

LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE TRANSMISSORES

Cristina Tobler de Sousa

Alberto Setzer

Hélio Koiti Kuga

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/DMC

Cx. Postal 515, CEP: 12.227.010

Cristina@dem.inpe.br

LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE TRANSMISSORES

Resumo: Este trabalho tem como objetivo apresentar resultados de localização geográfica de transmissores situados em diversas regiões da América do Sul e da região Antártica. As atividades de localização geográfica de transmissores no Brasil são aplicadas em várias áreas de interesse, entre outras: na oceanografia, lançando bóias de deriva nos oceanos para acompanhamento do seu deslocamento e na biologia, fixando mini transmissores em animais selvagens para monitoramento dos seus deslocamentos e hábitos. Estas atividades têm aplicações ainda na localização e resgate de aeronaves e embarcações em situações de emergência. O monitoramento geográfico de transmissores, em tempo não real, é realizado no Brasil através da aquisição dos dados de localização (latitude e longitude) do um sistema francês denominado Argos. Devido à inexistência desta tecnologia em tempo-quase-real no país, um procedimento de localização geográfica de transmissores na superfície terrestre foi desenvolvido, como trabalho de tese de doutorado no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) de São José dos Campos. Este procedimento, essencialmente estima o estado do sistema, isto é, a latitude, a longitude e a altitude do transmissor, utilizando o Método de Mínimos Quadrados por lotes e a Equação do desvio Doppler. 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). Além disso, considerou-se a estação receptora de dados de satélites em Cuiabá e a estação portátil de coleta de dados na Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) na Ilha Rei George, Antártica. Foram considerados transmissores (ou Plataformas de Coleta de Dados (PCDs)) fixos em diversas situações de geometria, ruídos, escassez de medidas, e erros de efemérides. A precisão dos resultados obtida foi satisfatória, variando de 0.5 a 9.5km. 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. Uma precisão de até 10km é o suficiente.

GEO-LOCATION OF TRANSMITTERS

Abstract: The main goal of this paper is to present the results of geographic location of transmitters in several South America and Antarctic regions. In Brazil, geographic location of transmitters is important in the following areas: in biology research by fixing mini-transmitters in wild animals to monitor their displacements and habits; in oceanography research launching drift buoys to study oceanic streams; in emergency location and rescue of aircrafts, ships, and humans. Up to now, the location of these mobile targets, in non-real-time, has been achieved through the purchasing of location data (latitude and longitude) from the French system Argos. As this technology was unavailable in near real-time in Brazil, we developed a procedure for geographic location of transmitters on the Earth surface, at the Brazilian Institute for Space Research (INPE) in São José dos Campos. This procedure estimates the system state (latitude, longitude and altitude) and bias parameters, using the Doppler effect equation and a batch estimator based on least-squares technique. The results were obtained using the Brazilian satellite SCD-2, China Brazil Satellite Earth Resources Satellite (CBERS-1) and National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA-12 satellite); the Cuiabá Reception Station (Central Brazil) and a portable reception station located in the Antarctic Brazilian Station (Antarctica). Transmitters and Data Collecting Platforms in several geometrical situations, noisy data, bad samples and ephemeris errors were considered. The results obtained were satisfactory, with accuracy varying from 0.5 km to 9.5 km. From the obtained results we can see that the procedure developed is suitable to the applications described herein; such as oceanographic buoys monitoring and wild animals tracking, where an accuracy up to 10 km is enough.

1. Introdução

No Brasil, as atividades de localização geográfica 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 na localização e resgate de aeronaves e embarcações em situações de emergência, (SARSAT, 2000) e na localização de pesquisadores do Programa Antártico (PROANTAR) na Antártica (Setzer, 1997) em missões de campo.

No presente, o monitoramento geográfico de transmissores é realizado no Brasil através da compra dos dados de localização (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 localização geográfica de transmissores apresentado neste trabalho (Sousa, 2000), possibilita a obtenção das medidas de localização geográfica, de forma independente, utilizando-se satélites e estações de recepção brasileiros.

Na seção a seguir, encontra-se resumido o modelo do problema de localização geográfica, utilizando medidas de desvio Doppler e técnicas de mínimos quadrados não lineares. A técnica de geolocalização 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.

Os resultados de dados simulados encontram-se descritos em tabelas e gráficos, com as respectivas análises.

2. Modelo básico: localização de transmissores

A localização de um transmissor (ou Plataforma de Coleta de Dados - PCD) pode ser determinada medindo-se o desvio Doppler dos sinais de frequência devido à velocidade do satélite relativa ao transmissor.

