

SÉRIE EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS

V-1

**30 ANOS DA PÓS-GRADUAÇÃO
EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS
NO BRASIL**

SÉRIE EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS

Direitos exclusivos para esta edição

Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
Caixa Postal 19001 – Centro Politécnico – Jardim das Américas
81531-990 Curitiba- Pr- Brasil
Fax 41-361-3161 – cpgcg@geoc.ufpr.br

IMPrensa UNIVERSITÁRIA

Rua Bom Jesus, 650 – Juvevê
Fone/Fax: 41-252-6712 - imprensa@imprensa.ufpr.br

Diretor

Quintino Dal Molin

ISBN 85 - 88783 - 01 - 0

Universidade Federal do Paraná. Departamento de Geomática.
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.
30 anos de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas no Brasil /
Universidade Federal do Paraná. Departamento de Geomática.
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Curitiba, 2001.
345 p. : il.; 21 cm. (Série em Ciências Geodésicas; v. 1)

ISBN 85 - 88783 - 1 - 0

1. Geodésica. I. Série. II. Título.

CDD 526.1

POSICIONAMENTO DE TRANSMISSORES

Cristina Tobler de Sousa
Hélio Koiti Kuga
Alberto Setzer

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/DSE/DMC/CPTEC
Cx. Postal 515, CEP: 12.227-010

crisrina.tobler@dss.inpe.br - hkk@dem.inpe.br - asetzer@cptec.inpe.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar resultados de posicionamento de transmissores através de satélites. As atividades de posicionamento de transmissores no Brasil podem ser aplicadas em oceanografia, biologia, posicionamento, e resgate de seres humanos, aeronaves e embarcações em situações de emergência. Para a obtenção dos resultados, foram utilizados o Satélite de Coleta de Dados (SCD-2), o Satélite Sino Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS-1) e os da série "National Oceanic and Atmospheric Administration" (NOAA). A precisão do posicionamento para várias situações foi satisfatória para os objetivos em vista, variando de 0,5km a 9,5km.

ABSTRACT

The main goal of this paper is to present the results of transmitters positioning through satellites. In Brazil, positioning transmitters may be applied in biology, oceanography, geo-location and emergency rescue of human beings, aircrafts and ships. The results were obtained using the Brazilian Data Collecting satellite SCD-2, China-Brazil Earth Resources Satellite (CBERS-1) and National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) satellite. The accuracy of positioning for several conditions was satisfactory, varying from 0.5 km to 9.5 km.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, as atividades de posicionamento são aplicadas principalmente na Biologia e na Oceanografia. Na Biologia, são fixados mini-transmissores em animais selvagens para monitoramento dos seus deslocamentos e hábitos

Mantovani; Muelbert et al. (2000), por exemplo. Na oceanografia, são lançadas bóias de deriva nos oceanos Kampel (1997); Stevenson (1998) para acompanhamento do seu deslocamento. Estas atividades têm aplicações ainda no posicionamento e resgate de aeronaves e embarcações em situações de emergência, SARSAT (2000) e no posicionamento de pesquisadores do Programa Antártico (PROANTAR) na Antártica Setzer (1997) em missões de campo.

No presente, o posicionamento de transmissores é realizado no Brasil através da compra dos dados de posicionamento (latitude e longitude) do sistema francês Argos (CLS, 1989). O sistema processa os sinais recebidos pelos satélites meteorológicos americanos da série "National Oceanic and Atmospheric Administration" (NOAA) Kidwell (1991), e os disponibiliza com atraso de várias horas. O mais recente procedimento de posicionamento de transmissores apresentado neste trabalho Sousa (2000); Sousa et al. (2000, 2001), possibilita a obtenção das medidas de posicionamento, de forma independente, utilizando-se satélites e estações de recepção brasileiros.

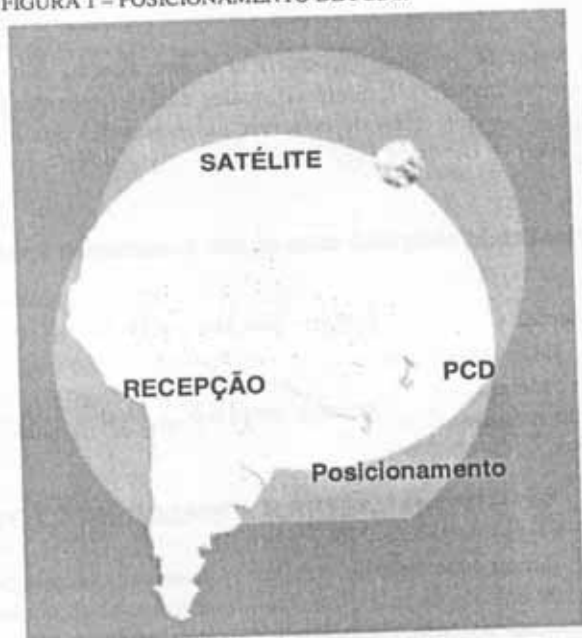
Na seção a seguir, encontra-se resumido o método de posicionamento através de satélites, utilizando medidas de desvio Doppler e técnicas de mínimos quadrados não lineares. O posicionamento de transmissores determina entre outros parâmetros, a latitude, longitude e altitude de transmissores situados na superfície terrestre, em tempo quase-real, ou seja, imediatamente após a coleta das medidas.

