REPROCESSAMENTO DE ESTAÇÕES DOPPLER NO IBGE

René A . Zepeda Godoy
Kátia Duarte Pereira
Jorge Luiz Rodrigues dos Santos
Paulo Maurício Guapyassu de Oliveira

Departamento de Geodésia – DGC – IBGE
Av. Brasil, 15.671 – Parada de Lucas
Rio de Janeiro – RJ – CEP 21.241
Brasil

RESUMO

São apresentadas as atividades relacionadas ao projeto de reprocessamento de estações determinadas através da técnica de posicionamento geodésico por satélites do sistema TRANSIT, conduzido no IBGE. No período de 1988/1990 foram reprocessadas 763 estações visando a homogeneização dos resultados, através da utilização de um mesmo sistema – O GEODOP V, que apresenta um modelo matemático refinado, permitindo, também, o processamento em multiestação e a utilização de efemérides precisas. Ressalta-se a importância deste trabalho principalmente no que diz respeito a região amazônica, onde o Sistema Geodésico Brasileiro é constituído principalmente de estações DOPPLER, permitindo assim, uma melhoria acentuada na precisão das coordenadas destas estações. Destaca-se, também, a aplicação dos novos resultados no projeto de ajustamento global da rede planimétrica de alta precisão do Sistema Geodésico Brasileiro, e daqueles obtidos com efemérides precisas relativos a estações com altitude conhecida no refinamento do Mapa Geoidal do Brasil.

ABSTRACT

The activities related to the project of TRANSIT geodetic positioning techinique results reprocessing, conduct at IBGE, are presented here. During 1988/1990, 763 stations were reprocessed, in order to make the results homogeneous, using the same system – GEODOP V, which comprises a refined mathematical model, multistation processing and precise ephemerides utilization. The importance of this work relates to the Amazonia Region, where the Brazilian Geodetic System is mainly composed by DOPPLER stations, what permits a great improvement of coordinates precision. The aplication of the new results in the Brazilian Geodetic System high precision planimetric network global adjustment project and of those obtained whith precise ephemerides on height available stations in the Brazilian Geoidal Map refinement, is outstanding, too.

1. INTRODUÇÃO

O IBGE vem desde 1973 utilizando a técnica de posicionamento geodésico por satélites do sistema TRANSIT. Esta técnica foi muito utilizada nos levantamentos efetuados na Região Amazônica, visto ser esta de difícil penetração pelos métodos convencionais. O seu emprego tornou possível a expansão da rede planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) na região [Novaes & Mello, 1974]. Posteriormente seu emprego foi estendido para outras regiões, de modo a fornecer subsídios para 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. Na maior parte das observações, o

método empregado foi o de posicionamento isolado de estação.

Inicialmente eram utilizados aparelhos rastreadores MAGNAVOX AN-PRR/14 – GEOCEIVER, o processamento das observações correspondentes era efetuado através do programa DOPPLER, que utilizava efemérides precisas para a redução de dados.

A partir de 1977, com a aquisição de rastreadores JMR-1, e do sistema de processamento SP-2 o emprego da técnica de rastreamento foi agilizado. Entretanto, o programa empregado para o processamento das observações, por pertencer a uma das primeiras gerações dos software para processamento de informações de rastreio de satélites, apresentava um modelo matemático elementar, não considerando, por exemplo, fatores como relaxação de órbitas. Concluiu-se, então, pela necessidade de um programa mais sofisticado. O programa GEODOP, desenvolvido por Jan Kouba, no Canadá, apresentou os requisitos necessários para um tratamento eficaz das observações de satélites.

A versão implantada no parque computacional do IBGE é a denominada GEODOP V, e foi recebida diretamente do CANADIAN DEPARTMENT OF ENERGY, MINES AND RESOURCES. Esta versão sofreu pequenas alterações no tocante a identificação dos satélites, devido a mudanças ocorridas na constelação, além de ter sido adaptada para uso em computadores de pequeno porte (PC). Com tais modificações, esta versão vem sendo empregada até a presente data na redução das observações de satélites do sistema TRANSIT.