A localização geográfica de PCDs feita pela 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 CBER-1 são imediatamente (em tempo real) retransmitidos para estações de recepção terrestres, onde são processados. Isto acontece quando o círculo visibilidade do satélite inclui a estação e o transmissor.

A velocidade do satélite relativa ao transmissor ($v \cos(\zeta)$) será denotada 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:

a) f_r é a frequência recebida pelo satélite; b) f_t é a frequência de referência (ou nominal) enviada pelo transmissor; c) $(f_r - f_t)$ é o desvio Doppler devido à velocidade relativa transmissor-satélite; d) c é a velocidade da luz; e) ζ é o ângulo entre o vetor velocidade v do satélite e o de posição do satélite relativa ao 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. As efemérides atualizadas são utilizadas na Eq. (1) que modela as observações. Portanto, sejam as observações modeladas por:

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

onde:

a) y é um vetor de m observações;
 b) $h(x)$ é uma função não linear vetorial de dimensão m dos parâmetros x a serem estimados e das efemérides do satélite;
 c) τ é um vetor de dimensão m dos erros de observação.

a solução dos mínimos quadrados não linear é dada por (Bierman, 1977):

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

onde $\begin{bmatrix} \delta\hat{x} \\ \delta\hat{x}_0 \end{bmatrix} = H_1^{-1} (y - \bar{x})$, 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. A matriz H_1 é o resultado da transformação ortogonal de Householder T (Lawson, 1974), tal que:

$$\begin{bmatrix} H_1 \\ \delta y_1 \\ \delta y_2 \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} P_0^{A/2} \delta\hat{x}_0 \\ \delta y \\ W^{1/2} H \end{bmatrix}, \quad (4)$$

onde:

- H é a matriz de derivadas parciais das observações em relação ao estado calculada em torno da referência;
- W é a matriz de peso das componentes do vetor das medidas y (ou ponderação dos resíduos);
- $P_0^{A/2}$ é a matriz raiz quadrada de informação inicial das variáveis de estado.

O δy , é tal que:

$$\begin{bmatrix} \delta y_1 \\ \delta y_2 \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} P_0^{A/2} \delta\hat{x}_0 \\ \delta y \\ W^{1/2} H \end{bmatrix}, \quad (5)$$

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

$$J = \|\delta y_1 + H_1 \delta\hat{x}\|^2 + \|\delta y_2\|^2, \quad (6)$$

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

3. Resultados

Serão realizadas análises dos resultados de localização geográfica 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 os seguintes transmissores, 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 localização geográfica: i) PCD: 113 (Peru), Longitude = 282.84999° (leste), Latitude = 11.7761° (sul), taxa de amostragem: uma medida a cada 30 seg., frequência nominal: 401.65MHz; ii) PCD: 32544 (INPE, Cuiabá, MT), Longitude = 303.93024° (leste), Latitude = 15.55508° (sul), taxa de amostragem: uma medida a cada 47 seg., frequência nominal: 401.62MHz e/ou 401.65MHz; iii) MTRs 23840 e 23837 (Ilha Elefante, Antártica), Longitude = 304.6338° (leste), Latitude = 61.2194° (sul), taxa de amostragem: uma medida a cada 87 seg. e a cada 88 seg. respectivamente, frequência nominal: 401.65MHz.

Os dados reais das PCDs 113 e 32544 foram fornecidos através do INPE a partir da estação terrestre situada em Cuiabá. 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.

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 da localização geográfica de determinado transmissor, para cada passagem do satélite. A nomenclatura utilizada é a seguinte: i) Medidas (+/-) = quantidade de amostras positivas (+) e negativas (-) do desvio Doppler, obtidas para cada passagem do satélite; ii) $\langle \text{resíduos} \rangle$ = média dos resíduos, em Hertz (Hz), e desvios-padrão dos resíduos; iii) Elevação (∇) mín/máx = elevação mínima e máxima em graus (∇), do satélite em relação ao transmissor dos sinais transmitidos; iv) Erro de localização (km) = erro relativo em quilômetros