2. MODELO BÁSICO: POSICIONAMENTO DE TRANSMISSORES

O posicionamento de um transmissor (ou Plataforma de Coleta de Dados - PCD) pode ser determinada medindo-se o desvio Doppler dos sinais transmitidos devido à velocidade relativa entre o satélite e o transmissor.

O posicionamento de PCDs feita pelo sistema Argos, considera que durante a passagem do satélite, sinais de frequência UHF transmitidas pelas PCDs são recebidos a bordo do satélite, que mede o valor do desvio Doppler de frequência do sinal devido à velocidade relativa transmissor-satélite, e registra o instante de sua chegada. Estas medidas são retransmitidas para as estações de recepção terrestres. Já os sinais de frequência recebidos pelos satélites SCD-2 e CBERS-1 são imediatamente (em tempo real) retransmitidos para estações de recepção terrestres, onde são processados, conforme Figura 1. Isto acontece quando o círculo de visibilidade do satélite (alcance) inclui a estação e o transmissor.

FIGURA 1 – POSICIONAMENTO DE PCDS.



A velocidade do satélite relativa ao transmissor $v \cos \alpha$ por $\dot{\rho}$, é dada pela Equação do efeito Doppler Resnick (1968) como segue:

$$\dot{\rho} = \frac{(f_r - f_t)}{f_t} c, \quad (1)$$

onde f_r é a frequência recebida pelo satélite; f_t é a frequência de referência (ou nominal) enviada pelo transmissor; $(f_r - f_t)$ é o desvio Doppler devido à velocidade relativa transmissor-satélite; c é a velocidade da luz; α é o ângulo entre o vetor velocidade v do satélite e o de posição do satélite relativa ao transmissor. Portanto, $\dot{\rho}$ depende da posição e velocidade (efemérides) do satélite, bem como do transmissor.

O gerador de efemérides de satélites utiliza o modelo NORAD SPG8 Hoots (1980) para obter a órbita do satélite no instante da medida de desvio Doppler. Sejam as observações modeladas por:

$$y = h(x) + v, \quad (2)$$

onde y é um vetor de m observações; $h(x)$ é uma função não linear vetorial de dimensão m dos parâmetros x a serem estimados e das efemérides do satélite; v é um vetor de dimensão m dos erros de observação. A solução dos mínimos quadrados linearizado é dada por Bierman (1977):

$$H_1 \delta \hat{x} = \delta y_1, \quad (3)$$

onde $\delta \hat{x} = (\hat{x} - \bar{x})$, H_1 é uma matriz triangular superior, e portanto a solução $\delta \hat{x}$ é obtida diretamente. O método torna-se iterativo ao tomar a estimativa \hat{x} , como sendo o novo valor de referência \bar{x} . Assim, calcula-se um novo valor para $\delta \hat{x}$ sucessivamente, até quando essa correção diferencial tender a zero, indicando a convergência do método. O critério de parada baseia-se na análise das sucessivas funções de custo:

$$\frac{|J_k - J_{k-1}|}{J_k} < \varepsilon = 0.01 \quad (4)$$

onde J_k é a função de custo da k -ésima iteração. A matriz H_1 é o resultado da transformação ortogonal de Householder T Lawson e Hanson (1974), tal que:

$$\begin{bmatrix} H_1 \\ 0 \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} P_0^{-1/2} \\ W^{1/2} H \end{bmatrix}, \quad (5)$$

onde H é a matriz de derivadas parciais das observações em relação ao estado calculada em torno da referência, dada por:

$$H = \left[\frac{\partial h}{\partial x} \right]_{x=\bar{x}}; \quad (6)$$

W é a matriz de peso das componentes do vetor das medidas y (ou ponderação dos resíduos); $P_0^{-1/2}$ é a matriz raiz quadrada de informação inicial das variáveis de estado.

A variável δy_1 resulta a partir de:

$$\begin{bmatrix} \delta y_1 \\ \delta y_2 \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} P_0^{-1/2} \delta \hat{x}_0 \\ W^{1/2} \delta y \end{bmatrix}, \quad (7)$$

onde δy é o vetor dos resíduos. A função custo final pode ser escrita como:

$$J = \|\delta y_1 - H_1 \delta \hat{x}\|^2 + \|\delta y_2\|^2, \quad (8)$$

com $J_{min} = \|\delta y_2\|^2$, onde J_{min} é o custo mínimo.

3. EXPERIMENTOS REALIZADOS E RESULTADOS

Foram realizadas análises dos resultados de posicionamento de transmissores obtidos considerando os dados reais coletados a partir da estação terrestre situada em Cuiabá e da estação portátil localizada na Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) na Ilha Rei George, Antártica. Todas as coordenadas das estações estão no sistema WGS-84 ("World Geodetic System" 1984).

