego maciço do primeiro método residiam, sobretudo, no fato de o IBGE utilizar, inicialmente, o rastreador MAGNAVOX AN-PRR/14-GEOCEIVER, em conjunto com o sistema de processamento das observações correspondentes, denominado DOP-PLR, que só efetua cálculos de posição isolada. Além disto, a qualidade dos resultados obtidos atendiam às necessidades da ocasião, ainda mais considerando que todos os processamentos com aquele sistema DOPPLR eram efetuados com efemérides precisas, característica do equipamento GEOCEIVER.

A partir de 1977, com a aquisição de rastreadores JMR-1, juntamente com o sistema

de processamento SP-2, da própria JMR Instruments Inc., passamos a dispor de um "software" que possui um módulo (SP2T) para processamento de "Translação"(5). Este fato, aliado aos resultados conseguidos pela comunidade geodésica internacional no emprego desta técnica de posicionamento relativo, evidenciou a necessidade de utilizarmos esta nova metodologia. Desta forma, a partir de 1980, foram realizadas observações sobre a rede planimétrica do SGB, objetivando constatar a eficiência do método, além de testar e validar o programa SP2T. Os resultados obtidos, entretanto, não apresentaram, de forma sistemática, uma qualidade superior àqueles obtidos pelo processamento das mesmas observações por posição isolada. Identificamos dentre as razões para esta ocorrência o fato de aquele sistema SP-2 pertencer a uma das primeiras gerações dos "software" para processamento de informações de rastreamento de satélites, apresentando, por conseguinte, um modelo matemático elementar, sem, por exemplo, modelar a relaxação das órbitas dos satélites.

Diante dos resultados acima expostos, a então Superintendência de Geodésia iniciou uma pesquisa para aquisição de um sistema de processamento mais sofisticado, concluindo-se que o sistema GEODOP, desenvolvido no Canadá por Jan Kouba, preenchia os requisitos necessários a um eficaz tratamento de observações simultâneas visando ao posicionamento relativo de estações.

A partir de outubro de 1983, então, após a obtenção de algumas versões "GEODOP III" daquele sistema, realizamos alguns ensaios de implantação, com conversão de código CDC para IBM, dentre outras atividades. Os resultados atingidos, entretanto, não foram satisfatórios, pois constatou-se que as versões recebidas não eram as originais. Por outro lado, a versão "GEODOP V", para o sistema IBM, recebida em 1986 diretamente do Canadian Department of Energy, Mines and Resources, onde o sistema original foi desenvolvido, e implantada no parque computacional do IBGE, dotou o atual Departamento de Geodésia das condições necessárias à realização dos testes descritos neste trabalho.

POSICIONAMENTO RELATIVO COM O SISTEMA TRANSIT

A origem da denominação translocação para o uso de observações de satélites tomadas simultaneamente de diferentes estações para a determinação de posições relativas é comentada por Wells (26). Inicialmente, este conceito foi aplicado para posicionamento bidimensional relativo entre duas estações, tendo sido estendido, posteriormente, para o caso tridimensional, ainda com duas estações, e, finalmente, proposto por Jan Kouba, para o caso de várias estações (multiestação) Wells (26).

Hoar (14) por sua vez, cita a seguinte terminologia para os vários métodos de posicionamento relativo Doppler, recomendada pelo "Workshop" sobre Redução e Análise de Dados Doppler ocorrida no Primeiro Simpósio Geodésico Internacional sobre Posicionamento Doppler por Satélites:

. arcos curtos - refere-se a métodos nos quais são dados seis graus de liberdade às efemérides;

. arcos semi-curtos - refere-se a métodos nos quais são dados de um a cinco graus de liberdade às efemérides;

. translocação rigorosa - refere-se a métodos nos quais somente as contagens correspondentes a posições dos satélites simultaneamente, rastreadas pelas estações envolvidas são usadas na redução de dados;

. translocação - refere-se a métodos nos quais receptores são operados simultaneamente, embora as posições dos satélites possam não ser idênticas.

Hoar (14) conclui, ainda, que, pelo exposto acima, o termo translocação engloba todas as técnicas de posicionamento relativo. Entretanto, o termo mais comumente encontrado na literatura para o caso de posicionamento relativo tridimensional de duas ou mais estações é o de Multiestação, como podemos verificar em Schenke (23), Boal & Morris (3) e Angus-Leppan & Sloane (1) sendo aquele primeiro termo usado no caso de posicionamento relativo sem relaxação de órbita (Brunell, Malla, Fejes & Michaly, (09) e FGCC, 1984).

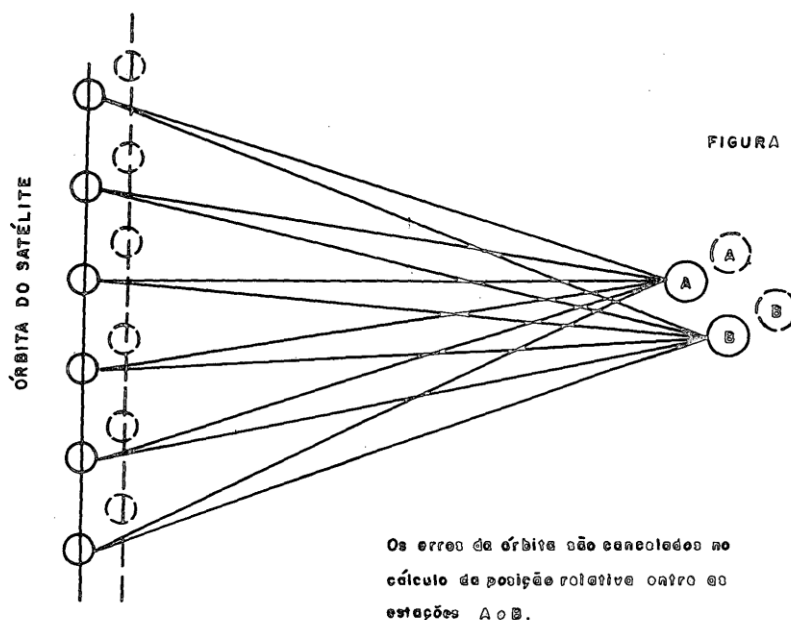
No posicionamento geodésico por satélites, podemos classificar as fontes de erro como

internas ou externas ao sistema do receptor. Os erros externos se classificam em:

- . erros de órbita;
- . erros resultantes da refração troposférica e ionosférica;
- . erros devidos a interferências físicas (obstáculos a radiotransmissões ou objetos físicos que refletem ou reinradiam ondas eletromagnéticas;
- . erros devidos a interferências eletromagnéticas (qualquer emissão de ondas eletromagnéticas na banda dos sinais dos satélites) (08).