O reprocessamento das estações determinadas com JMR fez-se necessário uma vez que o programa GEODOP V considera elementos que anteriormente eram desprezados pelo programa anterior (SP-2), desta forma, as coordenadas obtidas com o emprego do programa GEODOP V apresentam, teoricamente, um grau de confiabilidade maior, devido ao modelo matemático empregado.

2. BANCO DE DADOS

Apesar do rastreamento de satélites para fins geodésicos, através da medição do efeito Doppler com aparelhos JMR, ter sido iniciado em 1977, só a partir do ano de 1984 alertou-se para a necessidade de preservação destes dados brutos, já que os mesmos são armazenados, quando do rastreio de uma estação JMR, em fitas cassetes que, com o passar do tempo, sofrem deterioração. Para tanto foi criado um sistema para cópia, armazenamento e gerenciamento desses dados em fitas magnéticas 9-trilhas. Quando da implantação deste sistema, em 1984, os dados relativos às estações rastreadas anteriormente (1977 a 1983) foram inseridos no contexto sempre que as condições físicas das fitas cassete permitiram a sua leitura.

A partir de então, os dados obtidos através do rastreio de estações de satélites passaram a constituir dois arquivos:

<u>Arquivo de dados de campo</u>: neste arquivo estão relacionadas todas as fitas magnéticas 9-trilhas utilizadas para armazenamento dos dados originais das estações rastreadas, permitindo sua recuperação quando necessário.

<u>Arquivo de resultados</u>: este arquivo contém todos os resultados obtidos através de rastreamento de satélites. É constituído por 2293 resultados, sendo que deste total, 1150 resultam de reocupação de estações, o que faz com que existam atualmente 1143 estações de rastreamento implantadas.

3. 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 concluída em outubro de 1974, por Jan Kouba, do Canadian Department of Energy, Mines and Resources. Os programas de suporte foram desenvolvidos durante os anos de 1973 e 1974 por Peter Lawnikanis, do mesmo órgão [Fortes, 1985].

A versão GEODOP V foi obtida a partir da versão III e do desenvolvimento do programa GERDP de redução geodinâmica Doppler, apresentando vários refinamentos [Kouba, 1983a], tais como:

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

Dentre os programas de suporte, os utilizados por esta instituição são:

PREDOP - Preprocessador de dados relativos aos receptores CMA722, CMA751, JMR1 e MX1502;

NWLFIT - processador das efemérides precisas provenientes da Defense Mapping Agency, dos EUA;

MERGE - realizador da junção dos arquivos de dados gerados pelo PREDOP para entrada no programa GEODOP, com opção de multiestação ou da junção do arquivo de dados com o de efemérides precisas, gerado pelo NWLFIT.

Para a utilização do sistema GEODOP V há a necessidade de se fornecer valores iniciais relativos a vários erros sistemáticos [Kouba, 1983a,b], uma vez que o modelo matemático assim o permite. O processamento é feito por iterações até a obtenção de um desvio padrão de unidade de peso a posteriori entre 0.9 e 1.1.

O programa GEODOP sofreu modificações no tocante à configuração da constelação de satélites, visto que a mesma sofreu alterações no decorrer dos anos, e à inclusão de uma sub-rotina para cálculo da análise de correlação. As versões utilizadas para cada período foram as seguintes:

GEODOP5 → estações rastreadas de 1978 a 1986
GEODOP86 → estações rastreadas de 1986 a 1988
GEODOP → estações rastreadas de 1988 a 1991

Atualmente encontra-se em uso a quarta versão, denominada GEODOP91, pois a constelação apresenta alterações significativas.

O quadro a seguir indica os diferentes grupos de satélites envolvidos em cada versão:

VERSÃO	GEODOP5	GEODOP86	GEODOP90	GEODOP91
	11	13	50	50
S	12	20	20	20
A	13	11	48	48
T	14	48	13	13
É	48	30	24	24
L	16	50	29	29
I	17	12	27	27
T	18	14	19	32
E	19	19	11	49
S	20	24	30	23

4. PROCESSAMENTO

Com o início do reprocesssamento de estações com o sistema GEODOP V, efetuou-se um levantamento minucioso de todas as estações cujos dados brutos não foram incluídos no sistema de armazenamento descrito no item 2, chegando-se a um total de 87 estações. Tentou-se, então, a recuperação dos dados através das fitas cassetes originais; apenas 15 estações apresentaram condições de serem recuperadas.