(km) da localização em relação às posições nominais de referência; v) Longitude = longitude calculada pelo localizador em graus (leste); vi) Latitude = latitude calculada pelo localizador em graus (sul, norte); vii) Drift (Hz) = “drift” ou b_0 (“bias”) em Hertz (Hz), associado à curva Doppler, ou seja, um erro desconhecido tendencioso nas medidas Doppler; viii) 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 foram estabelecidos, de forma a considerar o resultado da localização confiável, ou não, os seguintes critérios: i) $\omega > 10 \text{ Hz}$ foi o primeiro critério a ser analisado e está relacionado à coluna contendo o valor do desvio padrão ω 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 (\triangle). Um resultado maior que duas vezes o ω , pode significar algum tipo de interferência ou ruído excessivo nas medidas. Mesmo obtendo um ajuste com ω menor do que 10 Hz, é imprescindível analisar o segundo e o terceiro critérios, como seguem; ii) $EI_{\text{máx}} \Omega 4^\circ$ foi a segunda variável a ser observada, que 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); iii) **todas as medidas Doppler > 0 ou todas < 0** foi o 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 a localização calculada é menos confiável. Esta situação é marcada com o símbolo do círculo (\neq).

Para os casos mostrados, foram utilizados somente transmissores fixos (imóveis), e as localizações foram realizadas com a finalidade de qualificar o procedimento, e testar a validade do algoritmo desenvolvido sob as mais diversas condições reais. O símbolo estrela (⊕) denota as localizações que foram consideradas válidas 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, foi feita com o transmissor de número 113, situado no Peru, em janeiro de 1999, cujos resultados se encontram na Tabela 1. Foi considerada a estação de recepção em Cuiabá e as efemérides no formato “two lines” foram obtidos via Internet.

Tabela 1 - Resultados usando o transmissor 113 e o satélite SCD-2 (↗ = $\omega > 10$ Hz; ↘ = $EI_{\text{máx}} \Omega 4^0$; ↖ = todas as medidas Doppler > 0 ou todas < 0 ; ⊕ = localização válida)

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

Observando a Tabela 1, e utilizando-se o critério 1 dos desvios padrão ($\omega > 10$ Hz), verificam-se apenas dois valores em negrito na coluna dos resíduos, que não obedecem a este critério, sendo assinalados e considerados inválidos (✂). 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 cujas localizações foram consideradas confiáveis (⊕), 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 apenas as localizações válidas (⊕), a média do erro das longitudes e latitudes foi 3.15km. O desvio-padrão dos erros das localizações é de 2.43km, o que permite concluir, para esta amostra, que as localizações, 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/>), cujos valores 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 2.

Tabela 2 - Resultados do transmissor 32544, usando o CBERS-1 e efemérides médias de uma semana (✂ = $\omega > 10$ hz; ➡ = $EI_{m\acute{a}x} \Omega 4^0$; ✂ = todas as medidas doppler > 0 ou todas < 0; ⊕ = localização válida)

Data	Medidas (+/-)	<resíduos $\partial\omega$ > (Hz)	Elevação (°) mín/máx	Erro de localização (km)
16-dez-99	2/7	-1.E+00 ∂ 6.3	4.0 / 18.4	⊕19.47
16-dez-99	3/4	-1.E+00 ∂ 5.9	13.5 / 29.3	⊕21.52
16-dez-99	3/5	-1.E+00 ∂ 3.5	5.7 / 39.5	⊕27.93
17-dez-99	3/8	-9.E-01 ∂ 14.2	3.8 / 45.9	✂7.01
18-dez-99	1/7	-1.E+00 ∂ 15.7	3.2 / 40.3	✂7.31
18-dez-99	6/7	-8.E-01 ∂ 4.0	6.1 / 62.3	⊕6.45

18-dez-99	1/5	-2.E+00 ∂ 30.0	3.9 / 6.9	✂126.36
19-dez-99	5/2	-2.E+00 ∂ 5.8	8.2 / 71.3	⊕1.01
19-dez-99	2/8	-1.E+00 ∂ 14.1	0.7 / 5.7	✂44.23
19-dez-99	6/1	-2.E+00 ∂ 11.0	5.4 / 26.0	✂11.38
19-dez-99	2/7	-1.E+00 ∂ 12.5	0.9 / 20.3	✂5.47

À primeira vista estes resultados parecem ter produzido localizações com erros demasiado excessivos, onde o maior erro foi da ordem de 8km. Após a obtenção desses resultados, e o consumo de algum tempo na análise desse caso peculiar, ele foi considerado anômalo com erros de localização 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. 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 \checkmark 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 as posições do transmissor foram obtidos, conforme indicados na Tabela 3:

Tabela 3 - Resultados do transmissor 32544, usando o CBERS-1 e efemérides corrigidas (\checkmark = ω > 10 hz; \checkmark = $EI_{\text{máx}} \Omega 4^0$; ϵ = todas as medidas doppler > 0 ou todas < 0; \oplus = localização válida)

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

Analisando o critério 1 dos desvios padrão dos resíduos ($\omega > 10\text{Hz}$), pode-se notar 6 passagens descartáveis, conforme indicam os valores marcados com triângulos na coluna do erro. Os erros nas localizações foram agora bem menores que os anteriores da Tabela 2. 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 localização. Porém, a correção das efemérides fica evidente quando se nota mudanças pequenas nas elevações listadas na Tabela 3.

