

## A localização geográfica de plataformas no Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais

Cláudia Celeste Celestino<sup>1</sup>

Wilson Yamaguti<sup>1</sup>

Hélio Kuga<sup>2</sup>

Cristina Tobler de Sousa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Divisão de Sistemas Espaciais  
- DSE, São José dos Campos, Brasil  
claudia@dss.inpe.br, yamaguti@dss.inpe.br

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Divisão de Mecânica Espacial e Controle - DMC, São José dos Campos, Brasil  
hkk@dem.inpe.br

<sup>3</sup>DMA-FEG-UNESP – Departamento de Matemática - Guaratinguetá, Brasil,  
cristina@dss.inpe.br

**Abstract:** This paper presents the work being done in the Brazilian Environmental Data Collection System related to the location determination of mobile applications, such as animal tracking, vessel monitoring, drift buoys tracking and moored buoys monitoring. The geographical location of the platform is computed based on Doppler shift measurements at a receiving station. A version of the location software was developed and it is being tested with fixed platforms and with some initial trials with mobile platforms. For the evaluation with the fixed platforms, two platforms were selected: DCP 113 located in French Guiana (5,1417°N; 56,0600°W) and DCP 32590 located in Cuiabá (15.555008°S; 56,06976°W) . The results of location are compared using two different satellites SCD-2 (25 degrees inclination) and NOAA17 (polar orbit) during 8 days period, starting on October 30 to November 7, 2008. The Geographical Location Software uses the Two Line Elements (TLE) as a standard form to feed the satellite orbit and the Doppler measurement files capture during a satellite pass over a receiving station related to the specific platform to be located. The error results of the Location Software are compared between the two satellites, SCD-2 and NOAA-17. The location error depends on the geometry between the platform location, the receiving station location and the satellite pass. It also depends on the quality of the platform transmitter (oscillator stability, transmitted power), the on board oscillator, and the quality of frequency and time measurements at the station.

**Palavras-chave:** Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais, localização geográfica, Plataformas de Coleta de Dados, desvio Doppler.

### 1. Introdução

O Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais consiste de um conjunto de satélites que captam e retransmitem para estações de recepção em solo dentro de suas coberturas, dados recebidos de plataformas de coleta de dados (PCDs) terrestres. Estas plataformas podem ser fixas ou móveis. O Centro de Missão Coleta de Dados (CMCD), localizado em Cachoeira Paulista, SP realiza o processamento, o armazenamento e a disseminação para os usuários. Atualmente, o sistema é composto pelos satélites SCD-1, SCD-2 e CBERS-2B. Este sistema é utilizado por diversas aplicações de coleta de dados como para o monitoramento hidrológico, meteorológico, qualidade d'água, estudos oceanográficos, entre outros. Os dados destes satélites coletados são utilizados

em diversas aplicações. Este trabalho explora uma das funcionalidades oferecidas pelo SBCDA: a localização geográfica de PCDs baseada no efeito Doppler e por método estatístico de mínimos quadrados.

As PCDs emitem sinais contendo dados para os satélites na frequência UHF. O satélite atua como um “espelho” retransmitindo esses sinais para as estações de recepção. Nas estações de recepção, o equipamento denominado de Processador de Coleta de Dados (PROCOD) faz a recepção das mensagens, incluindo a medida de frequência do enlace de subida (transmissão da plataforma até o satélite) com a datação associada. Os arquivos gerados nas estações de recepção são transmitidos para o CMCD que faz o pré-tratamento dos dados, ordenação e submissão ao Software de Localização de Plataformas. Simultaneamente, os dados coletados pelas PCDs são também processadas, armazenadas e disseminadas aos respectivos usuários via FTP.

Utilizando o software de localização desenvolvido pelo INPE com dados de medida Doppler adquiridos durante a passagem do satélite e pelos *Two Line Elements* (TLE) referentes ao período desejado, as localizações das plataformas são obtidas. Os erros de localização podem ser obtidos comparando-se com a referência obtida com receptor GPS. Considerando este procedimento podemos aplicar para as seguintes situações: rastreamento de animais, monitoramento de embarcações de pesca, rastreamento de bóias de deriva e monitoramento de bóias ancoradas, dentre outras.