O princípio do método de posicionamento

relativo baseia-se no fato de que o efeito causado pelos dois primeiros erros acima são cancelados, ou minimizados, quando observam-se passagens comuns de satélites Wells (26). Destes dois erros, a preocupação maior deve recair no primeiro, uma vez que a maioria dos "software" existentes atualmente para processamento de observações advindas do rastreo de satélites do Sistema TRANSIT modela a refração troposférica e ionosférica, restando apenas o efeito residual das correções. Hoar (14) inclusive, comenta apenas o cancelamento do erro da órbita dos satélites quando do emprego do método. A figura 1 representa, esquematicamente, este conceito.



Algumas considerações devem ser tecidas a respeito da geometria e separação das estações envolvidas no posicionamento. Considerando o caso mais simples de duas estações, quanto maior a distância entre elas, menos eficiente se dá o cancelamento dos erros sistemáticos anteriormente descritos, sendo que esta relação varia com a geometria das estações, Wells (26), uma vez que as órbitas dos satélites do Sistema TRANSIT são polares.

Segundo Brunell (8), para o caso de uma disposição (N-S), à medida que a distância entre as estações aumenta, menos dados comuns da mesma passagem são observados, até o ponto extremo de cada estação rastrear esta passagem em períodos de tempo completamente distintos, sem nenhum dado em comum. Neste caso, assumindo que não houve injeção de novas efemerides naquele intervalo, os erros orbitais ainda devem permanecer os mesmos. Entretanto, os efei-

tos residuais da refração podem mudar com o aumento da distância, considerando ainda que este efeito nos dados comuns, observados entre as duas estações, apresentam direções opostas.

Quanto à geometria (E-0), **Brunell** (08) comenta que o problema muda de aspecto, pois neste caso, com o aumento da distância, a alteração recai no ângulo de elevação do satélite para cada estação. Nos casos extremos, uma passagem pode não ser aproveitável para uma das estações, apresentando um ângulo de elevação muito pequeno ou ocorrendo abaixo do plano do horizonte. Além disso, **Hoar** (14) acrescenta que se a passagem do satélite ocorre entre as estações, os efeitos do erro da órbita apresentarão direções opostas para cada estação, ocasionando uma impossibilidade de aproveitamento deste tipo de passagem no processamento. **Brunell** (08) também comenta este problema relacionado as passagens intermediárias, estendendo o conceito de não cancelamento aos efeitos residuais da refração. **Fortes** (13) também concluiu que a inclusão deste tipo de passagem no processamento é inconveniente, baseando-se, entretanto, no balanceamento (E-0) necessário a uma geometria favorável a cada estação. Para as passagens de um mesmo

lado das estações, **Wells** (26) comenta que para os erros perpendiculares à órbita, a parcela do erro que deixa de ser cancelada corresponde, no pior caso e para uma distância de 2000km, a apenas 20%. Para erros ao longo da órbita, **Wells** (26) ressalta que o cancelamento total ocorre para distâncias de até 4000 km, considerando qualquer geometria.

Pelo exposto acima, chega-se à conclusão de que o espaçamento entre as estações torna-se um problema crítico principalmente para a geometria (E-0), uma vez que:

1 - No caso (N-S), com o aumento da distância, apenas o efeito residual da refração, que é um efeito de segunda ordem, deixa de ser cancelado. Além disto, os dados comuns tendem a diminuir, o que não chega a representar um problema, já que estes só são necessários em posicionamentos relativos refinados com distâncias curtas (100 km) **Kouba** (16).

2 - No caso (E-0), por outro lado, o aumento da distância incrementa o número de passagens intermediárias não aproveitáveis. A figura 2, a seguir, apresentada por **Hoar** (14), procura mostrar esta relação.

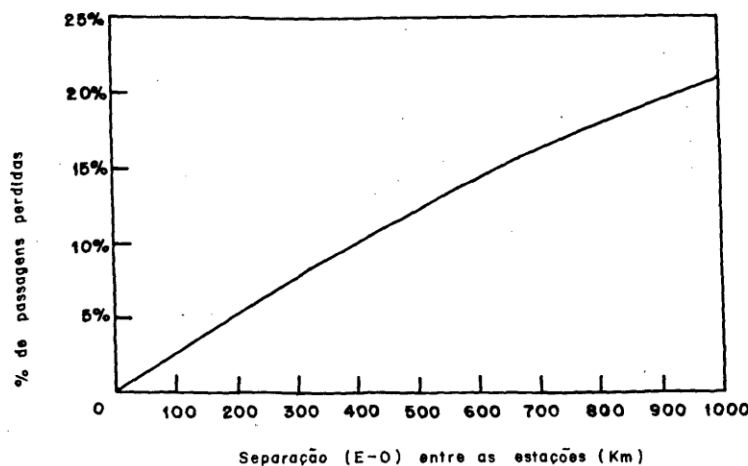


FIGURA 2

Conclui-se, desta forma, que a consequência principal do aumento da distância neste caso é o aumento do tempo de observação necessário ao alcance do número mínimo de passagens simultâneas requerido, até a situação em que já não se consiga a simultaneidade.