Para a análise dos resultados, foram utilizados transmissores conforme Tabela 1, com as respectivas taxas de amostragem, latitudes e longitudes nominais (obtidas utilizando-se GPS), no sistema WGS-84, utilizados como referência para comparação com os cálculos de posicionamento.

TABELA 1 - POSIÇÕES NOMINAIS DOS TRANSMISSORES 113, 32544, 23837/40

| PCD (número) | Longitude (°) leste | Latitude (°) sul | Amostragem 1 medida a cada (seg.) | Freqüência nominal (MHz) |
|-------------------|---------------------|------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| 113 (Peru) | 282.8499 | 11.7761 | 30 | 401.65 |
| 32544 (Cuiabá) | 303.9302 | 15.5550 | 47 | 401.62 |
| 23837 (Antartica) | 304.6338 | 61.2194 | 88 | 401.65 |
| 23840 (Antartica) | 304.6338 | 61.2194 | 87 | 401.65 |

Os dados reais das PCDs 113 e 32544 foram fornecidos através do INPE a partir da estação terrestre situada em Cuiabá (conforme Figura 2). Os dados reais dos

MTRs 23840 e 23837 foram coletados em missão de campo, a partir da estação portátil localizada na EACF (Ilha Rei George, Antártica), no período de 10 de dezembro de 1998 a 20 de janeiro de 1999.

FIGURA 2 - PCDS 113 E 32544 E ESTAÇÃO TERRESTRE SITUADA EM CUIABÁ



Para cada transmissor foram geradas tabelas, contendo em suas colunas todas as informações necessárias para a análise dos resultados obtidos, e a aceitação ou não, do resultado do posicionamento de determinado transmissor, para cada passagem do satélite. A nomenclatura utilizada é a seguinte:

- **Medidas (+/-):** quantidade de amostras positivas (+) e negativas (-) do desvio Doppler, obtidas para cada passagem do satélite;
- **<resíduos $\pm\sigma$ >:** média dos resíduos, em Hertz (Hz), e desvios-padrão dos resíduos;
- **Elevação (°) mín/máx:** elevação mínima e máxima em graus (°), do satélite em relação ao transmissor dos sinais transmitidos;
- **Erro de posicionamento (km):** erro relativo em quilômetros (km) do posicionamento em relação aos posicionamentos nominais de referência;

- **Longitude:** longitude calculada pelo posicionador em graus (leste);
- **Latitude:** latitude calculada pelo posicionador em graus (sul, norte);
- **Drift (Hz):** "drift" ou b_0 ("bias") em Hertz (Hz), associado à curva Doppler, ou seja, um erro desconhecido tendencioso nas medidas Doppler;
- **drift-rate (Hz/s):** "drift-rate" ou b_1 ("bias rate") em Hertz por segundo (Hz/s), associada à curva Doppler, ou seja, uma possível taxa de deriva ocorrida durante a passagem do satélite sobre o transmissor.

Para a análise dos resultados obtidos, de forma a considerar o resultado do posicionamento confiável ou não, foram estabelecidos os seguintes critérios:

1. **$\sigma > 10$ Hz:** o primeiro critério a ser analisado está relacionado à coluna contendo o valor do desvio padrão σ dos resíduos de cada passagem. O valor inicial do desvio padrão foi considerado igual a 5 Hz. Assim, se o resultado do desvio padrão dos resíduos médios ultrapassar duas vezes este valor, o resultado deve ser desconsiderado (não aceito), uma vez que ele informa a dispersão exagerada das medidas. Esta situação é identificada com o símbolo do triângulo (\blacktriangle). Um resultado maior que duas vezes o σ , pode significar algum tipo de interferência ou ruído excessivo nas medidas. Mesmo obtendo um ajuste com σ menor do que 10 Hz, é imprescindível analisar o segundo e o terceiro critérios, como seguem;
2. **$E_{\text{máx}} \leq 4^\circ$:** segunda variável a ser observada, consiste nos valores da elevação máxima do satélite em relação aos sinais transmitidos. Em elevações menores que 4° , o efeito da refração atmosférica e ruídos sobre o sinal de frequência transmitido ao satélite pode ser considerável, tornando não confiável o resultado obtido, devendo este ser desconsiderado. Como um compromisso entre escassez de medidas e efeito da refração atmosférica tolerável, foi adotado o valor de 4° . Este tipo de resultado é indicado com o símbolo do quadrado (\blacksquare);
3. **todas as medidas Doppler > 0 ou todas < 0 :** terceiro critério a ser considerado, ou seja, a cobertura obtida na curva de desvio Doppler. Se na coluna das medidas (+/-), os valores de "n" forem somente positivos (n/0) ou somente negativos (0/n), significa que obteve-se uma má cobertura da curva Doppler. Ou seja, somente uma porção da curva Doppler é observada, e portanto o posicionamento calculado é menos confiável. Esta situação é marcada com o símbolo do círculo (\bullet).

Para os casos mostrados, foram utilizados somente transmissores fixos (imóveis), e os posicionamentos foram realizados com a finalidade de qualificar o procedimento, e testar a validade do algoritmo desenvolvido sob as mais diversas

condições reais. O símbolo estrela (★) denota os posicionamentos que foram considerados válidos segundo os três critérios acima descritos.