Paralelamente, um trabalho de crítica foi desenvolvido junto ao arquivo de resultados do banco de dados, chegando-se ao seguinte quadro referente ano de 1988:

	TOTAL DE ESTAÇOES RASTREADAS	: 1135
(1)	RESULTADOS COM PROGRAMA DOPPLER	: 347
	RESULTADOS COM PROGRAMA SP2	: 992
	RESULTADOS COM PROGRAMA GEODOP	: 157
(2	RESULTADOS GPS	: 30

(1) Estações observadas com aparelho GEOCEIVER
(2) Resultados fornecidos pela UFPR.

Concluiu-se que deveriam ser processadas, com o sistema GEODOP V, um total de 835 estações.

Terminada esta fase do trabalho, criaram-se critérios para a execução do reprocessamento, de modo a permitir um melhor acompanhamento e controle dos trabalhos executados. Foi estabelecido que as estações seriam processadas em lotes de acordo com sua ordem de código, sendo divididas nos seguintes lotes:

Estação 90000 a 90099	---------	12 estações a reprocessar
Estação 90100 a 90199	---------	36 estações a reprocessar
Estação 90200 a 90299	---------	72 estações a reprocessar
Estação 90300 a 90399	---------	89 estações a reprocessar
Estação 90400 a 90499	---------	97 estações a reprocessar
Estação 90500 a 90599	---------	101 estações a reprocessar
Estação 90600 a 90699	---------	112 estações a reprocessar
Estação 90700 a 90799	---------	94 estações a reprocessar
Estação 90800 a 90899	---------	97 estações a reprocessar
Estação 90900 a 90999	---------	91 estações a reprocessar
Estação 91000 a 91999	---------	28 estações a reprocessar
Estação 97000 a 97008	---------	06 estações a reprocessar

Total --------- 835 estações a reprocessar

Os dados iniciais (latitude, longitude, altitude, freqüência dos satélites e do receptor), necessários ao processamento, foram retirados do resultado final obtido com o sistema SP-2 para cada estação. Para os demais dados foi mantido o “default” do programa. A partir do segundo processamento, todos os dados de entrada passaram a ser a saída do processamento anterior, correspondendo ao procedimento iterativo adotado.

Foram necessários, em média, seis processamentos para cada estação até a obtenção de resultados considerados dentro dos padrões estabelecidos (número de passagens aproveitadas não inferior a 30 e sigma a posteriori aproximadamente igual a 1) [Fortes, 1985].

Durante o ano de 1989 foram detectados inúmeros problemas no processamento das estações rastreadas, e que serão expostos no decorrer do presente trabalho. Estes problemas originaram a necessidade de realização de testes para sua solução, o que acarretou a conclusão do reprocessamento de apenas 183 estações no citado ano.

O quadro a seguir apresenta a produção obtido no ano de 1990:

PROCESSAMENTO MENSAL
1990

MÊS	est. proc.
JANEIRO	28
FEVEREIRO	39
MARÇÓ	62
ABRIL	83
MAIO	31
JUNHO	28
JULHO	24
AGOSTO	43
SETEMBRO	112
OUTUBRO	107
NOVEMBRO	23
DEZEMBRO	-
TOTAL	580

No final do processo de reprocessamento concluiu-se que, de um total de 835 estações, 763 tiveram seus resultados refinados. As estações que

não apresentaram condições de processamento com o programa GEODOP V (em número de 72) são aquelas que não possuem cópia dos dados originais impossibilitando seu reprocessamento. Apresentam, porém, resultados com outros programas.

5. PROBLEMAS ENCONTRADOS NO PROCESSAMENTO

1. Estações sem informação de micro-segundo

Quando do decorrer dos trabalhos, observou-se que algumas estações apresentavam um índice de rejeição de passagens muito elevado, em torno de 50%, quando comparadas ao processamento com o programa SP-2, e que conseqüentemente, suas variâncias a posteriori apresentavam sempre valores muito altos.