Quanto aos valores máximos para os espaçamentos, Hoar (14) cita, para a geometria (N-S), algo em torno de 1000km. Para o caso (E-O), menciona-se que o valor se situa entre 500 e 1000 km. Na nossa opinião, entretanto, o valor máximo para ambas as geometrias pode ser superior aos acima citados, conforme constatado por Fortes (13) que relata a possibilidade de conexão da Ilha de Trindade ao continente brasileiro,

numa solução por multiestação, correspondendo a uma distância em torno de 1.200 km na direção (E-O). Wells (26), por sua vez, apresenta resultados de testes realizados com distâncias superiores a 1000 km.

A questão que deve ser analisada no tratamento de informações obtidas por estações muito afastadas é a precisão. Considerando-se o caso de determinação de uma estação a partir de uma outra considerada fixa (base), com o aumento da distância, a precisão absoluta da posição a determinar se deteriora, uma vez que a precisão relativa não acompanha esta deterioração Vanicek (25).

A figura 3, a seguir, representa esta situação:

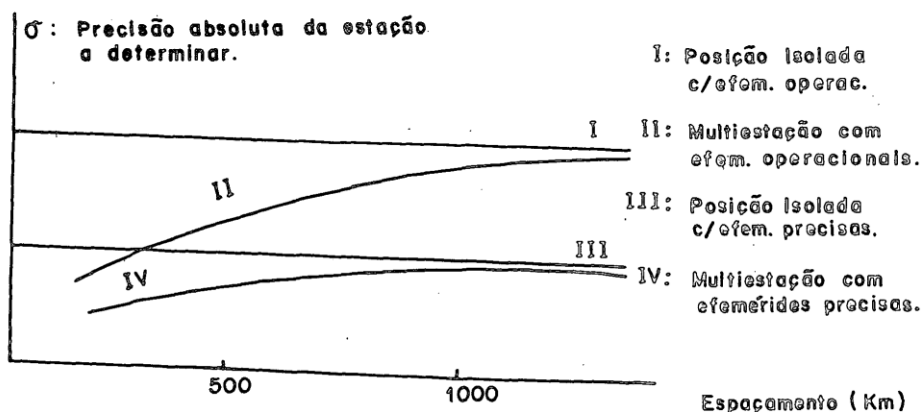


FIGURA 3

Segundo alguns daqueles resultados apresentados por Wells (26), a proximidade entre as curvas II e IV, respectivamente, as retas I e III, na figura acima, parecem ocorrer para distâncias próximas a 1000 km. Desta forma, para distâncias próximas a este valor, a determinação de uma estação por posicionamento relativo não representa uma melhoria sensível ao resultado que seria obtido por posição isolada. In-

clusive, FGCC (1984) recomenda como afastamento máximo para as estações o valor de 500 km - acreditamos ser esta a abscissa do gráfico da fig. 3 a partir da qual acontece um aumento significativo da discrepância entre a curva II e a reta III (FGCC não recomenda, nas especificações relacionadas naquele trabalho, o emprego de efemerides operacionais no processamento de posições isoladas).

Analisando, ainda, a fig.3, **Jenkins & Le-roy** (15) já mencionavam a equivalência dos resultados relativos à curva II e à reta III, enquanto a proximidade entre as curvas II e IV para distâncias pequenas corresponde à representação gráfica do comentário de **Schenke** (23) a respeito da não melhoria dos resultados de multiestação quando se utilizam, no processamento, efemérides precisas (A rede geodésica utilizada naqueles testes não continha distâncias superiores a 150km).

Tendo em vista agora o problema de distâncias muito curtas, apesar de os erros de refração e órbita estarem correlacionados para as estações envolvidas, o mesmo não

pode ser dito a respeito dos erros dos receptores. Em outras palavras, os erros internos aos sistemas dos receptores continuarão presentes e, uma vez não serem correlacionados entre si, a precisão relativa oriunda deste posicionamento se degrada à medida que a distância diminui. **Wells** (26) faz referências a este fato, enquanto **FGCC** (1984) especifica distâncias mínimas entre as estações em função da classe do levantamento e do procedimento de campo adotado. Considerando-se a observação de passagens balanceadas nos quatro quadrantes, medindo-se convenientemente as condições atmosféricas necessárias à correção da refração troposférica, as distâncias mínimas apresentadas por **FGCC** (12) são:

Levantamentos Geodésicos *

	DE ALTA PRECISÃO	DE PRECISÃO ÁREAS MAIS DESENVOLVIDAS	DE PRECISÃO ÁREAS MENOS DESENVOLVIDAS	PARA FINS TOPOGRÁFICOS
Precisão linear	1:100.000	1:50.000	1:20.000	1:5.000
Distância Mínima, respectivamente, para no mínimo 40, 30 e 15 passagens observadas para cada es- tação (Km)	40 70 100	20 35 50	8 14 20	2 4 5

* Procurou-se adotar aqui a terminologia para Classificação dos Levantamentos Geodésicos recomendada pelo IBGE (1983).

O SISTEMA GEODOP

O sistema GEODOP é composto por um programa principal e uma série de programas de suporte. Existem, basicamente, duas versões operacionais para o programa principal: GEODOP III e GEODOP V. O desenvolvimento da versão do programa principal denominada GEODOP III foi concluído em outubro de 1974, por **Jan Kouba**, do **Canadian Department of Energy, Mines and Resources**, conforme mencionado na Introdução enquanto os programas de suporte foram desenvolvidos durante os anos de 1973 e 1974 por **Peter Launikanis**, também daquele órgão canadense **Kouba & Boal**, (18). Informações detalhadas sobre esta versão podem ser obtidas em **Kouba & Boal** (18) e **Launikanis** (19 e 20).

