

## Sistema de Monitoramento e Alerta de Inundações e Secas no Pantanal

Carlos Roberto Padovani<sup>1</sup>  
Luiz Camolesi Júnior<sup>2</sup>  
Paulo Bonafe<sup>2</sup>  
Carlos Alberto Vettorazzi<sup>3</sup>  
Raphael Antonio Prado Dias<sup>3</sup>  
Carlos Tadeu dos Santos Dias<sup>3</sup>  
Yosio Edemir Shimabukuro<sup>4</sup>  
Pierre Girard<sup>5</sup>

<sup>1</sup> EMBRAPA Pantanal  
Caixa Postal 109 – 79.320-900 – Corumbá - MS, Brasil  
Doutorando em Ecologia Aplicada pelo CENA/ESALQ/USP  
guara@cpap.embrapa.br

<sup>2</sup> Faculdade de Tecnologia - Universidade Estadual de Campinas – FT/UNICAMP  
R. Paschoal Marmo, 1888 - 13484-332 - Limeira - SP, Brasil  
camolesi@ft.unicamp.br  
prbonafe@gmail.com

<sup>3</sup> Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP  
Caixa Postal 09 – 13418-900 - Piracicaba - SP, Brasil  
cavettor@esalq.usp.br  
raphael.a.p.dias@gmail.com  
ctsdias@esalq.usp.br

<sup>4</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
yosio@dsr.inpe.br

<sup>5</sup> Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT  
Centro de Pesquisa do Pantanal - CPP  
Rua nove, n°. 305 – 78.068-410 - Cuiabá-MT, Brasil  
pierregirard1301@gmail.com

**Abstract.** The regime of floods and droughts in the Pantanal wetlands determines the distribution and abundance of the wildlife, vegetation and ecological processes. Cattle ranching and fisheries, the main economic activities in this floodplain, are extremely influenced by and depend on this regime. The aim of this work is to propose a Monitoring and Alert System, denoted SISMONPAN, of floods and droughts in the Pantanal for a better management, conservation and decision making, especially in the case of extreme events. A ten years time series, from 2000 to 2009, of estimated satellite precipitation, river stages and flood mapping derived from MODIS surface reflectance bands processed by the unmixing spectral model was analyzed. The main hydrological compartments and their relationships were defined using previous knowledge in the region as well as correlation statistical models derived from upstream - downstream water fluxes. The power and time lag of the correlations between the water fluxes in the hydrological compartments were determined. These data, flood maps and obtained relationships were organized in a database to be used by the monitoring and alert system for the Pantanal region. The SISMONPAN was developed in PHP language using TerraView and TerraLib libraries in its architecture. The system will be available on the Internet, allowing any stakeholder to simulate possible scenarios of floods and droughts based both on the predetermined upstream-downstream water flux relationships and previous events stored in the database.

**Palavras-chave:** remote sensing, monitoring, hydrology, sensoriamento remoto, monitoramento ambiental, hidrologia.

## 1. Introdução

No Pantanal, a pecuária extensiva e a pesca são as principais atividades econômicas, conduzidas em estrita relação com o ambiente natural e, portanto, extremamente dependentes dele. A sazonalidade das inundações condiciona a produção de peixes e demais organismos aquáticos, além de influenciar a produção de pastagens e em consequência a pecuária além da distribuição e abundância da vegetação e da fauna terrestres.

O agronegócio da pesca e da pecuária tem sido conduzido em base empírica, sem a utilização de instrumentos tecnológicos que permitam um maior entendimento da dinâmica das inundações. O uso de técnicas de geoprocessamento favorece uma abordagem sinóptica, adequada a áreas extensas e de difícil acesso, como o Pantanal. Nesse contexto, o sensor de resolução moderada MODIS apresenta-se como um instrumento de alto potencial na avaliação da dinâmica da inundação do Pantanal.

Estudos recentes têm testado a viabilidade do uso dos índices de vegetação NDVI e EVI das imagens MODIS, na detecção das áreas alagadas do Pantanal, usando diferentes metodologias (PARDI LA CRUZ e SOUZA JÚNIOR, 2007; GOLTZ et al., 2007; SANTOS et al., 2009; ADAMI et al., 2008).

A partir de imagens do sensor TM/Landsat-5, imagens fração do modelo de mistura espectral foram testados com sucesso no Pantanal (SHIMABUKURO et al., 1998), mostrando que a fração sombra ou água ocorreu em maior proporção nas áreas inundadas, indicando o potencial das imagens fração água para a detecção das áreas inundadas no Pantanal.

Padovani et al. (2009) concluíram que a série temporal das imagens de reflectância do sensor MODIS e o emprego do Modelo Linear de Mistura Espectral, utilizando a fração água, mostraram-se muito úteis no mapeamento e na caracterização da dinâmica das inundações da região sul do Pantanal, podendo ser usados para o monitoramento quantitativo das inundações de todo o Pantanal.