3.1 TRANSMISSOR 113 E SATÉLITE SCD-2: GEOMETRIA DE TEMPO REAL SOFRÍVEL

Esta análise, usando resultados obtidos com o satélite SCD-2 e a estação de recepção em Cuiabá, foi feita com o transmissor de número 113, situado no Peru, em janeiro de 1999, e os resultados se encontram na Tabela 2.

TABELA 2 - RESULTADOS USANDO O TRANSMISSOR 113 E O SATÉLITE SCD-2 (▲ = $\sigma > 10$ HZ; ■ = $E_{\text{max}} \leq 4$; • = TODAS AS MEDIDAS DOPPLER > 0 OU TODAS < 0 ; ★ = POSICIONAMENTO VÁLIDO)

| Medidas (+/-) | <resíduo $\pm\sigma$ > (Hz) | Elevação mín/máx (°) | Erro de posicionamento (km) |
|---------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 1/2 | -4.E-01 \pm 2.5 | 29.3 / 36.7 | ★3.03 |
| 1/8 | -2.E-01 \pm 0.9 | 6.3 / 20.4 | ★0.82 |
| 0/4 | -7.E-01 \pm 3.3 | 5.8 / 31.6 | •5.35 |
| 0/5 | -6.E-01 \pm 2.2 | 3.9 / 31.5 | •2.61 |
| 1/4 | -3.E-01 \pm 3.3 | 19.7 / 26.4 | ★7.85 |
| 1/2 | -4.E-01 \pm 1.8 | 13.5 / 25.3 | ★4.73 |
| 1/2 | -6.E-01 \pm 2.7 | 3.8 / 19.3 | ★2.44 |
| 0/4 | -4.E-01 \pm 2.4 | 7.3 / 22.5 | •3.30 |
| 1/8 | -2.E-01 \pm 1.1 | 7.0 / 21.0 | ★1.27 |
| 1/4 | -4.E-01 \pm 1.4 | 12.4 / 34.8 | ★1.91 |
| 0/8 | -2.E-01 \pm 0.9 | 7.7 / 38.8 | •2.56 |
| 0/5 | -4.E-01 \pm 2.3 | 6.5 / 20.0 | •3.81 |
| 0/3 | -3.E+00 \pm 23.3 | 7.2 / 27.4 | ▲201.60 |
| 0/3 | -4.E-02 \pm 3.6 | 15.9 / 20.7 | •174.79 |
| 0/3 | -8.E-02 \pm 4.8 | 7.7 / 10.7 | •96.95 |
| 0/3 | -2.E-01 \pm 10.4 | 11.9 / 23.3 | •374.30 |
| 0/5 | -3.E-01 \pm 7.1 | 10.8 / 42.7 | •14.08 |
| 0/5 | -8.E-01 \pm 5.5 | 4.4 / 26.0 | •15.30 |
| 0/3 | -4.E-01 \pm 0.8 | 10.0 / 28.0 | •85.57 |
| 0/6 | -9.E-01 \pm 6.7 | 4.1 / 28.3 | •38.47 |
| 0/5 | 4.E-01 \pm 1.2 | 7.2 / 59.1 | •14.62 |
| 0/3 | -2.E+00 \pm 24.5 | 5.1 / 18.9 | ▲189.98 |
| 0/3 | 9.E-01 \pm 3.1 | 10.3 / 61.8 | •48.02 |

Observando a Tabela 2, e utilizando-se o critério 1 dos desvios padrão ($\sigma > 10$ Hz), verificam-se apenas dois valores em negrito na coluna dos resíduos, que não obedecem a este critério, sendo assinalados e considerados inválidos (\blacktriangle). Em seguida, pelo critério 3 (apenas um setor da curva Doppler), observam-se medidas que reconstituem somente um lado da curva Doppler em 14 casos, conforme mostram os valores em negrito na coluna das medidas. Pode-se notar que a estação de recepção nestes casos conseguiu captar somente medidas negativas da curva Doppler. Do total de 23, as 7 passagens cujos posicionamentos foram considerados confiáveis (\star), possuem somente uma medida Doppler positiva, como pode ser observado. Conclui-se que as amostragens foram pouco otimizadas, devido ao transmissor e ao receptor se encontrarem em posições desfavoráveis: um no Peru e o outro em Cuiabá.

Considerando-se apenas os posicionamentos válidos (\star), a média do erro das longitudes e latitudes foi 3.15km. O desvio-padrão dos erros dos posicionamentos é de 2.43km, o que permite concluir, para esta amostra, que os posicionamentos, com 67% de confiança, deverão ter erro máximo de 5.58km e mínimo de 0.72km.

3.2 TRANSMISSOR 32544 E SATÉLITE CBERS-1 COM ERRO DE EFEMÉRIDES

Nesta seção serão considerados o satélite CBERS-1 e o transmissor 32544 em Cuiabá. As efemérides no formato "two lines" foram adquiridas via "internet" (<http://felots.dem.inpe.br/>), e foram calculados no Centro de Controle do INPE, através de determinação de órbita baseados em dados de rastreamento de uma semana. Os resultados estão indicados na Tabela 3.

