

## Análise Espectral de Dados SMMR para Estudo de Padrões de Inundação do Pantanal

Murilo S. Dantas<sup>1</sup>  
Reinaldo R. Rosa<sup>1</sup>  
Deborah F. Calheiros<sup>2</sup>  
Thalita B. Veronese<sup>1</sup>  
Ivan B. T. Lima<sup>2</sup>  
Stephen K. Hamilton<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{murilo, reinaldo}@lac.inpe.br

<sup>2</sup>Embrapa Pantanal  
Corumbá-MS, Brazil

<sup>3</sup>Kellogg Biological Station and Dept. of Zoology, Michigan State University, USA

**Abstract.** Inundation seasonal patterns are important in the understanding of tropical floodplain ecosystems dynamics. In this study, we have analysed data derived from 37-GHz polarization differences observed by the Nimbus-7 Scanning Multichannel Microwave Radiometer (SMMR). The passive microwave observations, for 10 Pantanal subregions, provide an robust signature of inundation dynamics in large wetlands such as the Pantanal. The time series was obtained taking into account the differences between vertically and horizontally polarized brightness temperatures providing a sensitive indicator of the surface water against a vegetation land surface background. Each time series was analysed by applying the gradient pattern analysis on a multiresolution representation obtained from wavelet decomposition/reconstruction technique. The main result have shown similar variability patterns for the following groups of subregions: (i) Miranda and Piquiri; (ii) Negro and Nhecolândia; (iii) Corixo, Paraguay, Cuiabá and Taquari fan; and (iv) Taquari river and Nabileque. Some hydrological aspects are discussed in order to understand the clusterization found from our results.

**Palavras-chave:** Pantanal, padrões de inundação, varredura multi-canal em microondas, análise de padrões-gradiente, wavelet.

### 1. Introdução

Para compreensão da hidrologia, bioquímica e ecologia de regiões tropicais sujeitas a inundações, é necessário obter informações sobre os padrões de variabilidade entre terra seca e terra inundada dessas regiões (e.g. Hamilton, 1996). No contexto brasileiro, a região pantaneira é um típico exemplo com dinâmica de inundações.

O Pantanal é uma savana tropical inundada localizada na América do Sul ocupando uma área de cerca de 137.000 km<sup>2</sup> em território brasileiro. A maior parte da região está situada no Brasil, com pequenas áreas na Bolívia e Paraguai (Veja Figura 1). O clima da região é tropical com uma estação chuvosa bem característica. A precipitação pluviométrica anual está entre 1.000 a 1.700 mm, com chuvas mais concentradas entre novembro e março.

A dinâmica da inundação pode ser estudada através de séries temporais obtidas a partir da diferença de temperatura de brilho medidas em 37 GHz pelo radiômetro SMMR do satélite Nimbus-7. Embora os perfis de inundação sejam robustos a partir deste tipo de medida, as séries obtidas são compostas apenas por uma centena de pontos, inviabilizando assim o uso de técnicas estatísticas para a classificação dos padrões de variabilidade observados. Tentando



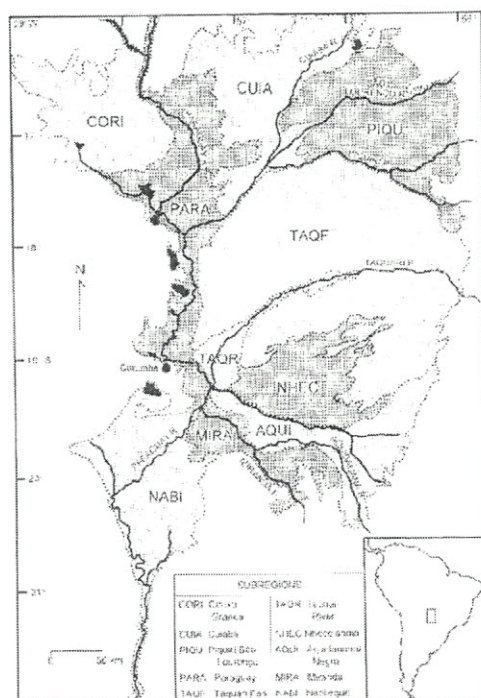


Figure 1: Os principais rios e sub-regiões do Pantanal.

contornar esta limitação metodológica, nesse trabalho utilizamos uma técnica alternativa desenvolvida para o estudo de séries curtas, conhecida como Análise de Espectros-Gradientes (Rosa et al, 2008; Dantas, 2008).

