



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-7297-PRE/3199

LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA ATRAVÉS DE SATÉLITES

Cristina Tobler de Sousa
Hélio Koiti Kuga
Alberto Setzer

Artigo apresentado no XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Águas de Lindóia – SP, Brasil - 22-26 de novembro de 1999.

LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE TRANSMISSORES ATRAVÉS DE SATÉLITES

Cristina Tobler de Sousa

Hélio Koiti Kuga

Alberto Setzer

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Departamento de Mecânica e Controle

Av. dos Astronautas, 1758, Cx. P. 515 - 12227-010 - São José dos Campos, SP, Brasil

Resumo. A localização de transmissores através de satélites, em tempo quase-real, atende necessidades de busca e resgate de pessoas em locais remotos, acompanhamento de bóias oceanográficas e o monitoramento de animais em pesquisas científicas. No caso dos satélites NOAA (norte americano) atualmente, a determinação da posição destes transmissores é feita através do sistema francês "Argos", o qual fornece a localização, mas não em tempo quase-real, e exige acesso a computador específico no exterior. Neste trabalho será desenvolvida uma metodologia de cálculo baseado em "desvio Doppler" para uso em micro-computadores comuns, que permite a localização geográfica dos transmissores em tempo quase-real. Esta tecnologia, ainda inexistente no país, quando empregada com estações de recepção portáteis dos sinais Argos, poderá ser também usada em trabalhos de campo com baixo custo operacional. Adicionalmente, o sistema de localização poderá realizar as mesmas funções através dos satélites brasileiros SCD (Satélites de Coleta de Dados), e CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite).

Palavras chaves: Localização Geográfica, Desvio Doppler, Transmissores

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia espacial permite localizar a posição de transmissores PTT (plataforma de terminal transmissor), por exemplo, através do sistema Argos a bordo dos satélites meteorológicos da série NOAA. Com a localização, são feitos estudos científicos em várias áreas do conhecimento: na Biologia, prendendo mini-transmissores em animais selvagens e monitorando seu deslocamento e hábitos; em meteorologia e oceanografia, bóias de deriva nos oceanos têm seu deslocamento acompanhado junto com a transmissão de dados de temperatura, pressão, etc. Adicionalmente, esta tecnologia é usada na localização e resgate de aeronaves e embarcações em situação emergencial (sistema SARSAT). Atualmente, e apenas no Brasil, utilizam-se duas versões do PTT conhecidos por Mini Transmissor Remoto (MTR), os quais foram fabricados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em São José dos Campos - São Paulo. O MTR tem como finalidade, transmitir códigos de mensagens pré-definidas digitalmente em UHF (401,65 MHz) para estações de recepção de

dados que são utilizados para apoio de pessoas em locais remotos informando suas condições gerais e enviando dados de instrumentos.

Os seis MTRs de 17 códigos (MTR-17) estão cadastrados com os números 9019, 9020, e 23834 a 23837. E os quatro MTRs de 144 códigos estão cadastrados com os números no intervalo 23834 a 23843. Esses transmissores apenas informam as condições e necessidades da equipe. Por exemplo, em caso de urgência, o MTR possui uma chave de emergência para possível busca e resgate. Neste caso, envia-se um fax diretamente para o órgão CLS na França. (Setzer, 1997).

A obtenção das coordenadas geográficas dos MTRs, com precisão de 1 km é feita através do acesso ao Centro de Processamento do sistema Argos, com defasagem de muitas horas.

Atualmente, a localização dos transmissores é obtida somente via sistema Argos. Ele envolve transmissores UHF, sensores diversos, satélites da série NOAA e estações de recepção. Este sistema somente fornece os dados brutos de localização, ou seja, o acesso ao método usado e ao cálculo não é fornecido. No País, a obtenção da localização geográfica dos transmissores requer o acesso ao sistema Argos na França, cujos dados são disponibilizados somente muitas horas após sua geração.