Este artigo descreve uma avaliação dos erros de localização geográfica de PCDs, considerando um satélite de órbita equatorial (SCD-2) e um satélite de órbita polar (CBERS-2B ou NOAA-17).

O conteúdo deste artigo está organizado da seguinte maneira: na seção 2 é apresentado o desenvolvimento do trabalho; na seção 3 é descrito o Sistema de Localização Geográfica de PCD's; na seção 4 são apresentados os resultados dos erros de localização e as análises qualitativas de se usar as condições iniciais em função da órbita do satélite e na seção 5 análise dos resultados obtidos.

## **2. Desenvolvimento do Trabalho**

Os passos desenvolvidos pelo trabalho foram os seguintes:

- a) Duas PCDs com frequência nominal de 401,650 MHz foram selecionadas em que suas localizações geográficas de referência são: PCD113 com latitude de  $-12.0960^\circ$  e longitude de  $282.9600^\circ$ ; e PCD32590 com latitude de  $-15.555008^\circ$  e longitude de  $303.930240^\circ$ . Foram considerados dados de passagem do satélite do SCD-2 e NOAA17. As passagens dos satélites utilizadas foram obtidas da estação de recepção de Cuiabá e o tempo de teste de somente oito dias.
- b) Foram selecionadas amostras dos dados coletados pelos satélites durante o período de oito dias.
- c) Para o satélite SCD-2, os *Two Line Elements* foram obtidos do Centro de Controle de Satélites (CCS) do INPE e para o satélite NOAA17 foi obtido no endereço eletrônico <http://celestrak.com>.
- d) Para cada passagem do satélite, considerando o período de oito dias, foi feita a localização das PCDs usando o desvio Doppler e o software de localização desenvolvido por Souza (2000).

## **3. O Sistema de Localização Geográfica de PCD's**

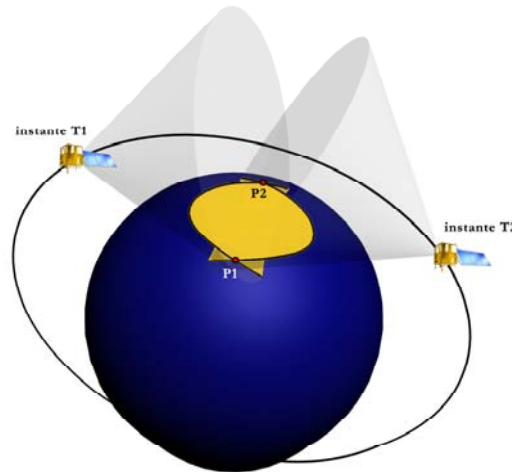
Durante a passagem de um satélite, os sinais transmitidos pelas PCDs são imediatamente retransmitidos para as estações de recepção. Na estação de recepção os sinais recebidos são processados e as frequências Doppler de subida são medidas. A diferença entre a frequência do sinal recebido e a frequência nominal fornece o desvio

Doppler. O princípio básico de localização utilizando o desvio Doppler é dado por (Resnick, 1968):

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

em que  $f_r$  é a frequência de transmissão recebida pelo satélite;  $f_t$  é frequência de referência do transmissor;  $(f_r - f_t)$  é o desvio Doppler devido a velocidade relativa entre satélite-transmissor;  $c$  é a velocidade da luz.

Para cada medida Doppler corresponde a um cone sólido de localização, cuja intersecção com a esfera terrestre representa as possíveis posições do transmissor. A Intersecção de dois cones na esfera de altitude fornece duas possíveis posições, em uma única passagem, representados pelos pontos  $P_1$  e  $P_2$ , veja Figura 4. Para distinguir qual das duas posições é a correta, uma informação adicional é requerida, tal como, o conhecimento prévio aproximado da posição. Uma segunda passagem do satélite, com dados válidos, remove essa incerteza. Cada satélite vê simultaneamente todas as plataformas dentro de um cone sólido com círculo (alcance) de visibilidade de aproximadamente de 5.000 km.



**Figura 4** - Representação da órbita do satélite e de dois cones correspondentes aos sinais recebidos nos instantes  $T_1$  e  $T_2$  de uma dada plataforma. Transmissor emitindo sinais de frequência para o satélite nos instantes  $T_1$  e  $T_2$ .