## 2. Dados e Metodologia

Nesse estudo, nós analisamos dados de variação sazonal em sub-regiões inundadas do Pantanal. Os dados foram coletados através de emissão passiva de microondas a 37 GHz pelo SMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer). Utilizando técnicas de aproximação por métodos de mistura linear são geradas séries temporais para a variável  $\Delta T_{obs}$  que corresponde à diferença entre temperaturas de brilho para superfícies completamente inundadas e superfícies com vegetação. As séries, mostradas na Figura 2, cobrem o período de 1979 a 1987, para dez sub-regiões pantaneiras, originalmente estudadas por Choudhury (1992) e Hamilton (1996). Os algoritmos para o cálculo da fração de inundação compreendem modelos de mistura linear em unidades de grade medindo  $0,25 \times 0,25$ . Os detalhes desses cálculos podem ser encontrados em Sippel, 1994.

Neste trabalho, por meio dos espectros-gradientes, temos por objetivo comparar os padrões de variabilidade de  $\Delta T_{obs}$  das seguintes sub-regiões do Pantanal: Corixo, Cuiabá, Miranda, Nabileque, Negro, Nhecolândia, Paraguai, Piquiri, Taquari fan e Taquari river.

A seguir descreve-se uma síntese metodológica para obter o espectro-gradiente de uma dada série temporal curta (Rosa et al., 2007). Primeiramente, as principais componentes da série são obtidas pela análise de multi-resolução que utiliza uma wavelet bi-ortogonal.

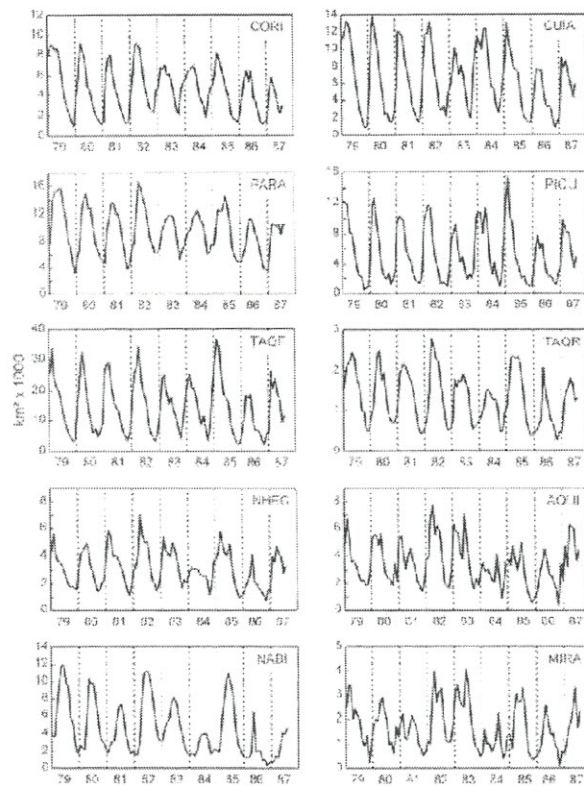


Figure 2: Estimativas mensais da área de inundação para cada sub-região do Pantanal, representadas por medidas de  $\Delta T_{obs}$  derivadas das observações do SMMR no período de 1979 a 1987. As abreviações para cada sub-região está definida na Figura 1.