Considerando o uso crescente desta tecnologia no País, se faz necessário o desenvolvimento de um procedimento computacional que forneça os cálculos de localização em tempo quase-real, autonomamente, sem dependência externa.

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema de localização em tempo quase-real de plataformas fixas ou móveis com transmissores UHF em regiões remotas através dos satélites norte-americanos NOAAs e dos nacionais SCDs de órbita baixa.

O processamento das medidas de desvio Doppler para localização em tempo quase-real será viabilizado para estações de recepção terrestres portáteis, como as que já operam nas sedes do INPE em Natal (RN), Cachoeira Paulista(SP), São José dos Campos(SP), Santa Maria (RS) e na região Antártica. Em particular, utilizou-se dados de duas estações de recepção situadas na estação Antártica Comandante Ferraz, Ilha Rei George e Navio de Apoio Oceanográfico Ary Rongel, no mar Antártico. Esses dados são processados em um sistema utilizando métodos estatísticos para a obtenção da localização geográfica em tempo quase-real.

Em particular, cabe ressaltar a aplicação deste sistema diretamente para os próximos satélites nacionais da série SCD (Satélites de Coleta de Dados), ou mesmo a missão CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite).

2. MODELO BÁSICO

Os satélites da série NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), da família TIROS, operam com pelo menos dois satélites, na mesma órbita terrestre porém em fases opostas. Atualmente, o programa conta excepcionalmente com os satélites NOAA 11, 12, 14 e 15. Cada satélite é equipado com um sistema de localização e coleta de dados Argos (DCLS), o qual registra todas as transmissões das plataformas durante sua passagem e retransmite ("download") os dados para várias estações terrestres operadas através do CNES / NASA / NOAA (French, 1986). Opcionalmente, estações locais podem receber dados de frequência em VHF e banda S (CLS,1988). A posição de cada satélite é supostamente conhecida com uma precisão de 300m em qualquer instante a partir de modelos de propagação orbital. A órbita de cada satélite é polar, quase-circular e com altitude de aproximadamente 850 km. A inclinação, ou o ângulo entre os planos orbital e equatorial, é de 98,7°. Normalmente, isto possibilita que ambos os satélites visualizem as regiões polares Norte e Sul em cada órbita. Cada satélite tem um período orbital de cerca de 101 min e,

portanto, realiza aproximadamente 14,1 revoluções por dia. (CLS, 1989). O sistema abrange também de plataformas de terminais transmissores (PTT) e estações de recepção terrestres .

Cada satélite vê, simultaneamente, todas as plataformas dentro de um cone sólido com círculo (alcance) de visibilidade de 5.000 km para um ângulo de elevação mínimo de 5° (ângulo entre a linha do horizonte e a linha plataforma - satélite).

O número de passagens possíveis para capturar dados dos transmissores aumenta com a latitude. Nos pólos, estes satélites vêem as plataformas transmissoras em todas as passagens. O tempo de visibilidade (contato) da plataforma para cada satélite dura em média 10 minutos.

O PTT é uma estação de aquisição de dados, que emite sinais em intervalos de aproximadamente 90s a 300s para os satélites na frequência UHF ($401.650 \text{ MHz} \pm 4 \text{ KHz}$). Ela pode ser transportada por uma pessoa ou colocada em animal a ser localizado. O computador a bordo do satélite identifica a plataforma bem como registra a frequência recebida. Estes dados recebidos pelo satélite NOAA são retransmitidos, em tempo quase-real, na frequência VHF (137 MHz) para estações de recepção portáteis, e banda S para estações fixas de maior porte (French, 1986; CLS, 1988 e 1989).

3. TÉCNICAS BÁSICAS DE DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO

A localização de uma plataforma transmissora pode ser determinada medindo o desvio Doppler sofrido nos sinais da plataforma.

