

Previsão de Cheias Via Satélite para o Planejamento Ambiental do Pantanal: Subsídios para as Atividades Humanas no Complexo

Fabio Martins Ayres¹
William Tse Horng Liu²

¹ OIKOS Cooperativa de Trabalho Sócio Ambiental
Av 1º de Maio, 228 Jd. São Bento – 79004-620 – Campo Grande – MS, Brasil
fabio_oikos@yahoo.com.br

² Universidade Católica Dom Bosco
Av. Tamandaré, 6000 Jd Seminário – 79117-900 – Campo Grande – MS, Brasil
will@ucdb.br

Abstract

The upper Paraguay River Basin (PRB) takes part of La Plata Basin, within 496.000 km² shared with important South America countries and with limits at Brazilian central western region, Bolivia and Paraguay northeast region. The PRB is divided at two distinct parts: upper (Planalto) and lower (Planície) used to name “Pantanal”. Using a method of collecting Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data, precipitations parameters (PCP) from ANA – National Agency of Waters, and DAAC of NASA from satellites images from NOAA AVHRR GAC with resolution of 8 x 8 km, pattern images were used to create reliable flood forecasting models. The forecasting models created allow making flood forecasting from 1 up to 3 months of precision, raising the capability of Pantanal inundation forecasts increasing the benefits for economic activities, agriculture, ranching, and tourism, comprehension of ecologic process and cycles and also harmonization of human activities at whole PRB. The water management is one of most important subsidies for PRB population to reach the balancing for PRB development and environmental preservation.

Palavras-chaves: paraguay river basin, pantanal, índice de vegetação, bacia do alto paraguai, cota, precipitação.

1 - Introdução

A Bacia do Alto Paraguai (BAP) é parte integrante da Bacia do Prata, tem uma área aproximada de 496.000 km² compartilhada pelo centro oeste brasileiro, leste da Bolívia e nordeste do Paraguai. Em território brasileiro, a área é de 362.376 km² (MS e MT). A BAP se divide em duas regiões distintas: a superior (Planalto) e a inferior na (Planície) denominado Pantanal, apresentados na **Figura 1**. Em conjunto com os rios Uruguai e Paraná, o rio Paraguai representa um dos três principais componentes da Bacia da Prata, que drena quase 20% da água do continente sul-americano. O ponto de saída dos confluente dos rios das sub-bacias como, por exemplo, o rio Paraguai está localizado em Porto Murtinho. Portanto, os dados de cota e vazão deste ponto inferem a quantidade d'água captada pela BAP.

Segundo dados do IBGE o Estado de Mato Grosso do Sul ocupa na bacia uma área aproximada de 188.178,94 Km², correspondente a 52,54% da área do Estado. O Pantanal

representa no Estado cerca de 24,6% de sua área. Na BAP a população humana é esparsa, embora atinja quase 2.000.000 de pessoas, a maioria residem em áreas urbanas.

Os setores econômicos que abrigam a população da BAP estão distribuídos em: 20% no setor primário, 18% no setor secundário e 62% no setor terciário com rendimento médio mensal dos responsáveis pelo domicílio de 3,6 salários mínimos. A pecuária, a pesca, mineração e a agricultura são as principais atividades econômicas da região, fora dos centros urbanos. A poluição das terras e águas, o desmatamento, a erosão do solo e a pesca excessiva são algumas das conseqüências oriundas da falta de planejamento e do gerenciamento deficiente. Também ocorrem pressões no sentido de elevar os níveis de atividade econômica, muitas vezes agressora do ambiente natural.