A rejeição maciça de passagens ocorria de forma alternada, ou seja, a 1ª passagem era aceita, a 2ª não era aceita, a 3ª era aceita e a 4ª não era e assim sucessivamente. Como a questão afetava um grande número de estações, foram efetuados testes e levantamentos estatísticos na busca de uma solução, já que os parâmetros utilizados e as opções do programa eram os mesmos para todas as estações.

Foram realizados diversos testes (como por exemplo: apagar dados das primeiras passagens aceitas; deletar todas as passagens aceitas no arquivo, deixando somente as passagens não aceitas; inverter os dados do arquivo, etc). Entretanto, nenhum destes testes apresentou solução adequada ao problema. Optou-se, então, por um levantamento estatístico, uma vez que o problema ocorria de forma sistemática. Neste levantamento foram verificados:

- aparelhos;
- localização das estações;
- freqüências dos receptores;
- períodos de rastreio;
- e equipes de campo; etc.

Percebeu-se, então, que o problema era limitado às estações do período 1977/1984. Com o período delimitado, partiu-se para o confronto entre os dados de uma estação “boa” com uma estação “problema”. Verificou-se, então, que os dados brutos não continham as informações do relógio interno do receptor JMR, responsável pela contagem em microsegundos do tempo transcorrido entre o recebimento de uma marca de tempo e o início/fim das contagens Doppler. Uma vez identificado este problema, a alteração de um caracter no início do bloco de dados relativo às contagens de microsegundos ocasionou o processamento normal da estação. Com a solução do problema, as estações que o apresentavam foram novamente reprocessadas.

2. Troca de Aparelhos

Algumas estações foram rastreadas com mais de um aparelho, o que ocasionou, muitas vezes, numa descontinuidade da freqüência gerada pelos receptores.

Tal fato no campo não acarreta problemas, entretanto, refletiu-se de forma negativa no processamento, uma vez que a freqüência é um dos valores fixados quando da entrada de dados e elemento importante para o processamento. A variação brusca entre as freqüências em um mesmo processamento acarreta um baixo índice de aproveitamento de passagens e uma elevação considerável do valor dos desvios padrão de alguns parâmetros.

Como solução, optou-se por dividir o período de rastreio, de acordo com a variação da freqüência, obedecendo, entretanto, aos critérios estabelecidos para a confiabilidade do resultado das estações.

3. Troca de Antena

Devido a fatores diversos, muitas vezes há a necessidade de, após iniciado o rastreio, haver troca ou movimentação da antena. Considerando tal fato, foram efetuados testes que comprovam que a troca ou movimentação da antena, segundo as condições nas quais ocorrem, não afetam o resultado final obtido para a estação.

4. Variância da unidade de peso a posteriori

A análise de correlação entre observações adjacentes permite uma melhor definição de pesos no ajustamento. Tal fato acarreta uma melhora na sua qualidade, o que pode ser detectado pela obtenção, para a variância a posteriori, de valores próximos a unidade. No reprocessamento de estações rastreadas no período anterior a 1985, foram encontradas algumas variâncias a posteriori com valores acima do normal, entre 1.5 e 1.7, não havendo possibilidade de um melhor refinamento.

6. ESTAÇÕES COM ALTITUDE ORTOMÉTRICA CONHECIDA

No processo desencadeado pelo reprocessamento, as estações que possuem valores para a altitude ortométricas, obtida por nivelamento geométrico, estão sendo processadas com efemérides precisas, e portanto servem de suporte para o refinamento do Mapa Geoidal do Brasil. Algumas dessas estações aguardam remessa de material solicitado à Defense Mapping Agency (DMA) para o término do seu processamento.