O princípio básico do cálculo de localização é feito considerando cada mensagem recebida a bordo do satélite NOAA, o qual registra o valor da frequência e o instante da chegada da mensagem. A frequência transmitida da plataforma é estimada usando um conjunto de frequências de recepção. Para cada medida Doppler, um cone de localização é obtido a partir da trajetória do satélite, da frequência nominal do PTT, e da frequência de recepção. Os diferentes cones de localização interceptam a esfera de altitude que produz possíveis posições da plataforma (Fig. 1). Esses cones são simétricos com relação ao "groundtrack" (trajetória projetada) do satélite. Para encontrar qual das duas posições é a correta, são requeridas informações adicionais, por exemplo o conhecimento de uma posição prévia.

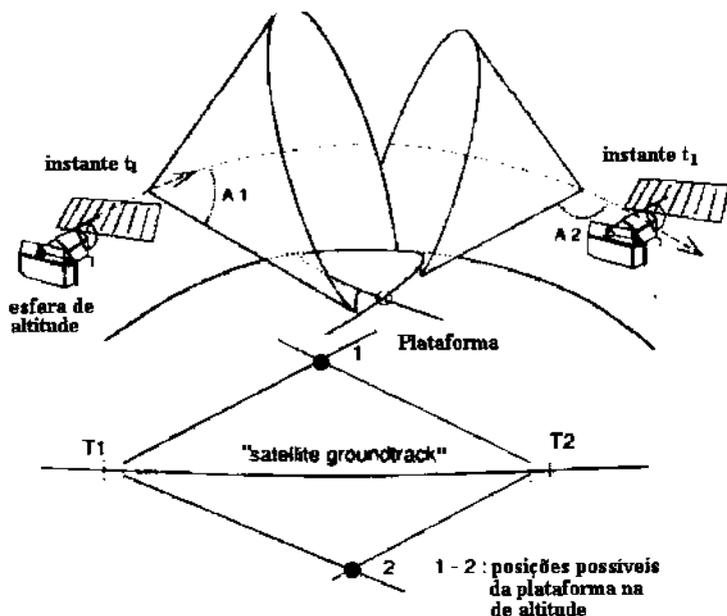


Figura 1 - Cones de localização.
FONTE: CLS (1989).

O campo das possíveis posições da plataforma tem a forma de um semi-cone com o satélite no seu vértice. O vetor velocidade do satélite é o eixo de simetria. O ângulo A (vide Fig. 1) é dado pela Equação 1 (CLS, 1989):

$$\cos A = \frac{(fr - fe) C}{fe V} \quad (1)$$

onde:

C = velocidade da luz;

V = velocidade do satélite relativa à plataforma;

fe = frequência transmitida (entre 401,646 - 401,654 MHz);

fr = frequência recebida.

O sistema de processamento Argos calcula a localização das plataformas estimando sua posição inicial através de um cálculo aproximado usando as medidas Doppler para a primeira e última mensagem durante a passagem, e a estimativa da frequência transmitida mais recente disponível. Isto fornece duas soluções (posições) possíveis. Em seguida, o valor nominal da frequência é calculado para cada medida Doppler feita durante a passagem. O cálculo é feito duas vezes com as duas posições fornecidas.

No presente trabalho, a posição inicial é estimada usando as medidas Doppler da primeira e última mensagem juntamente com as respectivas coordenadas do satélite. Assim, obtém-se duas posições projetadas do satélite em coordenadas geodésicas. Tira-se uma média dessas duas posições, a fim de se obter uma posição inicial para o transmissor. Processa-se os dados e obtém-se duas soluções possíveis para o transmissor.

Toma-se essas duas soluções como os novos valores iniciais da localização geográfica, e considera-se então todas as medidas Doppler de uma passagem do satélite. Essas medidas observadas são processadas através de técnicas estatísticas usando o método dos Mínimos Quadrados sequencial (Aksnes, 1988) para a localização geográfica em tempo quase-real.