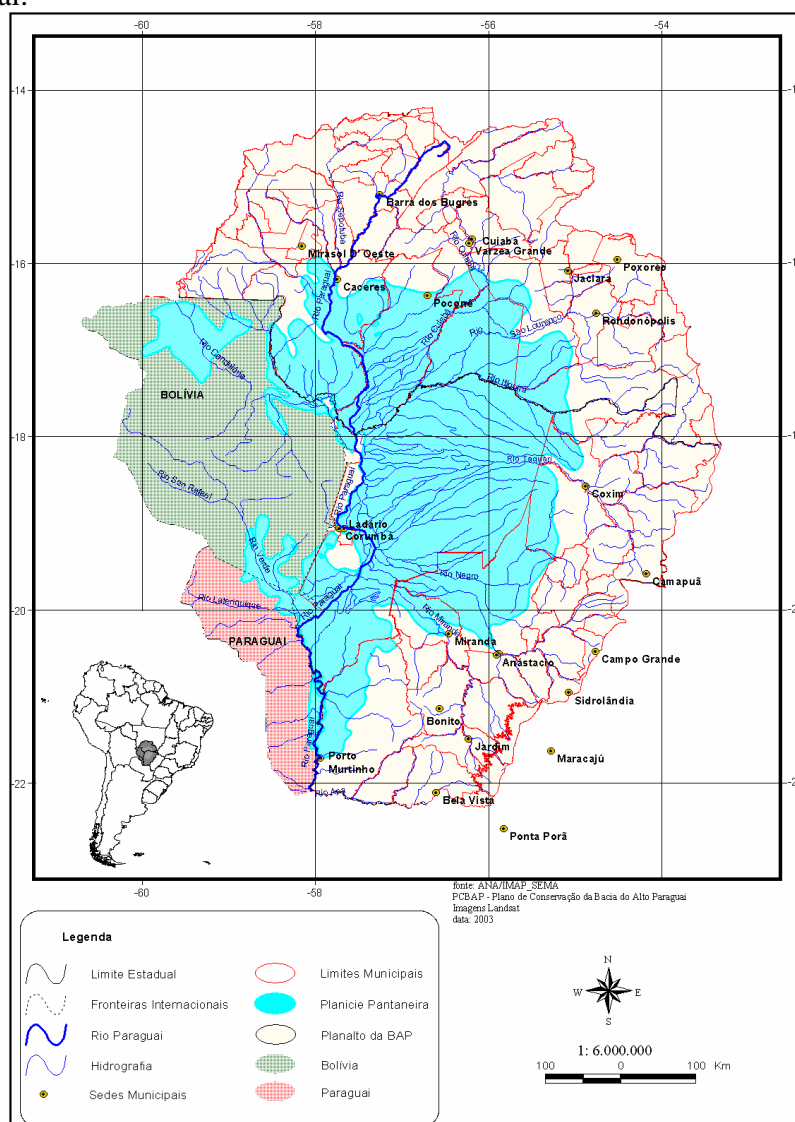


Figura 1 –Limite da Bacia do Alto Paraguai e Identificação do Pantanal e do Planalto.

2 – Metodologia

O procedimento para a construção dos modelos para previsão de cheia via satélite na BAP teve início com as investigações de projeto e levantamentos secundários sobre o conhecimento relacionado com o assunto.

Os levantamentos primários e o tratamento dos dados foram realizado no laboratório de Geoprocessamento da UCDB com a seguinte cronologia:

- I. Coleta e tabulação dos dados foram realizadas utilizando informações sobre COTA, precipitação (PCP) e dados de NDVI, respectivamente adquiridos da ANA – Agência Nacional de Águas, 6º Distrito Naval da Marinha Brasileira em Ladário, Embrapa e DAAC da NASA;
- II. Desenvolver de modelos alternativos de previsão de COTA para a BAP e cada sub-bacia;
- III. Validar os modelos alternativos para a previsão do avanço das cheias no Pantanal utilizando os parâmetros bioclimáticos gerados com os dados de NOAA AVHRR;
- IV. Fornecer informações necessárias para gerar o alerta da ocorrência das cheias para tomada de decisões adequadas, minimizando ou evitando os danos graves causados pelas cheias.