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

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) 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 portátil na EACF também situada nesta região. Desta forma, as condições para o cálculo da posição dos transmissores foram consideradas 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 portátil 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 4 apresenta as localizações obtidas 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 4 - Resultados utilizando os MTR's 23840 e 23837 e o satélite NOAA-12, com horários errados

Medidas (+/-)	<resíduos> ω (Hz)	Elevação (°) mín/máx	Erro de localização (km)	Data	Longitude (°)	Latitude (°)
1/2	4.E-01 ∂ 0.9	30.0 / 48.3	184.65	24/11/98	307.633	-60.443
3/1	1.E+00 ∂ 4.1	13.9 / 38.8	149.54	1/12/98	307.367	-60.993
2/1	1.E-01 ∂ 0.3	29.8 / 48.6	202.40	16/12/98	308.402	-61.311
2/2				26/12/98		
4/1	-2.E+00 ∂ 270	14.4 / 46.5	208.53	1/01/99	301.672	-62.462
2/1	-5.E-01 ∂ 26	35.8 / 67.6	200.37	6/01/99	308.352	-61.418
1/2	3.E+00 ∂ 162	26.2 / 88.4	919.58	19/11/98	295.539	-68.535
2/2				27/11/98		
2/2	-9.E-02 ∂ 258	27.0 / 72.7	91.84	4/12/98	304.369	-62.034
2/2				18/12/98		
1/2	-4.E-01 ∂ 116	45.1 / 81.4	593.33	19/12/98	293.722	-60.689
3/1				1/01/99		
2/2	9.E-01 ∂ 1020	31.9 / 64.5	404.58	3/01/99	300.279	-58.325
1/2				3/01/99		
1/2				5/01/99		
2/1	-2.E+00 ∂ 6.6	18.9 / 29.3	183.26	6/01/99	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 ($\omega > 10$ Hz). Em resumo, as localizações foram todas equivocadas, e as localizações obtidas nas passagens válidas, segundo os 3 critérios adotados, se encontram distantes da posição verdadeira, como pode ser visto nas colunas do erro de localização.

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 5 que se seguem.

Tabela 5 - Resultados utilizando os MTR's 23840 e 23837 e o satélite NOAA-12, com horários corrigidos

Data	medidas (+/-)	<resíduos> (Hz)	Elevação (°) mín/máx	Erro de localização (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 a Tabela 5 a coluna do erro de localização em quilômetros, nota-se, depois da correção, que todas as passagens foram aproveitadas, concluindo-se que valores precisos no horário das medidas são imprescindíveis no cálculo da localização geográfica. 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.

4. Conclusões

Uma recepção pouco otimizada, ou seja, quando o transmissor e o receptor se encontram em posições desfavoráveis, nem sempre obtêm-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 da localização (ver seção 3.2). Além disso, os valores precisos no horário das medidas são imprescindíveis no cálculo da localização geográfica (ver 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 1Hz (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. Uma precisão de até 10km é o 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 bibliográficas

- Bierman, G. J. **Factorization methods for discret sequential estimation**. New York: Academic Press, 1977. 241 p.
- CLS - **Service Argos**: guide to the Argos System. Toulouse: Sept., 1989. 1 v.
- Hoots, F. R.; Roehrich, R. L. **Models for propagation of NORAD elements sets**. s.l. 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, 1997. v. 1, p. 99 - 102.
- 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 pardana determinação da área de vida e medidas de preservação**. Tese de 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., São Paulo 2000. **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**. Elaborado para o PROANTAR no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais de São José dos Campos, 1997.
- Sousa, T.C. 2000, *Geolocalização de Transmissores com Satélites Usando Desvio Doppler em Tempo-Quase-Real*. (in Portuguese) PhD dissertation, São José dos Campos, INPE, 2000.

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**. [online] www.technosci.com/ 2000, Oct. 2000.