Um exemplo específico de estimativa de mínimos quadrados ocorre em problemas de ajustamento de curvas, onde se deseja obter uma forma funcional que melhor represente um determinado conjunto de medidas ou observações. O ajustamento é feito minimizando a soma dos quadrados das diferenças entre as medidas e a forma funcional estimada (Gelb, 1974).

O método, essencialmente, resolve sistemas que possuem a forma da Equação 2:

$$z = Hx + v \quad (2)$$

onde:

z = vetor de m observações (posições dos satélites e frequências recebidas);

x = vetor de n variáveis a serem estimadas;

H = matriz $m \times n$ de coeficientes;

v = vetor m -dimensional dos erros de observação.

A solução de mínimos quadrados é dado na forma (Kuga, 1989) pela Equação 3:

$$\Delta x = \left(H^T H \right)^{-1} H^T \Delta z \quad (3)$$

onde:

Δx é uma correção visando minimizar a norma euclidiana dos resíduos;

$H = \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)_{x=\bar{x}}$ é uma matriz de derivadas parciais calculada em torno de uma trajetória de referência \bar{x} ;

$(H^T H)^{-1}$ é a matriz de covariância do erro na estimativa;

Assim, conhecidas as efemérides do satélite e as frequências dos sinais recebidos, é possível obter a posição geográfica, em tempo quase-real, de plataformas fixas ou móveis.

4. RESULTADOS

Com as frequências dos sinais recebidos da Estação Antártica Comandante Ferraz e no Navio de Apoio Oceanográfico à pesquisa Ary Rongel em cada passagem do satélite, juntamente com as efemérides adquiridas via internet (www.celestrak.com), foi possível montar um banco de dados para a localização geográfica dos PTTs. Através dos dados orbitais é possível propagar-se a órbita do satélite usando os modelos analíticos de NORAD (Hoots and Roehrich, 1980), que calcula as efemérides dos satélites, a partir dos elementos "two lines" padronizados pelo NORAD, até os instantes de recepção de cada sinal enviado pelo transmissor nesta passagem.

Porém, uma observação importante deve ser considerada. Foi observado, durante a coleta de dados, que o programa de recepção de dados desenvolvido por um outro grupo de pesquisadores da sede do INPE de Natal, contem uma falha: os dados referentes ao horário enviados pelo satélite não correspondem ao instante no qual o transmissor envia o sinal para o satélite. Isto se explica da seguinte maneira: existe um "time-stamp" (informação de hora) colocado no "frame" enviado pelo satélite a cada 32 segundos, e o processamento a bordo do satélite com os dados dos transmissores é feito em tempo real. Ou seja, inúmeras transmissões de PTTs recebidas pelo satélite em instantes diversos estão sendo erroneamente referidas a um mesmo instante (de retransmissão pelo satélite, a cada 32 segundos). Consequentemente, como o instante no qual o satélite envia o sinal para a estação de recepção deve ser o mesmo instante em que o transmissor envia o sinal para o satélite, o resultado esperado não terá uma boa precisão, como mostram as figuras que seguem.

Serão considerados dois MTR's, de números 23837 e 23840, na Ilha Elefante e uma AWS (estação meteorológica automática) fixa de número 26478, na Ilha Joinville para a localização geográfica.

Para o MTR 23837, foram plotadas 3 situações distintas, ou seja, nas Figuras 2, 3 e 4 foram considerados os arquivos com duas, três e quatro frequências respectivamente, dos sinais recebidos.