À primeira vista estes resultados parecem ter produzido posicionamentos com erros demasiado excessivos, onde o maior erro foi da ordem de 28km. Após a obtenção desses resultados, e o consumo de algum tempo na análise desse caso peculiar, ele foi considerado anômalo com erros de posicionamentos grandes mas atribuídos ao acaso. Entretanto, constatou-se (na verdade descobriu-se fortuitamente) posteriormente que o satélite realizou uma manobra no dia 17 de dezembro de 1999. Com isso, e também pelo cálculo das efemérides representar as efemérides médias de uma semana, deduz-se que houve um erro nas efemérides que desprezaram o efeito da manobra.

TABELA 3 - RESULTADOS DO TRANSMISSOR 32544, USANDO O CBERS-10 E EFEMÉRIDES MÉDIAS DE UMA SEMANA ($\blacktriangle = \sigma > 10$ Hz; $\blacksquare = E_{\text{máx}} \leq 40$; $\bullet =$ TODAS AS MEDIDAS DOPPLER > 0 OU TODAS < 0 ; $\star =$ POSICIONAMENTO VÁLIDO)

| Data | Medidas (+/-) | <resíduos $\pm\sigma$ > (Hz) | Elevação(°) mín/máx | Erro (km) |
|-----------|---------------|------------------------------|---------------------|-------------------------|
| 16-dez-99 | 2/7 | -1.E+00 \pm 6.3 | 4.0 / 18.4 | \star 19.47 |
| 16-dez-99 | 3/4 | -1.E+00 \pm 5.9 | 13.5 / 29.3 | \star 21.52 |
| 16-dez-99 | 3/5 | -1.E+00 \pm 3.5 | 5.7 / 39.5 | \star 27.93 |
| 17-dez-99 | 3/8 | -9.E-01 \pm 14.2 | 3.8 / 45.9 | \blacktriangle 7.01 |
| 18-dez-99 | 1/7 | -1.E+00 \pm 15.7 | 3.2 / 40.3 | \blacktriangle 7.31 |
| 18-dez-99 | 6/7 | -8.E-01 \pm 4.0 | 6.1 / 62.3 | \star 6.45 |
| 18-dez-99 | 1/5 | -2.E+00 \pm 30.0 | 3.9 / 6.9 | \blacktriangle 126.36 |
| 19-dez-99 | 5/2 | -2.E+00 \pm 5.8 | 8.2 / 71.3 | \star 1.01 |
| 19-dez-99 | 2/8 | -1.E+00 \pm 14.1 | 0.7 / 5.7 | \blacktriangle 44.23 |
| 19-dez-99 | 6/1 | -2.E+00 \pm 11.0 | 5.4 / 26.0 | \blacktriangle 11.38 |
| 19-dez-99 | 2/7 | -1.E+00 \pm 12.5 | 0.9 / 20.3 | \blacktriangle 5.47 |

Esta manobra mudou o período orbital em cerca de 0.25 segundos redundando em um erro de efemérides ao longo da órbita de aproximadamente 0.015° em arco ou 1.7km, por órbita. Foram então recalculadas as efemérides na forma de "two-lines" que cobriram os dias antes da manobra e após a manobra, reduzindo assim o erro de efemérides devido à manobra. Desta forma, novos valores para os posicionamentos do transmissor foram obtidos, conforme indicados na Tabela 4.

Analisando o critério 1 dos desvios padrão dos resíduos ($\sigma > 10$ Hz), pode-se notar 6 passagens descartáveis, conforme indicam os valores marcados com triângulos na coluna do erro. Os erros nos posicionamentos foram agora bem menores que os anteriores da Tabela 3. Note-se entretanto que os resíduos basicamente apresentaram as mesmas estatísticas nos dois casos, o que mostra que o erro de efemérides não foi captado pelo procedimento de posicionamento. Porém, a correção das efemérides fica evidente quando se nota mudanças pequenas nas elevações listadas na Tabela 4.

Considerando apenas os posicionamentos válidos (\star), a média do erro das longitudes e latitudes foi 4.49km. O desvio-padrão dos erros dos posicionamentos é de 2.94km, o que permite concluir, para esta amostra, que os posicionamentos, com 67% de confiança, deverão ter erro máximo de 7.53km e mínimo de 1.65km.

TABELA 4 - RESULTADOS DO TRANSMISSOR 32544, USANDO O CBERS-1 E EFEMÉRIDES CORRIGIDAS ($\blacktriangle = \sigma > 10$ Hz; $\blacksquare = E_{\text{máx}} \leq 40$; $\bullet =$ TODAS AS MEDIDAS DOPPLER > 0 OU TODAS < 0 ; $\star =$ POSICIONAMENTO VÁLIDO)