Para a solução da equação (1) utilizaremos o método de mínimos quadrados. Considerando  $x$  e  $y$  dois vetores reais de forma que representem um estado físico e um estado observável de um sistema dinâmico. Assim, temos que  $y$  esta relacionado com  $x$  através de uma função vetorial. Além disto temos que qualquer processo de observação envolve imperfeições que não podem ser modeladas de maneira determinística, assume-se que as imperfeições observadas em  $y$  são modeladas de maneira aleatória e é representadas por um vetor  $v$ . Desta forma, as medidas de desvio Doppler podem ser modeladas como

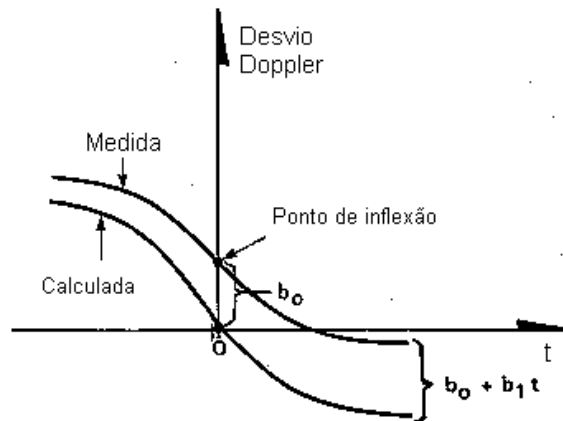
$$y = h(x) + v, \quad (2)$$

em que  $h(x)$  é uma função não linear descrita por Aksnes et al. (1998).

Os parâmetros de localização e as efemérides do satélite são relacionados através da expressão apresentada por Souza (2000) e por Souza et al. (2003):

$$h(x) = \frac{[(x-X)(\dot{x}-\dot{X}) + (y-Y)(\dot{y}-\dot{Y}) + (z-Z)(\dot{z}-\dot{Z})]}{\sqrt{(x-X)^2 + (y-Y)^2 + (z-Z)^2}} + b_0 + b_1 \Delta t \quad (3)$$

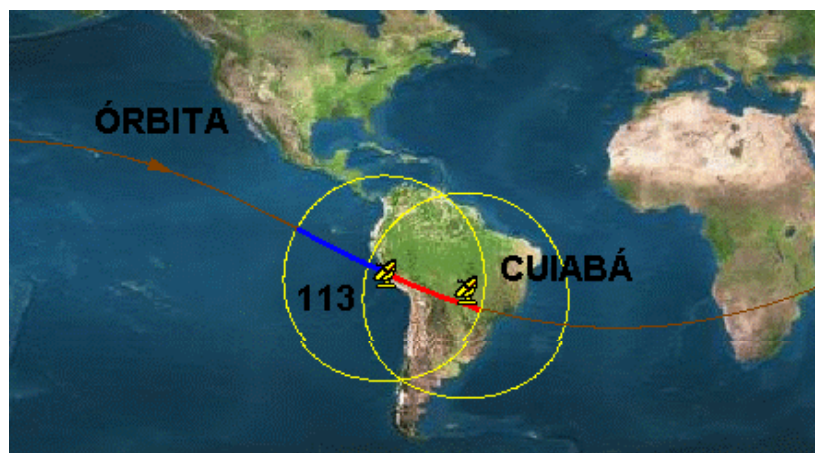
em que  $(x, y, z)$  e  $(X, Y, Z)$  são as coordenadas de posição do satélite e do transmissor.  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$  e  $(\dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z})$  representam os vetores velocidade do satélite e do transmissor nas coordenadas geocêntricas.  $b_0$  e  $b_1$  são constantes associadas com cada curva Doppler, veja Figura 5.



**Figura 5** – As curvas Doppler, observadas e calculadas. Parâmetros a serem estimados: latitude, longitude, altitude, “bias”  $b_0$  e  $b_1$  associados a cada curva Doppler.

Na Figura 6 é mostrado um exemplo de uma passagem típica do satélite SCD-2 em analogia a curva Doppler. Nesta figura a linha em azul representa os desvios Doppler positivos, a em vermelha os desvios Doppler negativos e a curva em amarelo são os círculos de visibilidade onde o contato com satélite é possível.