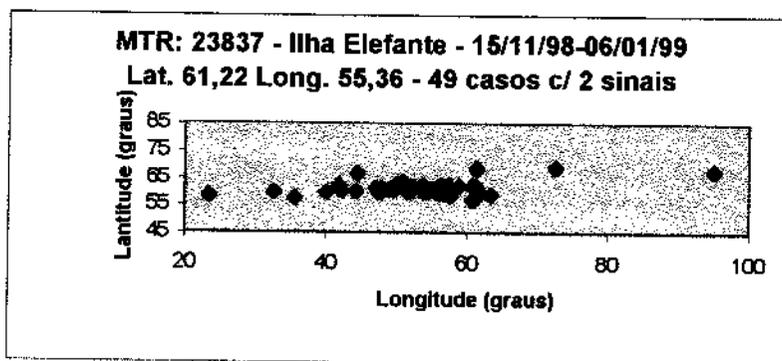


Figura 2 – Localização geográfica – MTR 23837 - 2 sinais.

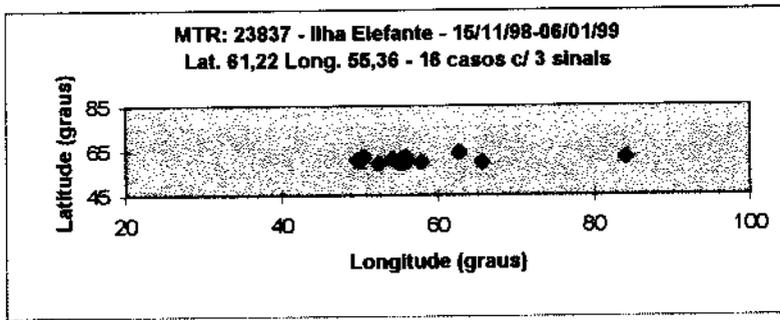


Figura 3 – Localização geográfica - MTR 23837 - 3 sinais.

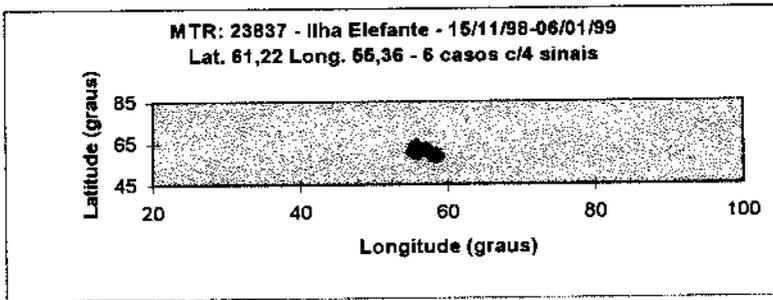


Figura 4 – Localização geográfica - MTR 23837 - 4 sinais.

Na Fig. 2, com duas frequências, existe uma margem de erro de 5 graus na latitude e 15 graus na longitude. Com 3 frequências na Fig. 3 tem-se um erro de 2 graus em latitude e 4 em longitude, e considerando 4 frequências na Fig. 4, o erro é da ordem de 2 graus tanto em latitude quanto em longitude. Nota-se, que quanto maior quantidade de frequências dos sinais recebidos em uma passagem, maior a precisão do resultado. Isto se deve ao modelo estatístico utilizado. Nota-se também, que alguns pontos se encontram bem fora do esperado. Este erro grande, assim como os menores, devem-se principalmente ao erro no programa de recepção de dados, o qual terá futuros melhoramentos. Pode-se notar, que em alguns poucos casos, o erro é da ordem de 0.1 graus, tanto em latitude quanto em longitude. Nestas situações, provavelmente, os dados de hora enviados pelo satélite coincidem com a hora exata na qual o transmissor enviou o sinal para o satélite. Outra observação importante é que a localização geográfica de um transmissor em uma passagem do satélite melhora com o aumento de pulsos recebidos em cada passagem.