| Data | Medidas (+/-) | <resíduos $\pm\sigma$ > (Hz) | Elevação ($^{\circ}$) máx/mín | Erro de posicionamento (km) |
|-----------|---------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 16-dez-99 | 2/7 | -1.E+00 \pm 6.2 | 3.9 / 18.4 | \star 2.73 |
| 16-dez-99 | 3/4 | -1.E+00 \pm 6.0 | 13.5 / 29.2 | \star 4.74 |
| 16-dez-99 | 3/5 | -1.E+00 \pm 3.5 | 5.7 / 39.5 | \star 9.35 |
| 17-dez-99 | 3/8 | -9.E-01 \pm 14.1 | 3.7 / 45.8 | \blacktriangle 8.32 |
| 18-dez-99 | 1/7 | -1.E+00 \pm 15.8 | 3.2 / 40.3 | \blacktriangle 5.50 |
| 18-dez-99 | 6/7 | -8.E-01 \pm 4.1 | 6.1 / 62.0 | \star 1.70 |
| 18-dez-99 | 1/5 | -2.E+00 \pm 30.0 | 3.9 / 6.9 | \blacktriangle 126.87 |
| 19-dez-99 | 5/2 | -2.E+00 \pm 5.7 | 8.2 / 71.6 | \star 4.45 |
| 19-dez-99 | 2/8 | -1.E+00 \pm 14.1 | 0.7 / 5.7 | \blacktriangle 42.98 |
| 19-dez-99 | 6/1 | -2.E+00 \pm 10.9 | 5.3 / 26.0 | \blacktriangle 9.08 |
| 19-dez-99 | 2/7 | -1.E+00 \pm 12.5 | 0.9 / 20.3 | \blacktriangle 5.40 |

3.3 TRANSMISSORES 32840 E 32837 E SATÉLITES DA SÉRIE NOAA: IMPACTO DO ERRO NO TEMPO DAS MEDIDAS

Nesta seção, são apresentados os resultados e as análises utilizando os Mini Transmissores Remotos (MTR), conforme Figura 3, cadastrados com os números 23840 e 23837, os quais permaneceram fixos na região norte da Península Antártica (pólo sul), mais precisamente na Ilha Elefante. Os sinais de frequência foram recebidos pela estação de recepção na EACF também situada nesta região. Desta forma, as condições para o cálculo de posicionamento dos transmissores foram considerados quase ideais, pois o satélite polar NOAA-12 cobriu esta região em todas as suas órbitas (passagens), com os transmissores e a estação de recepção bastante próximas. As efemérides foram adquiridas diariamente via "internet" no endereço www.celestrak.com. O período da coleta de dados foi entre novembro de 1998 e janeiro de 1999.

A Tabela 5 apresenta os posicionamentos obtidos através do processamento das medidas Doppler coletadas pelas estações portáteis. Cabe notar que, na ocasião, os instantes das medidas ("time tagging") referentes aos "segundos" foram bastante incorretos, pois o tempo decodificado pela estação portátil nem sempre correspondia ao instante do sinal enviado pelo MTR ao satélite NOAA, podendo haver um erro de até 32 segundos, configurando um "bug" de "software" da estação de recepção

portátil. É importante observar que o satélite a uma altura de 800 km e com período de 101 minutos, viaja em sua órbita aproximadamente 7km/s, podendo portanto, com erro de até 32 segundos, causar deslocamento de cerca de 220km.

TABELA 5 - RESULTADOS UTILIZANDO OS MTR'S 23840 E 23837 E O SATÉLITE NOAA-12, COM HORÁRIOS ERRADOS

| Medidas (+/-) | resíduos $\pm\sigma$ (Hz) | Elevação (°) mín/máx | Erro (km) de posicionamento | Data | Longitude (°) | Latitude (°) |
|---------------|---------------------------|----------------------|-----------------------------|----------|---------------|--------------|
| 1/2 | 4.E-1 \pm 0.9 | 30.0 / 48.3 | 184.65 | 24/11/98 | 307.633 | -60.443 |
| 3/1 | 1.E+0 \pm 4.1 | 13.9 / 38.8 | 149.54 | 01/12/98 | 307.367 | -60.993 |
| 2/1 | 1.E-1 \pm 0.3 | 29.8 / 48.6 | 202.40 | 16/12/98 | 308.402 | -61.311 |
| 2/2 | | | | 26/12/98 | | |
| 4/1 | -2.E+0 \pm 270 | 14.4 / 46.5 | 208.53 | 01/01/99 | 301.672 | -62.462 |
| 2/1 | -5.E-1 \pm 26 | 35.8 / 67.6 | 200.37 | 06/01/99 | 308.352 | -61.418 |
| 1/2 | 3.E+0 \pm 162 | 26.2 / 88.4 | 919.58 | 19/11/98 | 295.539 | -68.535 |
| 2/2 | | | | 27/11/98 | | |
| 2/2 | -9.E-2 \pm 258 | 27.0 / 72.7 | 91.84 | 04/12/98 | 304.369 | -62.034 |
| 2/2 | | | | 18/12/98 | | |
| 1/2 | -4.E-1 \pm 116 | 45.1 / 81.4 | 593.33 | 19/12/98 | 293.722 | -60.689 |
| 3/1 | | | | 01/01/99 | | |
| 2/2 | 9.E-1 \pm 1020 | 31.9 / 64.5 | 404.58 | 03/01/99 | 300.279 | -58.325 |
| 1/2 | | | | 03/01/99 | | |
| 1/2 | | | | 05/01/99 | | |
| 2/1 | -2.E+0 \pm 6.6 | 18.9 / 29.3 | 183.26 | 06/01/99 | 301.224 | -61.316 |