1. CONSIDERAÇÕES

Atualmente existem 1143 estações SATs com resultados no banco de dados do IBGE. Este arquivo apresenta a seguinte configuração após a conclusão do projeto de reprocessamento de estações Doppler com o programa GEODOP V, ocorrida em dezembro de 1990:

	TOTAL DE ESTAÇÕES RASTREADAS	:	1143
	RESULTADOS COM PROGRAMA DOPPLER	:	347
	RESULTADOS COM PROGRAMA SP2P	:	994
(1)	RESULTADOS COM PROGRAMA GEODOP V	:	922
(2)	RESULTADOS COM PROGRAMA GPS	:	30
	RESULTADO SEM CONDIÇÕES DE PROCESSAMENTO COM GEODOP V	:	72

(1) Incluindo duas estações novas rastreadas em 1990
(2) Resultados fornecidos pela UFPR

Após o término do reprocessamento das estações DOPPLER, foi desenvolvido um programa de crítica ao arquivo de resultados. Este programa visa determinar e classificar, entre os resultados de cada estação, o mais adequado para divulgação.

Na confecção do programa de crítica, foram estabelecidos diferentes parâmetros de comparação considerando-se que:

- diversas estações SAT são coincidentes com pontos já existentes no SGB;
- diferenças de modelagem matemática entre os programas utilizados;
- precisão das efemérides utilizadas;
- número de passagens;
- variâncias.

Após o programa de crítica, o arquivo de dados apresenta a seguinte configuração:

TOTAL DE ESTAÇÕES		
GEOCEIVER	:	347
JMR	:	763
MARCONI	:	03
GPS	:	30
NÚMERO DE RESULTADOS	:	2293
NÚMERO DE RESULTADOS COM EFEMÉRIDES		
OPERACIONAIS	:	1588
PRECISAS	:	705
RESULTADOS RELATIVOS A POSICIONAMENTO		
ISOLADO	:	2159
TRANSLOCAÇÃO	:	134
RESULTADOS		
AO NORTE DO EQUADOR	:	680
AO SUL DO EQUADOR	:	1613

RESULTADOS COINCIDENTES COM

VÉRTICE DE TRIANGULAÇÃO	:	478
ESTAÇÃO DE POLIGONAÇÃO	:	166
VÉRTICE HIRAM	:	6
VÉRTICE SHIRAM	:	4

RESULTADOS COM NIVELAMENTO

GEOMÉTRICO	:	584
TRIGONOMÉTRICO	:	50
BAROMÉTRICO	:	388

2. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve por objetivo, basicamente, apresentar o resumo dos resultados obtidos por esta instituição no emprego do programa GEODOP V no reprocessamento de estações DOPPLER, uma vez que o sistema TRANSIT vem sendo substituído pelo Sistema de Posicionamento Global – GPS. Uma nova fase vem sendo aberta, ocasionando a absorção de novas técnicas e métodos de posicionamento. Cabe ressaltar, porém, que os resultados obtidos anteriormente serão utilizados nos projetos de Refinamento do Mapa Geoidal do Brasil e de Ajustamento Global da Rede Planimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Brasileiro, ora em andamento, e que as análises e pesquisas desenvolvidas neste período serão utilizadas para a implantação do novo sistema.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FORTES, L.P.S. – Primeiros Resultados, no IBGE, da aplicação do método de multiestação, com arcos curtos, no processamento de observações de satélites do sistema TRANSIT. Trabalho apresentado no XIII Congresso Brasileiro de Cartografia, Brasília, 1985.

KOUBA, J – GEODOP V – Geodetic Doppler Positioning Program (version V) – Gravity Geothermic & Geodynamics Divinion, Earth Physics Branch, Departament of Energy, Mines & Resouces. Otawa, 1983 a.

KOUBA, J – Users Guide – The GEODOP V program system. Gravity, Geothermic & Geodynamics Divinion, Earth Physics Branch, Departament of Energy, Mines & Resources. Otawa, 1983 b.

NOVAES, J.R.D & MELLO, M.P de – Geodésia por satélites no IBGE: Resultados preliminares das atividades desenvolvidas. IBGE, Brasil, 1974.

4. AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossos agradecimentos pela colaboração prestada para a confecção deste trabalho:

- às equipes de campo e de apoio, responsáveis pelas observações de campo que propiciaram o rico acervo de dados analisado;
- Luiz Paulo Souto Fortes;
- Jeferson Moraes Martins