Cabe ressaltar que a qualidade da determinação de posição geográfica depende das amostras obtidas da curva Doppler. Amostragem ideal é obter um ponto no início da curva, outra no meio e outra no final da curva. Situações onde a passagem só permite obtenção de parte da curva Doppler, os erros podem crescer, especialmente quando se tem apenas um dos lados da curva Doppler.



**Figura 6** – Um exemplo de passagem do SCD-2.

Como foi visto a localização depende do tipo de passagem do satélite. A inclinação do satélite SCD-2 é de 25°, ou seja, uma órbita equatorial e, portanto, a quantidade de passagens por dia é maior que uma órbita polar. Como o satélite NOAA-17 tem uma Inclinação de 98.74°, ou seja, uma órbita polar e como consequência poucas passagens por dia sobre uma estação. A dependência deste parâmetro no erro de localização geográfica de PCDs está apresentada na seção seguinte.

#### **4. Resultados**

Neste item apresentaremos os resultados encontrados nos erros de localização geográfica de duas PCDs, PCD113 com latitude de -12.0960° e longitude de 282.9600° PCD32590 com latitude de -15.555008° e longitude de 303.930240° e frequência nominal de recepção de 401,650 MHz para o período entre 30 de outubro e 07 de novembro de 2008. Observar que a taxa de transmissão da PCD113 é cerca de 60s enquanto que a da PCD32590 é de aproximadamente 200s. A localização só é possível quanto pelo menos três medidas são obtidas por passagem.

Os resultados encontrados utilizando as passagens do satélite SCD-2 são mostrados na Tabela 1 e os resultados utilizando o satélite NOAA17 não foram possíveis visto que a qualidade das amostras obtidas para o período indicado não foi ideal. Os erros obtidos foram considerados grandes em comparação aos obtidos utilizando as passagens do satélite SCD-2.

#### **5. Conclusões**

Os resultados mostram que novos testes devem ser feitos e que neste período as passagens do SCD-2 foram satisfatórias para a localização das PCDs utilizadas. Deverão ser feito testes com os dados do satélite CBERS-2B para averiguar com melhor precisão as diferenças na localização geográfica de PCDs utilizando satélites com órbitas equatoriais e polares.

#### **Agradecimentos**

Os autores desse trabalho agradecem ao CNPq (processo N° 382746/2005-8) pelo apoio financeiro.

#### **Referências Bibliográficas**

Aksnes, K.; Andersen, P.H. and Haugen, E. A Precise Multipass Method For Satellite Doppler Positioning, *Celestial Mechanics*, 44, 317-338, 1988.

CelesTrak – acesso em 13 de outubro de 2008 no endereço eletrônico:  
[http://science.nasa.gov/Realtime/rocket\\_sci/orbmech/state/2line.html](http://science.nasa.gov/Realtime/rocket_sci/orbmech/state/2line.html).

Resnick, H. **Introduction to Special Relativity**, New York: John Wiley, 1968.

Sousa, C. T.; Kuga, H. K. And Setzer, A. W. Geo-Location of Transmitters Using Real Data, Doppler Shifts and Least Squares. *Acta Astronautica*, v. 52, n. 9, p. 915-922, 2003.

Sousa, C.T. Geolocalização de Transmissores com Satélites Usando Desvio Doppler em Tempo-Quase-Real. **Tese de doutorado**, São José dos Campos, INPE, 2000.

Tabela 1 – Localização das plataformas PCD113 e PCD32590 com dados coletados pelo SCD-2.

DATA (Ano - 2008)	HORÁRIO (UTC)	PCD	ERRO DE LOCALIZAÇÃO (Km)
30/10	17h 46	32590	2,68
	19h 27		2,47
31/10	04h 20	113	1,06
	22h 12		3,82
01/11	03h 33	113	4,33
	05h 21		2,86
	23h 13		4,71
02/11	18h 52	113	2,89
03/11	03h 00	32590	4,60
	05h 37		0,90
	18h 08		1,03
	18h 05	113	3,52
	19h 53	1,09	
05/11	02h 11	113	2,17
	23h 37		0,29
06/11	01h 24	113	1,33
	03h 11		0,95
	17h 29		1,69
	19h 17		0,75
	22h 51		1,26
07/11	16h 46	32590	1,73
	18h 34		3,45
	20h 20		1,72
	22h 07		1,16
	16h 43	113	3,57
	20h 16	3,79	
	23h 49	1,63	