As seis primeiras passagens são relativas ao MTR 23840, e o restante, ao MTR 23837. Os quadros em branco indicam que, para a passagem correspondente, o algoritmo não convergiu. Do total de 16 passagens, 6 simplesmente não obtiveram convergência, 6 forneceram desvios-padrão dos resíduos absurdos, e 4 seriam considerados válidos ($\sigma > 10$ Hz). Em resumo, os posicionamentos foram todos equivocados, e os posicionamentos obtidos nas passagens válidas, segundo os 3 critérios adotados, se encontram distantes da posição verdadeira, como pode ser visto nas colunas do erro de posicionamento.

Em função desta constatação, o programa da estação portátil (desenvolvido pelo INPE/CRN) está sendo corrigido. Sabendo-se que os intervalos de transmissão desses transmissores foram constantes: 88 segundos para o MTR 23840 e 87 segundos para o 23837, observou-se que o intervalo entre os instantes das medidas foram múltiplos de 32 segundos, incluindo o arredondamento dos milissegundos.

Desta forma, foi solicitada esta correção à equipe que desenvolveu o decodificador da estação portátil.

Paralelamente, esta correção foi estimada manualmente, por comparação com arquivos de dados de passagens adquiridos através do sistema ARGOS/CLS, contendo os mesmos períodos, a menos dos milissegundos. Assim, obtiveram-se os resultados indicados na Tabela 6 que se seguem.

TABELA 6 - RESULTADOS UTILIZANDO OS MTR'S 23840 E 23837 E O SATÉLITE NOAA-12, COM HORÁRIOS CORRIGIDOS MANUALMENTE

| Data | medidas (+/-) | <resíduos±σ> (Hz) | Elevação (°) mín/máx | Erro de posicionamento (km) |
|-----------|---------------|-------------------|----------------------|-----------------------------|
| 24-nov-98 | 1/2 | 3.E-01 ± 0.8 | 34.3 / 55.3 | 1.75 |
| 1-dez-98 | 3/1 | 3.E-02 ± 0.3 | 17.0 / 44.4 | 2.24 |
| 16-dez-98 | 2/1 | 1.E-01 ± 0.3 | 34.3 / 56.6 | 4.14 |
| 26-dez-98 | 2/2 | 2.E-01 ± 0.6 | 32.4 / 62.5 | 0.80 |
| 1-jan-99 | 4/1 | 6.E-01 ± 1.6 | 12.7 / 38.0 | 0.57 |
| 6-jan-99 | 2/1 | 4.E-01 ± 0.8 | 36.8 / 65.2 | 6.92 |
| 19-nov-98 | 1/2 | -1.E-01 ± 0.7 | 27.5 / 41.1 | 3.37 |
| 27-nov-98 | 2/2 | 8.E-02 ± 0.3 | 31.2 / 49.9 | 3.80 |
| 4-dez-98 | 2/2 | -8.E-02 ± 0.3 | 25.3 / 75.4 | 3.73 |
| 18-dez-98 | 2/2 | -4.E-02 ± 0.1 | 35.3 / 66.6 | 2.02 |
| 19-dez-98 | 1/2 | -1.E+00 ± 5.4 | 29.5 / 51.7 | 3.03 |
| 1-jan-99 | 3/1 | -2.E-01 ± 0.4 | 18.2 / 56.1 | 6.45 |
| 3-jan-99 | 2/2 | 8.E-02 ± 0.3 | 31.0 / 45.3 | 4.50 |
| 3-jan-99 | 1/2 | -4.E-02 ± 0.1 | 45.9 / 63.4 | 5.90 |
| 5-jan-99 | 1/2 | 3.E-01 ± 1.2 | 39.5 / 67.3 | 8.73 |
| 6-jan-99 | 2/1 | -4.E-01 ± 1.5 | 18.5 / 26.2 | 5.56 |

Observando na Tabela 6 a coluna do erro de posicionamento em quilômetros, nota-se, depois da correção, que todas as passagens foram úteis, concluindo-se que valores precisos no horário das medidas são imprescindíveis no cálculo do posicionamento. Os resíduos também apresentaram comportamento excelente com baixo nível de ruído e reduzido desvio-padrão. Muito provavelmente o oscilador a bordo do satélite NOAA deve ser de qualidade superior ao do oscilador dos satélites SCD-2 e CBERS-1.

Observando a coluna das medidas, verifica-se cobertura equilibrada para obtenção da curva Doppler, estando presentes medidas de sinal positivo e negativo. Mesmo a recepção estando em geometria ótima e havendo cobertura freqüente da região devido ao maior número de passagens, a amostragem por passagem foi baixa,

ou seja, de menos de 5 medidas por passagem. Isto se deve provavelmente às taxas de amostragem dos MTR's terem sido altas: uma medida a cada 88 segundos para o MTR 23840 e uma a cada 87 segundos para o MTR 23837, o que pode implicar em somente até 7 medidas por passagem. Outras causas envolvem falhas na recepção das antenas, que provocam perdas de sinais.