2.1 – Dados

Para a construção do modelo de previsão de cheia, além das informações de NDVI obtidas pelo sensor orbital, foram utilizados os parâmetros de Precipitação – PCP, coletados pelas estações hidrometeorológicas pontuais distribuídas na superfície terrestre e informações do nível de água mensal – COTA, todas as informações foram separadas e analisadas.

Neste estudo, foram usados os dados mensais de cota (COTA) das estações fluviométrica e precipitação (PCP) no período de julho de 1981 a dezembro de 2000, fornecidos pela Agência Nacional das Águas, (ANA). Foram usados também os dados do mesmo período de “Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)” gerados com os dados de satélite NOAA AVHRR GAC de uma resolução de 8 x 8 km. O arquivo original da série temporal de imagens AVHRR é parte dos dados Pathfinder Land arquivados no Goddard Space Flight Center (GSFC), Goddard Distributed Active Archive Center (DAAC) da NASA, obtidos das passagens diárias do NOAA, que são derivados dos dados do NOAA AVHRR Global Área Coverage (GAC) 1B. Os dados do AVHRR usados são fornecidos pelo GSFC/DAAC com as correções radiométricas pelo método standard do NOAA (Kidwell, 1990; Rao and Chen, 1995), e possuem correções atmosféricas incluindo o espalhamento molecular de Rayleigh pelo método sugerido por Gordon et al. (1988) e a correção da absorção de ozônio pelo método de Fleig usado pelo Eidenshink e Faundeen (1997).

2.2 – Construção e Validação do Modelo

Nas construções dos modelos, os dados hidrometeorológicos foram analisados para diagnosticar os melhores comportamentos das variações sazonais de COTA, PCP e NDVI. Considerando que o tempo de atraso na resposta da COTA em Ladário em relação as precipitações recebidas na parte montante da BAP, as várias correlações de COTA x PCP e COTA x NDVI foram feitas com o tempo de atraso progressivo de COTA de um mês até obter o valor do coeficiente de correlação máxima.

O modelo de previsão de COTA foi construído com os meses de valores altos e coeficiente de correlação entre COTA x PCP e COTA x NDVI. A técnica de regressão linear foi aplicada para a construção do modelo considerando COTA como parâmetro dependente e NDVI e PCP como parâmetros independentes. Várias tentativas com diversas combinações dos diferentes meses de PCP e NDVI foram executadas para obter um modelo com os valores estatísticos mais adequados.

3 – Resultado e Discussões

Na **Tabela 1** estão expressas as equações, estatísticas de análise e as médias simulada e prevista de erro absoluto comparados pelo modelo. Desta forma foi possível avaliar que os modelos apresentaram bons resultados exceto o modelo de Cuiabá e os modelos do Porto Murtinho que apresentaram os erros ligeiramente elevados na previsão causados por uma variável mais elevada do anuário de COTA. Em geral, menos a modelagem de Cuiabá e Porto Murtinho, apresentaram 4 modelos satisfatórios para predizer os fenômenos de cheia e seca da BAP. O resultado do modelo de Ladário, baseado em 4 sub-bacias com os dados de PCP, sendo muito semelhantes ao modelo de Ladário baseado somente em seis estações de chuva localizadas na parte do norte da BAP.

Não se opondo ao modelo de Ladário baseado em 4 sub-bacias os dados de PCP tinham previsto com melhor precisão calculada com a média de erro absoluto de 14.34% e quando analisado o modelo da bacia toda foi apresentando 16.85% a partir do modelo de Ladário baseado em 6 estações pluviométricas com dados de PCP, o modelo de São Francisco teve a melhor precisão na previsão com 7.67% de todos os seis modelos construídos. Os modelos de São Francisco e Ladário demonstraram que as contribuições diferenciais de água de chuva das sub-bacias superiores para COTA têm impacto significativo no nível de água monitorada pelo rio a um certo ponto que monitora a água de drenagem abaixo do fluxo da sub-bacia.