Em seguida, aplica-se o operador para cálculo das assimetrias de cada componente da série obtida pela análise multi-resolução. Para o cálculo das assimetrias é necessário determinar qual a janela característica que maximiza as assimetrias da série. Essa escala característica é obtida a partir da máxima variância encontrado no diagrama de energia da série. O diagrama de energia é obtido por meio do espectro global de wavelet utilizando a ondeleta-mãe Chapéu Mexicano (Dantas, 2008). Uma vez determinada a escala característica, o cálculo das assimetrias é realizado de acordo com a metodologia descrita por Rosa, Sharma e Valdivia (1999) e Assireu et al. (2002). Nessa operação a série é transformada em uma matriz  $N \times N$ , onde  $N$  é determinado pela escala característica. A matriz das amplitudes da série é então transformada na sua respectiva grade de gradientes, onde os valores absolutos na matriz são substituídos pelos valores relativos (diferenças entre as amplitudes) representados pelos respectivos vetores gradientes com fase e norma. O coeficiente de assimetria é então calculado através da fórmula  $G_A = \frac{|N_C - N_V|}{N_V}$ , onde  $N_V > 0$  é o número total de vetores assimétricos e  $N_C$  é o número de conexões entre todos os vetores (gradientes locais). Calculando os valores de  $G_A$  para componente da série obtém-se o seu respectivo espectro-gradiente. Finalmente, sobre cada espectro-gradiente calcula-se a sua flutuação através da fórmula:

$$f_{eg} = \left\langle \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (G_n - \langle G_n \rangle)^2} \right\rangle \quad (1)$$

Portanto, para cada uma das séries temporais, correspondentes as sub-regiões do Pantanal, teremos uma típico e robusto espectro-gradiente que congrega todas as informações de variabilidade da série tanto nas escalas mais finas (de altas-frequências), como nas escalas de baixa frequência.

### 3. Resultados

Analisamos a ST da região do Pantanal Mato-grossense, com o intuito de classificar as diferentes sub-regiões de acordo com a variabilidade do perfil de inundação. A Figura 3a mostra os valores  $f_{eg}$  para cada série temporal mostrada na Figura 2. O primeiro resultado importante é a semelhança entre os padrões de inundação dos rios Corixo Grande e Paraguai. Buscando comparar os padrões mais semelhantes, podemos agrupar, por semelhança no padrão de inundação (via flutuações do espectro-gradiente), as seguintes sub-regiões: (i) Miranda e Piquiri; (ii) Negro e Nhecolândia; (iii) Corixo, Paraguai, Cuiabá e Taquari fan; and (iv) Taquari river e Nabileque. Utilizando três ST médias que correspondem, respectivamente, à região norte (Corixo Grande, Cuiabá, Paraguai, Piquiri), região central (Leque do Taquari Fan e rio Taquari River) e região sul (Nhecolândia, Aquidauana/Negro, Nabileque e Miranda), concluimos que, devido a semelhanças hidrológicas, os padrões de inundação podem ser classificados em tipo Norte, Centro e Sul (Figura 3b). Em geral, o ciclo de inundação sazonal é geralmente mais regular nas sub-regiões mais ao norte, que possuem padrões de inundação mais regulares com mudanças bem graduais, relacionadas diretamente às chuvas. Já as regiões mais ao sul, possuem uma variabilidade mais assimétrica em seu padrão, como pode ser visto na Figura 3b, devido ao efeito da passagem da onda de cheia pela planície (*efeito de planície*) e pelas chuvas locais. Segundo Hamilton et al. (1996), diferenças entre as sub-regiões são também observadas nas áreas que permanecem inundadas durante o período de estiagem (áreas de alta inundação).