A versão V foi obtida a partir da versão

III e do desenvolvimento do programa GEODOP de redução geodinâmica doppler, apresentando vários refinamentos, tais como:

- . modelagem dos erros sistemáticos de até 6 parâmetros orbitais Keplerianos;
- . modelagem de até 4 erros sistemáticos na estação (frequência, retardo, refração troposférica e deriva de frequência);
- . refração ionosférica de ordem mais elevada;
- . aperfeiçoamento da modelagem da refração troposférica;
- . correção relativística;
- . ponderação de dados doppler incluindo correlação entre contagens relativas a observações simultâneas;
- . ponderação de erros sistemáticos incluindo correlação entre estações (16).

Dentre os programas de suporte, os abaixo

relacionados são os mais importantes: -
 - PREDOP: preprocessor de dados relativos aos receptores CMA722, CMA751, JMR1 e MX1502;
 - PREPAR: preprocessor de dados relativos aos receptores GEOCEIVER e TRANETI;
 - NWLFIT: processador das efemérides precisos do DMA;
 - MERGE: realizador da junção dos arquivos de dados gerados pelo PREDOP (ou PREPAR) para entrada no programa GEODOP, com opção de multiestação; ou da junção do arquivo de dados com o de efemérides precisas gerado pelo NWLFIT.

O sistema originariamente foi desenvolvido para o computador CDC 6400, tendo sido convertido para código FORTRAN compatível com IBM por Archinal (02). Informações complementares sobre a versão V podem ser encontradas em Kouba (16 e 17).

Na utilização do sistema GEODOP V, uma vez que o modelo matemático é bem sofisticado, há necessidade de fornecermos valores iniciais a vários erros sistemáticos, relacionados a cada estação, de forma que o processamento de uma figura de multiestação é realizado por etapas. Inicialmente, cada estação da figura é processada isoladamente, por iterações, de forma que os valores iniciais daqueles erros sistemáticos são determinados na iteração anterior, até que seja obtido um desvio padrão de unidade de peso a posteriori (σ_0^2) entre 0,9 e 1,1. Posteriormente, é realizada a junção dos arquivos de dados das estações, pelo programa MERGE, e então o arquivo resultante submetido ao programa GEODOP V, com opção de multiestação.

TESTES

Após a implantação da versão V no sistema computacional IBM 3081 do IBGE, deu-se início à realização dos testes. Estes testes correspondem a observações realizadas sobre estações pertencentes à rede planimétrica do SGB, de forma a ser possível efetuar comparações entre os resultados do processamento por multiestação e os da própria rede. Na verdade, o que esta comparação evidencia é o grau de aderência deste tipo de determinação à utilizada na implantação da rede de alta precisão (tringulação e poligonação). Portanto, analisando-se os resultados, podemos concluir a respeito da precisão do método, em função daquele grau de aderência apresen-

tado.

Nos testes, procuraram-se evitar, ao máximo, fontes de ruído que influenciassem a qualidade final dos resultados. Desta forma, evitou-se o uso de parâmetros de transformação entre os sistemas geodésicos correspondentes, através da seguinte metodologia de cálculo. Em cada figura - teste, escolheu-se uma estação para servir de base, assumindo-se como fixas as respectivas coordenadas referidas ao SAD-69. Após o processamento da figura por multiestação, com todas as estações mantidas livres, obtiveram-se, a partir dos resultados, as diferenças de coordenadas cartesianas ΔX , ΔY e ΔZ , referidas ao sistema de satélite associado às efemérides operacionais (NWL-10D), entre cada estação da figura e a base. Entretanto, podemos assumir que, da forma que estão definidos, o Sistema NWL-10D e o SAD-69 podem ser considerados paralelos. Isto porque Castañeda Filho (10) concluiu que existe uma rotação em torno da normal ao ponto origem do SAD-69 (vértice CHUÁ) de cerca de 2,5" em relação ao Sistema Terrestre Convencional, o que constitui um erro de orientação do datum Sul-Americano. Por outro lado, Boucher & Altamini (04) relacionam as seguintes correções que devem ser aplicadas às coordenadas NSWC-92-2 para compatibilizá-las com o Terrestre Convencional:

	Translação	terciária	(Tz):
5m			
	Rotação	terciária	(W):
-0.8"			
	Fator de escala (S):		-0.6 ppm

Estas correções devem ser consideradas idênticas quando se trata do Sistema NWL-10D, por não haver motivo para considerar os dois Sistemas de referência adotados em geodésia por satélite não coincidentes Vanicek (25). Inclusive, confirmamos este fato através de um cálculo dos mesmos tipos de parâmetros de transformação entre os dois Sistemas, resultando valores desprezíveis face a precisão das coordenadas determinadas com o uso das efemérides operacionais. Então, apesar de os Sistemas NWL-10D e SAD-69 não serem paralelos ao Terrestre Convencional, apresentam rotação terciária de mesmo valor (-0.8"), podendo, portanto, ser considerados paralelos entre si (o valor de 2,5" encontrado por Castañeda Filho (10), decomposto nos três eixos coordenados, ori-

gina um componente terciário de $-0,8''$).

Portanto, pelo exposto acima, os valores ΔX , ΔY e ΔZ calculados para o NWL-10D podem ser considerados como referenciados ao SAD-69, sendo que a correção daquelas diferenças do fator de escala não se faz necessária, por ser desprezível face à precisão de 10 ppm esperada para elas.