Para o MTR 23840 foram obtidos os seguintes resultados:

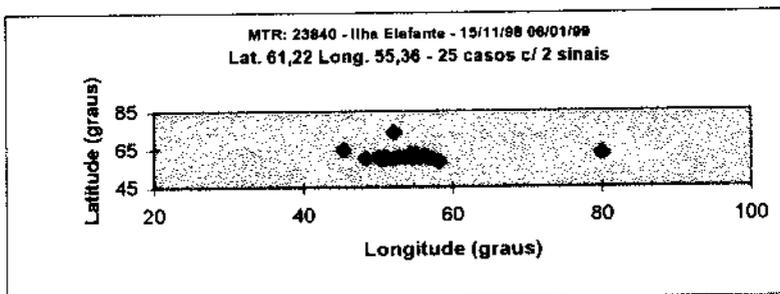


Figura 5 - Localização geográfica - Mtr: 23840 - 2 sinais.

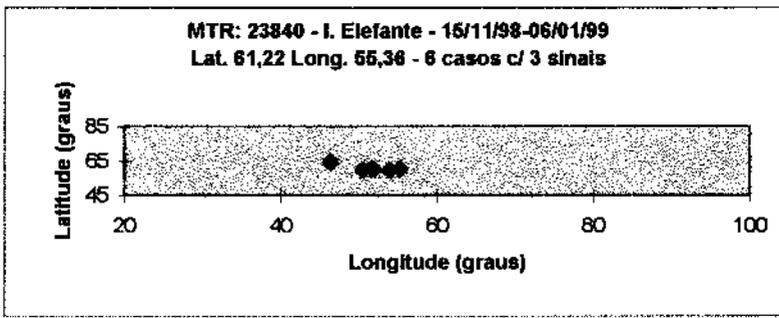


Figura 6 - Localização geográfica - Mtr: 23840 - 3 sinais.

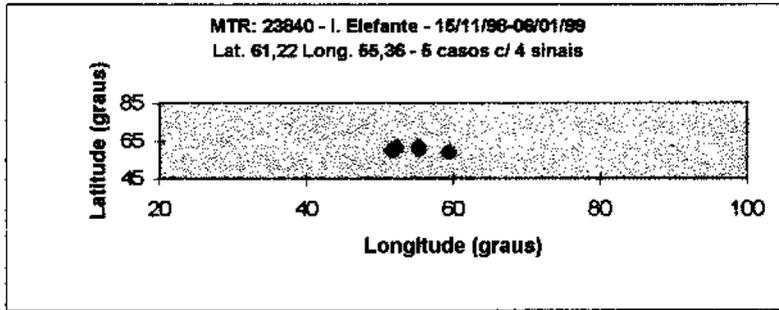


Figura 7 - Localização geográfica - Mtr: 23840 - 4 sinais.

Na Fig. 5, com duas frequências, a margem de erro foi de 4 graus em latitude e 5 graus em longitude. Com 3 frequências na Fig. 6 tem-se um erro de 2 graus em latitude e 4 em longitude e com 4 frequências na Fig. 7, o erro é da ordem de 2 graus tanto em latitude quanto em longitude. Tanto este MTR como o MTR 23837 se encontram no mesmo local (Ilha Elefante). Nota-se uma diferença grande em longitude ao se comparar os gráficos contendo 2 sinais. Isto se deve aos erros e falhas no “software” mencionados anteriormente.

Os resultados do AWS 26478 são dados pelas Figuras 8 e 9, como segue:

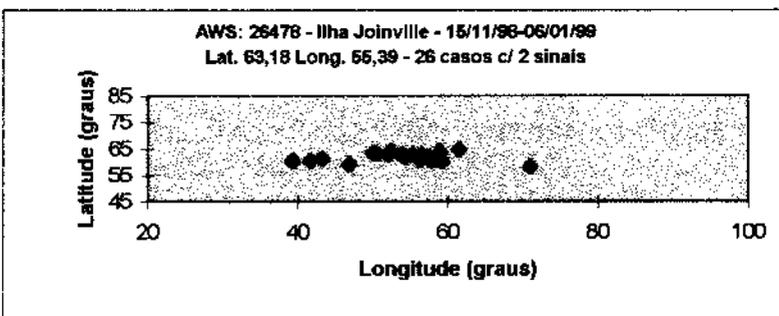


Figura. 8 - Localização geográfica - AWS: 26478 - 2 sinais.