MODELOS	EQUAÇÃO	R ²	SD	Média de Erro Absoluto	
				SIMULADO	PREVISTO
BAP	$COTA6=1.40172+1.9374NDVI3-0.32325NDVI4 +0.0009527PCP1+0.00491SPCP12$ ¹	0.757	0.424	16.80%	16.85%
CUIABÁ	$COTA4=-4.41776-0.00565PCP3+0.02334NDVI23+0.01535PCP1+0.00818PCP234$ ²	0.6005	1.258	59,25%	102.16%
CACÉRES	$COTA4=1.9353+0.00614NDVI3+0.00222PCP3+0.00237PCP123$ ³	0.8647	0.3588	7.68%	15.36%
SÃO FRANCISCO	$COTA7=3.29757+0.02031NDVI4+0.00282NDVI5-0.000269PCP1P1+0.00154PCP2P12-0.00111PCP3P3+0.00543PCP3P34$ ⁴	0.7468	0.5722	7.68%	7.67%
LADÁRIO	$COTA7=1.1388+0.01462NDVI4-0.004145B3P2-0.00125B4P2+0.00407B1P2+0.00288B2P123+0.00269B4P23$ ⁵	0.7581	0.6475	15.54%	14.34%
SUB-BACIA DO RIO TAQUARI	$COTA7=88.2031+60.6718*(SNDVI34)+0.49426*(SPCP12)+0.42883*(SPCP3)$ ⁶	0.6349	80.7435	31,71%	16,7%
PORTO ESPERANÇA	$COTA7=-0.30632+0.013729NDVI45+0.003039B2P2-0.003218B3P2-0.001301B4P2+0.002419B1P123$ ⁷	0.7479	0.7265	13.12%	23.39%
PORTO MURTINHO	$COTA7=2.35062+0.0063NDVI634+0.0031B1P567+0.00327B2P567-0.00441B3P567+0.00147B5P567-0.00143B6P56+0.00393B6P567+0.00347B4P7$ ⁸	0.5750	1.084	23.78%	29.02%

Tabela 1 – Equações, R², SD e erros absolutos de simulados e previsto dos oito modelos construídos.

Equações aplicadas nos modelos de previsão de cheia via satélite para BAP e seis Sub-bacias.

¹ - COTA 6 = Nível de água de Rio de mês 6 (m);
NDVI3 = NDVI do mês 3
NDVI4 = NDVI do mês 4
PCP1 = precipitação do mês 1 (mm)
SPCP12 = Soma de Precipitação dos meses 1 e 2 (mm)

² - COTA 4 = Nível de água de Rio de mês 4 (m);
NDVI23 = NDVI de meses 2 e 3;
PCP1 = precipitação de mês 1 (mm);
PCP3 = precipitação de mês 3 (mm);
PCP234 = Soma de Precipitação de meses 2,3 e 4 (mm).

³ - COTA 4 = Nível de água de Rio de mês 4 (m);
NDVI3 = NDVI de mês 3;
PCP3 = precipitação de mês 3 (mm);
PCP123 = Soma de Precipitação de mês 1, mês 2 e mês 3 (mm).

⁴ - COTA 7 = Nível de água de Rio de mês 7 (m);
NDVI4 = NDVI de mês 4;
NDVI5 = NDVI de mês 5;
B1P1 = PCP de mês 1 de bacia de substituto Cuiabá;
B2P12 = PCP de meses 1 e 2 de bacia de substituto Cáceres;
B3P3 = PCP de mês 3 de bacia de substituto o São Francisco;
B3P34 = PCP de meses 3 e de bacia de substituto o São Francisco.

⁵ - COTA 7 = Nível de água de Rio de mês 7 (m);
NDVI4 = NDVI de mês 4;
B3P2 = PCP de mês 2 de bacia de substituto o São Francisco;
B4P2 = PCP de mês 2 de bacia de substituto Ladário;
B1P2 = PCP de mês 2 de bacia de substituto Cuiabá;
B2P123 = PCP de meses 1, 2 e 3 de bacia de substituto Cáceres;
B4P23 = PCP de meses 2 e 3 de bacia de substituto Ladário.