A seguir, aplicamos às coordenadas cartesianas da base, referidas ao SAD-69, as diferenças ΔX , ΔY e ΔZ para obtenção das coordenadas das estações restantes da figura. Por fim, transformamos as coordenadas cartesianas de cada estação em geodésicas e comparamos os resultados com os da rede planimétrica. O esquema, a seguir, ilustra este procedimento:

$$\text{Coordenadas Geodésicas: } \begin{bmatrix} \phi \\ \lambda \\ h \end{bmatrix}$$

$$\text{Coordenadas Cartesianas: } \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

Subscrito b : estação-base

Subscrito i : estação a determinar

N : Ondulação geoidal,

H : Altitude ortométrica

Então,

$$\begin{bmatrix} \phi \\ \lambda \\ h \end{bmatrix}_b \xrightarrow{\text{SAD-69}} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_b \xrightarrow{\text{SAD-69}} \begin{bmatrix} \phi \\ \lambda \\ h \end{bmatrix}_i, \quad h_b = N_b + H_b$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_i \xrightarrow{\text{NWL-10D}} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_b \xrightarrow{\text{NWL-10D}} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_i \xrightarrow{\text{NWL-10D}} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_i \xrightarrow{\text{SAD-69}}$$

(Resultados do processamento da figura por multiestação)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_i \xrightarrow{\text{SAD-69}} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_b \xrightarrow{\text{SAD-69}} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_i \xrightarrow{\text{SAD-69}}$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_i \xrightarrow{\text{SAD-69}} \begin{bmatrix} \phi \\ \lambda \\ h \end{bmatrix}_i \xrightarrow{\text{SAD-69}} H_i = h_i - N_i$$

No procedimento acima descrito, a altitude elipsoidal da base (h_b) foi obtida adicionando-se, à altitude ortométrica (H_b), a ondulação geoidal (N_b) interpolada do Mapa Geoidal do Brasil IBGE (07). Por sua vez, obtivemos a altitude ortométrica da estação i (H_i) subtraindo-se a ondulação geoidal (N_i) da altitude elipsoidal (h_i). Esta sistemática de cálculo das altitudes demonstra a seguinte vantagem do método de multiestação sobre o de posicionamento isolado: enquanto, neste último, a precisão da determinação da altitude ortométrica é diretamente influenciada pela precisão da ondulação geoidal, no primeiro a influência se restringe a precisão da diferença entre a ondulação da estação e a da base. Desta forma, no caso de mapas geoidais com erros absolutos elevados, mas com boa precisão relativa - caso da versão atualmente adotada - a qualidade das altitudes ortométricas determinadas não estarão prejudicadas por aqueles erros absolutos.

Mostramos, a seguir, os resultados dos testes efetuados. Além destes, relacionamos os resultados do projeto de apoio suplementar definido no âmbito do Convênio IBGE/Governos do Acre, Amazonas e Rondônia, onde se utilizou a técnica de multiestação para a determinação das coordenadas planimétricas dos pontos de apoio HV, sendo o componente altimétrico dos mesmos pontos determinado por nivelamento geométrico ou barométrico. Desta forma, as diferenças entre as altitudes dos pontos HV determinados por multiestação e as determinadas por aqueles processos de nivelamento também fornecem uma estimativa da precisão altimétrica quando do emprego da técnica.

RESULTADOS**NOTAÇÃO**

Subscrito 1: associado aos resultados adotados como padrão

Subscrito 2: associado aos resultados da multiestação

$\Delta s = s_2 - s_1$, onde s é o comprimento da linha geodésica definida pela base e a estação determinada;

$e_s = \Delta s / s_1$, diferença de distância relativa;

$\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$, onde α é o azimute de linha geodésica definida pela base e a estação determinada;

$\Delta H = H_2 - H_1$, onde H é a altitude ortométrica da estação determinada.

VT: Vértice de Triangulação

RN: Referência de Nível

B: Nivelamento Barométrico

G: Nivelamento Geométrico

TESTES EFETUADOS SOBRE A REDE PLANIMETRICA DO SGB

Nº DO TESTE	ESTAÇÃO	BASE	s_1 (m)	Nº DE PASSAGENS APROVEITADAS	Δs (m)	e_s	$\Delta\alpha$ (")	ΔH (m)
1	VT MIRANTE II (90984)	VT MATOS COSTA (90949)	173.795,406	34	1,350	1/128.700	1,5	-0,51
2	VT MIRANTE II (90984)	VT MATOS COSTA (90949)	173.795,406	23	1,010	1/96.000	- 2,6	-1,48
3	VT SPITZKOPF (90980)	VT BASE AÉREA (90983)	91.687,766	21	- 0,056	1/1.637.000	4,9	-0,92

O IBGE (06) especifica para a rede planimétrica de alta precisão o valor de 1/100.000 para o erro padrão máximo relativo entre quaisquer duas estações após o ajustamento. Entretanto, para realizarmos uma verificação completa da qualidade do posicionamento por multiestação, temos que comparar os resultados também em orientação e altimetria. Para a orientação, IBGE (06) especifica o valor de 0,3" para o erro padrão máximo do azimute em uma direção de controle (Azimute de Laplace). Este fato nos leva a esperar, para a precisão de orientação de qualquer lado da rede após o ajustamento, o valor de 2". Ou, de outra forma, uma precisão planimétrica de 1/100.000 equivale, em orientação, a 0,00001 radianos que, aproximadamente, é

igual a 2". No caso da altimetria, IBGE (06) especifica 0,5m/estação para o valor máximo para o erro de fechamento em pontos de altitude conhecida. Levando-se em conta que o comprimento médio dos lados da rede é de 20 km, podemos traduzir esta especificação como 0,5m/20km.

Analisando-se, então, o quadro anterior, percebe-se que o resultado do Teste 1 mostra, tanto em escala quanto em orientação e altimetria, uma aderência à rede planimétrica de alta precisão melhor que a própria especificação da rede. Este fato indica que a técnica de multiestação forneceu, neste caso, uma precisão compatível com a da rede.

No Teste 2, repetimos a figura do Teste 1, reduzindo-se, propositadamente, o número de passagens aproveitadas. Verificamos que os resultados se deterioraram, sendo que apenas em altimetria a precisão da rede planimétrica de alta precisão é atendida. Em escala e orientação, são satisfeitas as especificações para redes de precisão em áreas mais desenvolvidas (respectivamente, 1/50.000 e 4").