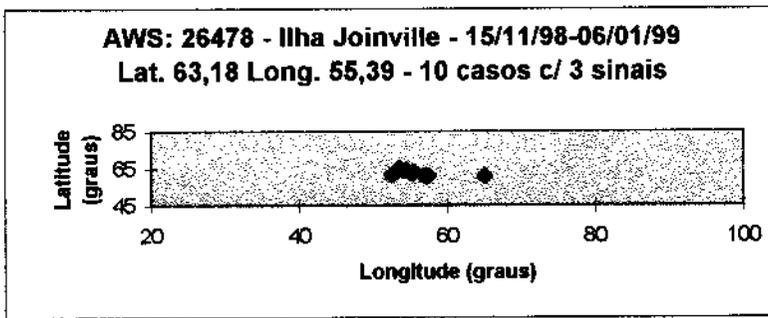


Figura 9 - Localização geográfica - AWS: 26478 - 3 sinais.

Na Fig. 8, considerando duas frequências, tem-se uma margem de erro de 2 graus em latitude e 4 graus em longitude. Com 3 frequências na Fig.9 tem-se um erro de 1 grau em latitude e 2 em longitude. Este transmissor mostrou um resultado um pouco melhor apesar do erro ainda ser da ordem de 100 quilômetros. Pode-se notar que em alguns pontos existe um erro na ordem de 0.1 graus. Novamente, neste caso particular, os dados de hora enviados pelo satélite devem ter sido próximos à hora exata na qual o transmissor enviou o sinal para o satélite.

5. CONCLUSÃO

Conclui-se que os resultados obtidos não foram os esperados, devido aos erros de software já mencionados anteriormente. Mesmo com resultados não satisfatórios, o estudo feito mostrou potencial de utilização bem como uma necessidade na melhoria do sistema como um todo, a qual já está sendo realizada.

Espera-se, em uma segunda etapa, já com o novo software implementado, obter resultados bem mais precisos na localização geográfica de transmissores.

Em janeiro de 1999 foram implementados dois transmissores em elefantes marinhos na região Antártica, Ilha Elefante. Propõe-se também, nesta próxima fase, fazer o rastreamento dos elefantes marinhos, localizando-os geograficamente em cada instante, com a finalidade de estudar o seu deslocamento e hábitos.

REFERÊNCIAS

- Aksnes, K.; Andersen, P. H., Haugen, E., 1988, A precise multipass method for satellite doppler positioning, *Celestial Mechanics*, (44), 317-338.
- CLS, 1988, Service Argos, User Manual, CLS-ARGOS, Toulouse.
- CLS, 1989, Service Argos. Guide to the Argos system, CLS-ARGOS, Toulouse.
- French, J., 1986, Tracking animals by satellite, *Eletronics & Power*, 373 - 376.
- Gelb, A.; Kasper Jr., J.F.; Nash Jr., R.A.; Price, C.F.; Sutherland Jr., A.A, 1974 *Applied Optimal Estimation*. The M.I.T., England.
- Hoots, F.R.; Roehrich, R.L., 1980, Models for propagation of NORAD elements sets, Peterson AFB CO (Spacetrack Report No. 3).
- Kuga, H.K., 1989, Determinação de órbitas de satélites artificiais terrestres através de técnicas de estimação combinadas a técnicas de suavização de estado, Ph.D. Thesis, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE-4959-TDL/079), São José dos Campos, São Paulo, Brasil.
- Setzer, A., 1997, Manual do sistema de dados remotos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo, Brasil.

LISTA DE DISTRIBUIÇÃO:

Cristina Tobler de Sousa

Hélio Koiti Kuga

Alberto Setzer

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Departamento de Mecânica e Controle

Av. dos Astronautas, 1758, Cx. P. 515 - 12227-010 - São José dos Campos, SP, Brasil