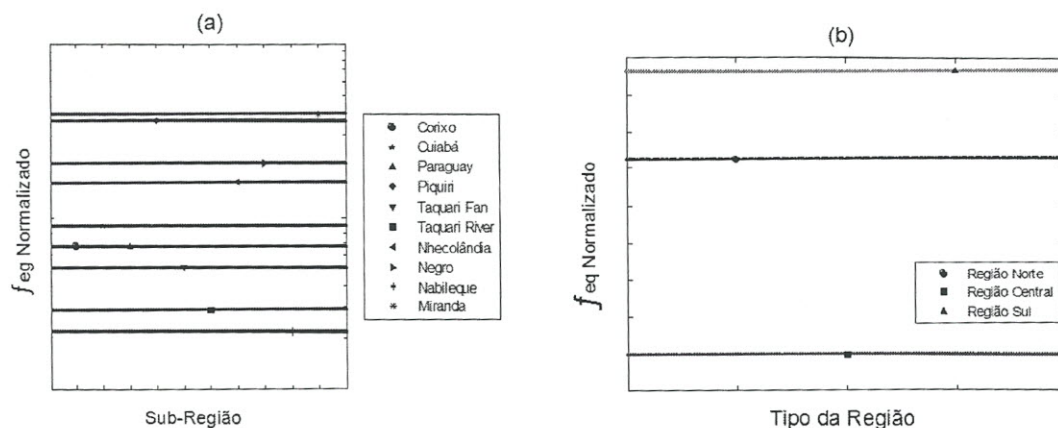


Figure 3: (a) Valores da flutuação do espectro-gradiente para cada sub-região pantaneira. As linhas horizontais correspondem aos respectivos valores do desvio padrão em torno da média de cada espectro, evidenciando a precisão e conseqüente robustez dos espectros. (b) Valores médios da flutuação do espectro-gradiente, por região Norte, Central e Sul do Pantanal.

#### 4. Conclusão

Por meio da técnica denominada análise do espectro-gradiente, robusta para séries curtas, conseguimos agrupar padrões de inundação semelhantes em diferentes sub-regiões que representam a região Pantaneira. Além de fatores hidrológicos, outras propriedades do sistema de origem geoquímica e ecológica, podem auxiliar na interpretação dos resultados obtidos neste trabalho.

Um aspecto importante é o chamado efeito de planície: passagem da água proveniente do norte (60% do volume que chega ao Pantanal), diminuindo sua velocidade, por meandros, áreas de baixa declividade, alta permeabilidade dos solos (por serem predominantemente arenosos, conseqüentemente hidromórficos), além das plantas da planície inundável. A região central (área do Taquari) apresenta um regime totalmente próprio, pois o rio é divergente, não recebe tributários depois que entra na planície, em Coxim (MS). A região sul, exceto Nhecolândia, responde também mais às chuvas, mostrando diferenças significativas entre planalto e planície dos rios Miranda e Aquidauana, chegando ao rio Paraguai após a régua de Ladário. Note que esses rios da região sul estudada, são recebidos na região do Nabileque que, por fatores geomórficos, apresentam pouca área de inundação.

Como comentário final, uma vez que os resultados obtidos indicam forte correspondência fenomenológica com a hidrologia da região estudada, a análise das séries curtas desenvolvidas aqui, constitui um teste importante de robustez para o método do espectro-gradiente.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro.

#### Referências Bibliográficas

A. T. Assireu, R. R. Rosa, N. L. Vijaykumar, J. A. Lorenzetti, E. L. Rempel, F. M. Ramos, L. D. Abreu Sá, M. J. A. Bolzan, A. Zanandrea, Gradient pattern analysis of short

nonstationary time series: an application, *Physica D*, 168, 397-403, 2002.

B. J. Choudhury, E. R. Major, E. A. Smith, F. Becker. Atmospheric effects on SMMR and SMMM polarization difference over the Sahel. *Int. J. Remote Sensing*, 13, 3443-3463, 1992.

M. S. Dantas, Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada, INPE, 128pp. 2008.

R. R. Rosa, A. S. Sharma, J. A. Valdivia, Characterization of asymmetric fragmentation patterns in spatially extended systems, *Int. J. Mod. Phys. C*, 10, 147-163, 1999.

R. R. Rosa et al. Gradient pattern analysis of short solar radio bursts, *Adv. in Space Res.* 42, 844-851, 2008.

S. K. Hamilton, S. J. Sippel, J. M. Melack. Inundation patterns in the Pantanal wetland of south america determined from passive microwave remote sensing, *Arch. Hydrobiol.*, 137, p. 1-23, 1996.

S. J. Sippel, S. K. Hamilton, J. M. Melack. Determination of inundation area in the Amazon River floodplain using the SMMR 37 GHz polarization difference. *Remote Sensing Environ.*, 48, 70-76, 1994.