No caso do Teste 3, apesar de o resultado em escala ter sido excelente, em orientação evidencia-se o atendimento às mesmas especificações que os resultados do Teste 2 satisfizeram. Isto se justifica, naturalmente, pelas 21 passagens aproveitadas no processamento.

PROJETO DE APOIO SUPLEMENTAR DO CONVÊNIO IBGE/AC-AM-RO

Neste caso, foi utilizado o mesmo procedimento descrito no início deste capítulo para cálculo das coordenadas das estações determinadas por multiestação, sendo que a latitude e longitude geodésicas da base, referidas ao SAD-69, foram calculadas por posicionamento isolado, utilizando-se efermerides precisas. A sua altitude é a fornecida pelo nivelamento geométrico.

A campanha de observações se deu em três períodos distintos, cada um deles correspondendo a uma figura de multiestação, sendo adotada a mesma estação-base para as três figuras.

FIGURA	ESTAÇÃO	d (m) ²	Nº DE PASSAGENS APROVEITADAS	H ₁ (m)	TIPO DE NIVELAMENTO	H ₂ (m)	AH (m)
1	90988	30610,066	85	124,4	B	125,51	1,1
	90989	82605,386	84	123,2	B	125,31	2,1
	90994	20133,089	68	110,4	B	111,33	0,9
	90995	29197,745	84	125,8	B	126,27	0,5
2	90997	43827,923	60	140,0	B	141,00	1,0
	90998	41961,686	52	115,1	B	112,63	0,3
	90999	7372,531	66	156,8264	G	156,90	0,07
	91001	60170,638	78	145,1188	G	146,16	1,04
3	91002	14165,673	26	144,96	G (RAMAL)	145,59	0,63

Base: Estação 90078

Analisando-se estes resultados, verificamos que a menor diferença entre a altitude dada pelo nivelamento e a fornecida por multiestação ocorre para a estação mais próxima da base (7 km), o que confirma a eficiência do cancelamento dos erros das órbitas dos satélites e dos efeitos de refração para distâncias curtas. Para a outra estação possuidora de nivelamento geométrico, a diferença encontrada atende às especificações da rede de nivelamento trigonométrico (0,5m/20km).

Ressalte-se, ainda, que a despeito de terem sido efetuadas comparações com valores de altitude fornecidos por nivelamento barométrico, cuja precisão varia de 1 a 2 metros, as diferenças encontradas atendem sempre aquelas especificações acima expli-

citadas. Apenas a diferença na estação 91002 as ultrapassou, em virtude, certamente, do reduzido número de passagens aproveitadas no processamento. Por outro lado, o quadro nos mostra que, a partir de cerca de 50 passagens aproveitadas, o acréscimo de novas passagens ao processamento não introduz melhoria nos resultados.

PERSPECTIVAS DE UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE MULTIESTAÇÃO

Estabelecimento da Rede Planimétrica de Alta Precisão do SGB

Em função dos resultados mostrados no quadro de Testes Efetuados sobre a Rede Planimétrica do SGB, podemos verificar que este método se adequa às especificações da rede planimétrica de alta precisão. A princípio, conforme foi exposto em Posicionamento Relativo com o Sistema TRANSIT, devemos observar uma distância mínima de 40 km entre as estações. Como as especificações pressupõem espaçamentos da ordem de 15 a 25km, teríamos que adensar o levantamento de alguma forma, como, por exemplo, intercalando estações de figuras diferentes de multiestação, como foi sugerido por Mello (21). De qualquer forma, estudos terão que ser realizados a fim de propiciar soluções para o problema, inclusive levando em conta aspectos de custos para viabilização do método para este tipo de aplicação. Não podemos esquecer, inclusive, que uma das suas vantagens é a não necessidade de intervisibilidade entre estações adjacentes estabelecidas. Entretanto, para reocupação dos vértices por usuários que não o utilizariam, esta condição continuaria a ser necessária. Portanto, este aspecto carece de estudo minucioso, uma vez que na característica da rede está inserida esta propiciação a futuras reocupações.

Projeto de Translocação na Amazônia

Este Projeto consta do Programa de Trabalho da Diretoria de Geociências do IBGE para 1987, e visa ao estabelecimento de uma rede fundamental na região amazônica que sirva de arcabouço geodésico para trabalhos futuros, tais como o estabelecimento de coordenadas de marcos de fronteira e apoio suplementar. Além disto, aumentará a rigidez da rede de alta precisão por ocasião da realização do Projeto de Reajustamento da Rede Planimétrica-REPLAN, do Departamento de Geodésia do IBGE, que é citado por Silva & Fortes (24).

Esta rede será constituída por 15 estações-satélite, sendo 4 vértices de triangulação, coincidindo com a capacidade máxima de processamento da versão do sistema GEODOP V implantada no IBGE. As 11 estações-satélite restantes serão esta-

belecidas em aeródromos, objetivando possibilitar reocupações posteriores.

O espaçamento entre as estações será superior a 250 km, de forma a estarem garantidas as especificações de alta precisão.

A figura 4 mostra o esquema da rede.

Projeto de Apoio à DHN

Este projeto, constante também do Programa de Trabalho da Diretoria de Geociências do IBGE para 1987, visa à conexão geodésica das Ilhas de Trindade e Fernando de Noronha à rede planimétrica do SGB.

A figura 5 representa esquematicamente este projeto, onde serão ocupados, para determinação das coordenadas de cada uma das ilhas, dois vértices de triangulação da rede. Destas duas conexões, a que se apresenta mais crítica é a da Ilha de Trindade, em função do afastamento do continente ($\approx 1200\text{km}$), segundo uma geometria (E-0). Entretanto, como foi comentado em Posicionamento Relativo com o Sistema TRANSIT, Fortes (13) constatou a possibilidade desta conexão e, apesar do valor elevado do afastamento, o gráfico constante da figura 3 indica que de qualquer forma é vantagem optar-se pelo método de multiestação ao invés de posicionamento isolado.