⁶ - COTA 7 = Cota do mês 7 (cm);
SNDVI34 = Soma de NDVI dos meses de 3 e 4 (sem dimensão);
SPCP12 = Soma de PCP dos meses de 1 e 2 (mm);
SPCP3 = PCP do mês 3 (mm).

⁷ - COTA 7 = Nível de água de Rio de mês 7 (m);
NDVI45 = NDVI de meses 4 e 5;
B2P2 = PCP de mês 2 de bacia de substituto Cáceres;
B3P2 = PCP de mês 2 de bacia de substituto o São Francisco;
B4P2 = PCP de mês 2 de bacia de substituto Ladário;
B1P123 = PCP de meses 1, 2 e 3 de bacia de substituto Cuiabá;
B5P123 = PCP de meses 1, 2 e 3 de bacia de substituto Porto Esperança.

⁸ - COTA 7 = Nível de água de Rio de mês 7 (m);
NDVI634 = NDVI de meses 3 e 4 de UPRB inclusive Chaco Seco;
B1P567 = PCP de meses 5, 6 e 7 de bacia de substituto Cuiabá;
B2P567 = PCP de meses 5, 6 e 7 de bacia de substituto Cáceres;
B3P567 = PCP de meses 5, 6 e 7 de bacia de substituto o São Francisco;
B5P567 = PCP de meses 5, 6 e 7 de bacia de substituto Porto Esperança;
B4P7 = PCP de mês 7 de bacia de substituto Ladário;
B6P56 = PCP de meses 5 e 6 de bacia de substituto Porto Murtinho;

B6P567 = PCP de meses 5, 6 e 7 de bacia de substituto Porto Murtinho

Os modelos desenvolvidos podem ser aplicados para prever todas COTAS alta e baixa com 1 a 3 meses de antecedência e poderão ser úteis de diversas formas notadamente para o planejamento nas atividades como: turismo, pesca e pecuária na região do pantanal e planalto da BAP. As atividades necessitam de uma previsão do pico da cheia do rio Paraguai, com meses de antecedência sendo fundamental para o planejamento da movimentação dos rebanhos bovinos das áreas sujeitos a inundações para locais topograficamente mais elevados. Isso evita que seus animais fiquem ilhados, o que implica em redução de pastagens, em perda de peso e até mesmo na morte desses animais.

Para a região do Planalto da BAP os modelos servirão como suporte nas tomadas de decisões para redução da degradação do solo, que além das áreas afetadas por voçorocas, resultam no assoreamento dos rios da BAP. Com conseqüências na planície pantaneira. Isso está sendo evidenciado pelos dados socioeconômicos e ambientais dos últimos 20 anos. Desta forma, poderá auxiliar no manejo de uso do solo e nas atividades econômicas da BAP.

Em se tratando de uma bacia transfronteiriça, a gestão da água assume também configuração estratégica peculiar, pois os problemas identificados requerem atuação do planejador em múltipla escala, partindo do manejo de sub-bacias, passando pelos sistemas estaduais de gestão hídrica e atingindo as gestões federais e internacionais da água, envolvendo Brasil, Bolívia e Paraguai.

Os modelos construídos são do tipo climáticos com base estatística são geralmente para prever os eventos de longo prazo de alguns meses. Portanto os erros de previsão abaixo de 20% são considerados satisfatórios. Os modelos dinâmicos de simulação hidrológica são métodos mais adequados para prever as inundações do Pantanal de curto prazo em uma escala operacional. Com aproximação estatística adequada para a BAP, se caracterizam como ferramenta útil para prognosticar a COTA, prevendo inundações que danificam no período elevado de cheias, auxiliando no manejo e adequação das atividades econômicas, na compreensão dos processos e ciclos ecológicos e harmonização das atividades humanas na BAP.