FIGURA 3-MINI TRANSMISSOR REMOTO (MTR)



4. CONCLUSÕES

Em uma recepção pouco otimizada, ou seja, quando o transmissor e o receptor se encontram em posições desfavoráveis, em geral não é possível obter-se amostragens ótimas (seção 3.1). Portanto, a posição geométrica do transmissor e da estação de recepção é um fator importante a ser considerado.

É fundamental minimizar erros nas efemérides, já que eles produzem impacto direto na precisão do posicionamento (seção 3.2). Além disso, os valores precisos no horário das medidas são imprescindíveis no cálculo do posicionamento (seção 3.3).

Os osciladores de bordo dos satélites SCD-2 e CBERS-1 comprometem a estabilidade das suas frequências, pois não foram desenvolvidas com a precisão necessária. No caso do NOAA, o oscilador foi projetado visando este propósito, e as medidas de frequências geradas são mais precisas e menos ruidosas. Os desvios-padrão utilizando os satélites SCD-2 e CBERS-1 (seções 3.1 e 3.2) foram, em geral, menores que 10Hz (entre 1 e 10Hz), enquanto que para os satélites NOAA (seção 3.3), esses valores foram, em geral, menores que 1Hz.

Por fim, pode-se concluir que os resultados obtidos mostram que o procedimento desenvolvido se encontra apto a ser utilizado no país, para aplicações no monitoramento de bóias oceanográficas, e no rastreamento de animais selvagens.

Nestes casos, uma precisão de até 10km é considerada suficiente. A precisão dos resultados, nas mais diversas situações, foi satisfatória variando de 0.5 a 9.5 km.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte da CAPES, CNPq através do projeto PROANTAR/0018 e da bolsa PCI processo 381.588/00-9, e HP (Hewlett Packard) através do convênio HP-INPE-Funcate 01.01.106.0/99, que contribuíram para a realização do projeto.

6. REFERÊNCIAS

BIERMAN, G. J. **Factorization methods for discrete sequential estimation.** New York: Academic Press, 1977. 241 p.

CLS - **Service Argos: guide to the Argos System.** Toulouse, sep. 1989, v.1.

HOOTS, F. R.; ROEHRICH, R. L. **Models for propagation of NORAD elements sets.** Spacetrack, Dec. 1980. (Spacetrack Report No. 3)

KAMPEL, M.; STEVENSON, M. R. Heat transport estimates in the surface layer of the Antarctic polar front using a satellite tracked drifter - first results. In: **INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY**, São Paulo, 1997. Anais. São Paulo: SBGF, v. 1, p. 99-102, 1997.

KIDWELL, K. B. **NOAA polar orbiter data (Tiros-N, NOAA-6, NOAA-7, NOAA-8, NOAA-9, NOAA-10, NOAA-11, NOAA-12) user Guide NOAA.** Washington, DC: NOAA, 1991.

LAWSON, L. C.; HANSON, J. R. **Solving least squares problems.** New York, Prentice-Hall, 1974.

MANTOVANI, J. E. **Telemetria do lobo-guará e da onça parda na determinação da área de vida e medidas de preservação.** Tese (Doutorado) em fase de elaboração na UFSCAR.

MUELBERT, C. M. M. et al. **Movimentos sazonais de elefantes-marinhos do sul da Ilha Elefante, Shetland do Sul, Antártica, observados através de telemetria de**

satélite. In: **Seminário sobre Pesquisa Antártica 7**, 2000, São Paulo. Programa e resumos. São Paulo: USP/IG., 2000, p.38

RESNICK, R. **Introduction to special relativity**. New York: John Wiley, 1968. 242 p.

SETZER, A. **Manual do sistema de dados remotos**. São José dos Campos: INPE, 1997
Elaborado para o PROANTAR no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

SOUSA, C.T. **Geolocalização de transmissores com satélites usando desvio doppler em tempo quase-real**. São José dos Campos, 2000. Tese (Doutorado), INPE, 2000.

SOUSA, C.T.; KUGA, H.K.; SETZER, A.W. **Investigation of location techniques through satellites**. In: PRADO, A. F. de A. *Advances in space dynamics*. São José dos Campos, v. 1, p. 220-225, 2000.

SOUSA, C.T.; KUGA, H.K.; SETZER, A.W. **Geo-location of transmitters using real data, Doppler shift and least squares**. In: ROZER H. P.; VALENZUELA A., SANDAU R. *Small satellites for Earth observation*, Berlin: Wissenschaft und Technik Verlag, v. 1, p. 327-330, 2001.

STEVENSON, M. R.; DIAS-BRITO, D.; STECH, J. L.; KAMPEL, M. **How do cold biota arrive in a tropical bay near Rio de Janeiro Bay, Brazil**. *Continental Shelf Research*, v. 18, n. 13, p. 1595-1612, 1998.

TECHNO - SCIENCES. CORPAS/SARSAT. Disponível em <www.technosci.com>
Acesso em oct. 2000.