CONCLUSÕES

O presente trabalho não visa, em absoluto, a esgotar o assunto em questão. O seu objetivo constitui, basicamente, na apresentação de alguns resultados obtidos no IBGE por multiestação com arcos curtos, utilizando-se o sistema GEODOP V, juntamente com uma análise à luz da teoria conhecida a respeito.

Resumindo-se as conclusões alcançadas, podemos citar:

(1) Uma vez satisfeita certas condições, pode-se obter precisão compatível com a rede planimétrica de alta precisão do SGB. Tais condições consistem em:

(1a) Aproveitamento, em cada estação, componente da figura de multiestação, de, no mínimo, 40 passagens, balanceadas na dire-

PROJETO DE TRANSLOCAÇÃO NA AMAZÔNIA

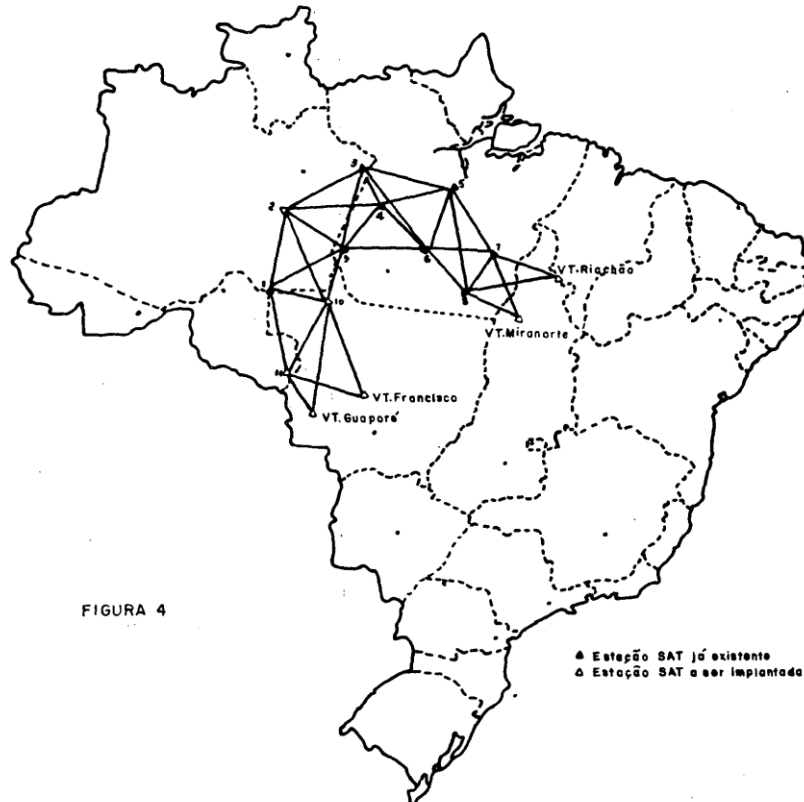


FIGURA 4

● Estação SAT já existente
 △ Estação SAT a ser implantada

ção Leste-Oeste, simultâneas a pelo menos uma outra estação da figura. Este aproveitamento é determinado pelo ângulo mínimo de elevação que as passagens devem apresentar no instante de máxima aproximação, pelo número mínimo de contagens Doppler e de parâmetros orbitais efêmeros que as passagens devem apresentar. Sugerimos, para o alcance daquelas 40 passagens, que sejam observadas, em campo, pelo menos, 50 passagens que, a priori, atendam a estas especificações;

(1b) Distâncias entre as estações não inferiores a 40 km (na verdade, há necessidade de realizarmos testes com distâncias menores, a fim de confirmarmos este limite proposto por FGCC (1984). Da mesma forma,

devemos realizar outros testes em distâncias superiores a 500 km, com o mesmo objetivo);

(2) Os excelentes resultados altimétricos obtidos nos testes confirmam o cancelamento dos erros absolutos do Mapa Geoidal adotado, conforme comentado anteriormente;

(3) Há necessidade de se realizar estudo sobre custos envolvidos, a fim de se verificar a viabilidade da substituição dos métodos convencionais de implantação da rede planimétrica por esta nova metodologia.