REFERÊNCIAS

Artigos em Revista:

Eidenshink, J. C. and Faundeen, J. L. *The 1-km AVHRR global land data set: first stages in implementation. International Journal of Remote Sensing*. 1997, 51:39-56.

Galdino, S. and Clarke, R. T. *Probabilidade de ocorrência de cheia no Rio Paraguai, em Ladário. MS – Pantanal*. 1997. Circulação Técnica Nº 23, EMBRAPA-CPAP, Corumbá, MS. 58p.

Juárez, R. N. and Liu, W. T. *"NDVI FFT analysis of spatial climatic variation in northeast Brazil"*. **International Journal of Climatologic**, 2001. V21 (14): 1803-1820.

Liu, W. T. and Juárez, R. N. *ENSO drought Prediction of Northeast Brazil Using NDVI. International Journal of Remote Sensing*, 2001, V22 (17): 3483-3501

Liu, W. T. H. and Juárez, R. J. N. *ENSO drought onset prediction in northeast Brazil using NDVI. Inst. J. Remote Sensing*, 2001, Vol.22, n.17, 3483-501. [S.l.]: [s.n.], 1999.

Liu, W. T. H. and Kogan, F. *Monitoring regional drought using vegetation condition index. International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17:2761-2782

Liu, W. T. H. Botner, D. M. and Sakamoto, C. M. *Application of Ceres-maize model to yield prediction of a Brazilian-maize Hybrid. Agric. For. Meteor.* 45:299-312. [S.l.]: [s.n.], 1989.

Liu, W. T. H. Massambani O. and Nobre C. Satellite *Vegetation response to drought in Brazil - International Journal Climatologic*, 1994, 14:343-354.

Mendes, C.A.B *Integração dos Modelos Hidrológicos e Sistemas de Informações Geográficas: Fundamentos*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 1996, 1(1):48-66

Livro:

Adamoli, J. *Diagnóstico do Pantanal – Características Ecológicas e Problemas Ambientais*, Artigo não publicado. 1992, Campo Grande, MS.

Beasley, D. B. and Huggins, L. F. Answers (*Areal Nonpoint Source Watershed Environmental Response Simulation*) User's manual. U.S.EPA – 905/9-82-001, 1982, Chicago, ILL, 54 pp.

Drayton, R. S. , Wilde, B.M. and HARRIS, J. H. K. *Geographical information system approach to distributed modeling*. Hydrological processes, 1992, 6:361-368

Liu, W. T. H. *Aplicações de Sensoriamento remoto*, Não Publicado, 2003, v. I e II. Campo Grande-MS: UCDB.

Tese:

Mendes, C. A. B. *Modelling of pollutant distribution in surface runoff in ungauged catchments using geographical information systems*. Doctor of Philosophy (Ph.D.). University OF Bristol, 1994.

Mendes, C. A. B. *Aplicação de Técnicas de Sensoriamento Remoto na Região Estuarina da Laguna dos Patos*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas- UFRGS, 1990.

Eventos:

Carlos. A. B. M. & Cirilo, J. A. *Geoprocessamento em Recursos Hídricos, Princípios, Integração e Aplicação*. 2001, 533 p.

Liu, W. T; Ayres, F. M; Salles, A T. and Padovani, C. *Alto Paraguay river water level prediction using NOAA AVHRR NDVI*. **1º International Symposium**, Recent Advances In Quantitative Remote Sensing. 2002, 36p.

Liu, W. T; Costa, M. G; e Nomoto, R. *Comparação de três modelos de estimativa da produtividade de milho na região de Ribeirão Preto-SP*. **Anais de VII Congresso do Brasil em Meteorologia**, 1992, 2:553-557. Ribeirão Preto-SP: [s.n.]

Liu, W. T. H. e Tucker, C. J. *Derivation of land surfaces variabilities using AVHRR Vegetation Index for the São Paulo State*. **Anais do VI Congresso Brasileiro de Meteorologia**. v.1. [S.l.]: [s.n.], 1990.