PROJETO DE APOIO À DHN

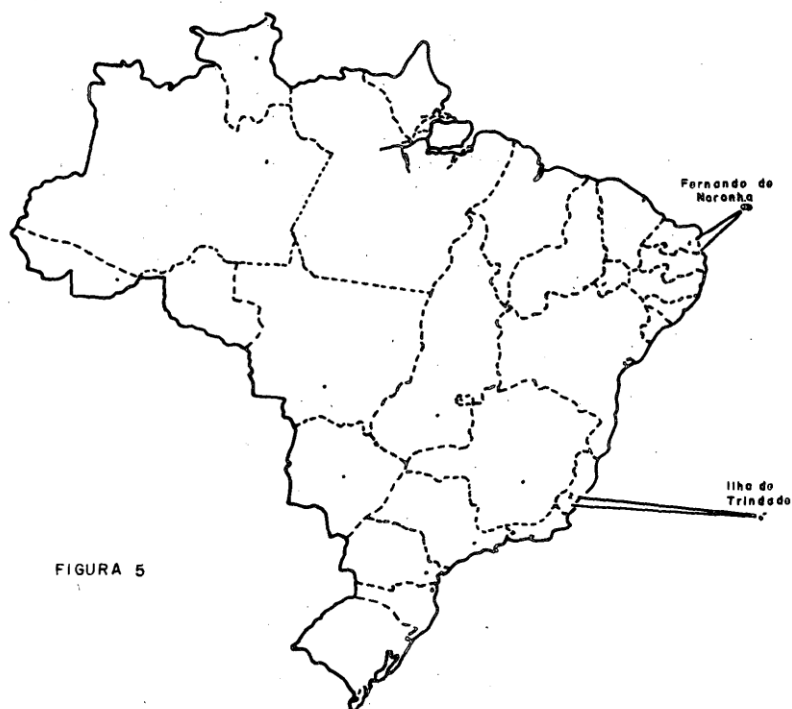


FIGURA 5

REFERÊNCIAS

- 01 - Angus-Leppan, P.V. & Sloane, B. - A Multi-station Doppler Survey for Crustal Motion in Papua, New Guinea. Proceedings of the Third International Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning. Las Cruces, 1982.
- 02 - Archinal, B.A. & Mueller, I.I - A comparison of Geodetic Doppler Satellite Receivers. Proceedings of the Third International Symposium on Satellite Doppler Positioning. Las Cruces, 1982.
- 03 - Boal, J.D. & Morris, R.J. - Evaluation of Transit Data Using a Refined Version of Program GEODOP. Proceedings of the Third International Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning. Las Cruces, 1982.
- 04 - Boucher, C. & Altamini, Z. - Towards an Improved Realization of the BIH Terrestrial Frame. Institut Géographique National, S.G.N.M. Paris, 1986.
- 05 - Brandão Fº, F.A. de A. - Comunicação Pessoal, Rio de Janeiro, 1987.
- 06 - BRASIL. - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Boletim

de Serviço nº 1602, de 01 de agosto de 1983 (Suplemento).

- 07 - _____ - Trabalhos Técnicos da Diretoria de Geodésia e Cartografia, 1985.
- 08 - Bruneel, R.D. - How do Obtain The Best Results From NNSS. JMR Document nº 80026, JMR Instruments, Inc. Chatsworth, 1980.
- 09 - Bruneel, R.D.; Malla, R.; Fejes, I.; Michaly, S. - Recent Satellite Processing Software Improvements at JMR. Proceedings of the Third International Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning. Las Cruces, 1982.
- 10 - Castañeda Fº, R.M. - Ensaio para Definição de Parâmetros de Transformação entre o SAD 69 e o NSWC 9Z2. Tese de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1986.
- 11 - Castañeda Fº, R.M. & Andrade, J.B. de - Transformação NSWC 9Z2 - SAD69 e Mapa Geoidal SAD 69. Trabalho apresentado no XII Congresso Brasileiro de Cartografia, Brasília, 1985.
- 12 - EUA. Federal Geodetic Control Committee(FGCC) - Standards and Specifications for Geodetic Control Networks. Rockville, 1984.
- 13 - Fortes, L.P.S. - Planejamento de Rastreamento de Satélites para Multiposicionamento (Translação). Nota Informativa nº 001/86 do Departamento de Cálculos e Análises da Superintendência de Geodésia da Diretoria de Geodésia e Cartografia, IBGE. Rio de Janeiro, 1986.
- 14 - Hoar, G.J. - Satellite Surveying. Magnavox Advanced Products and Systems Company. Torrance, 1982.
- 15 - Jenkins, R.E & Leroy, C.F. - "Broadcast" versus "Precise" Ephemeris-Apples and Oranges. Hydrographic/Topographic Center, Defense Mapping Agency. Washington, 1979.
- 16 - Kouba, J. GEODOP V - Geodetic Doppler Positioning Programs - (version V). Gravity, Geothermics & Geodynamics Division, Earth Physics Branch, Department of Energy, Mines & Resources. Ottawa, 1983 a.
- 17 - _____ - Users Guide - The GEODOP V Program System. Gravity, Geothermics & Geodynamics Division, Earth Physics Branch, Department of Energy, Mines & Resources. Ottawa, 1983 b.
- 18 - Kouba, J. & Boal, J.D. - Program GEODOP. Manual Series, Surveys and Mapping Branch, Department of Energy, Mines and Resources. Ottawa, 1976.
- 19 - Lawnikanis, P. - Program PREDOP. Manual Series, Surveys and Mapping Branch, Department of Energy, Mines and Resources. Ottawa, 1976 a.
- 20 - _____ - GEODOP Utilities Programs. Manual Series, Surveys and Mapping Branch, Department of Energy, Mines and Resources. Ottawa, 1976b.
- 21 - Mello, M.P. de - Comunicação Pessoal. Rio de Janeiro, 1987.
- 22 - Novaes, J.R.D. & Mello, M.P. de - Geodésia por Satélites no IBGE: Resultados Preliminares das Atividades Desenvolvidas. IBGE, Rio de Janeiro, 1974.
- 23 - Schenke, H. W. - Precision Doppler Satellite Observation in the German Three - dimensional Testnet "Western Harz". Proceedings of the Third International Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning. Las Cruces, 1982.
- 24 - Silva, M.V.D. da & Fortes, L.P.S. - A Experiência do Brasil em Ajustamentos de Re-

des Geodésicas Planimétricas de Grandes Dimensões. Trabalho apresentado no Simpósio de Atualização Geodésica do Instituto Panamericano de Geografia e História. Mendoza, 1986.

25 - Vanicek, P. - Comunicação Pessoal. Rio de Janeiro, 1987.

26 - Wells, D.E. - Concept of Satellite Doppler Positioning using Translocation Techniques. Proceedings of the First International Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning. Las Cruces, 1976.

26 - Wells, D.E. - Concept of Satellite Doppler Positioning using Translocation Techniques. Proceedings of the First International Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning. Las Cruces, 1976.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossos agradecimentos ao Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, pelo repasse da experiência adquirida no processamento do Sistema GEODOP V; ao Engº Ivan Ferreira Çagnin e aos técnicos Kátia Duarte Pereira, Paulo Maurício Guapyassu de Oliveira, Rogério Lucio Branco Ribeiro e Jorge Luiz Rodrigues dos Santos, da Divisão de Pesquisas e Análises do Departamento de Geodésia da Diretoria de Geociências do IBGE, pela dedicação e empenho no aprendizado e execução dos processamentos do Sistema GEODOP V e às funcionárias Otília Maciel da Silva, Norma Santos Figueiredo e Serrana Muniz, pelo esmero na datilografia deste trabalho.