As inundações periódicas são eventos naturais do Pantanal. Todavia, nas últimas décadas o Pantanal vem sofrendo alterações no ciclo hidrológico devido às mudanças ou variabilidade climáticas, a uma intensificação do uso do solo e dos recursos hídricos no planalto adjacente. Somado a essas alterações no meio físico, ocupações humanas impróprias em áreas sujeitas à inundação vem ocorrendo nos últimos anos, devido a fatores sociais, econômicos e à falta de planejamento e controle.

Na bacia do rio Taquari, estes mesmos fatores levaram no passado a perdas econômicas permanentes (GALDINO ET AL., 2006) Com o agravamento destes problemas, aumentam as chances de um desastre similar ou de maiores proporções acontecer num futuro próximo. Problemas recentes de famílias ribeirinhas, desabrigadas pelas inundações, tem sido noticiados pela imprensa local (CAPITAL DO PANTANAL, 12/05/2006 e 30/05/2007). Ameaça de morte massiva de gado levando a grandes prejuízos econômicos preocupa todos os anos a pecuária, principal atividade econômica da região (CAPITAL DO PANTANAL, 08/03/2007 e 04/04/2007).

Apesar da importância do conhecimento da dinâmica da inundação para o Pantanal, esse processo ainda não é bem compreendido. Isso se deve, principalmente, à falta do emprego de métodos de análise e tecnologias que permitam caracterizar e monitorar de forma contínua o ambiente, além de permitir que se façam cenários e previsões do comportamento do sistema como um todo.

Apoiado no contexto e motivação apresentados, este trabalho teve como objetivo mapear as inundações do Pantanal e estabelecer os relacionamentos entre seus compartimentos hidrológicos, a fim de propor a implantação de um sistema de monitoramento e alerta de inundações e secas.

## 2. Metodologia de trabalho

A área do Pantanal, abordada neste trabalho, está localizada na bacia do alto rio Paraguai (BAP), entre as latitudes 14°S e 23°S e as longitudes 53°W e -61°W, envolvendo os países Brasil, Bolívia e Paraguai (figura 1).

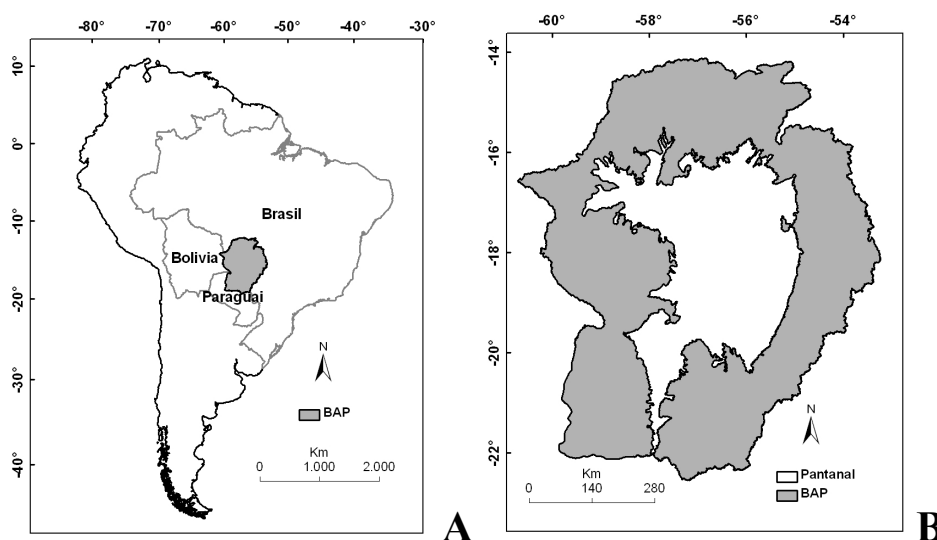


Figura 1 – A - Localização da bacia do alto rio Paraguai (BAP) no Brasil, Bolívia e Paraguai, na América do Sul. B - Limite do Pantanal dentro da bacia do alto Paraguai.

As imagens de reflectância das bandas do azul, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio foram pré-processadas seguindo os seguintes passos:

- 1 – Aquisição das imagens compostas MOD13Q1 pelo portal EOS Data Gateway (NASA, 2008);
- 2 – Processamento das imagens dos *tiles* H12V10 e H12V11 dos anos de 2000 a 2009, totalizando 227 imagens. As imagens foram recortadas para a área de estudo, convertidas para o formato TIFF e reprojctadas, usando o software MRT (MODIS Reprojection Tool, <http://lpdaac2.usgs.gov/landdaac/tools/modis/index.asp>). Optou-se por adotar a referência espacial das imagens em projeção UTM, WGS84;
- 3 - Conversão de resolução radiométrica de 16 bits para 8 bits usando o software ConvGeoTif (ARAI et al., 2005);
- 4 - Coleta de pixels puros, para aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME);
- 5 - Fatiamento de histograma das imagens fração água, classes “inundado” e “não-inundado”;
- 6 - Conversão do formato matricial (raster) para o formato vetorial;
- 7 - Cálculo de área para cada data de ocorrência.

Os valores de reflectância de cada banda e para cada *endmember* do MLME, foram obtidos como pixels puros a partir da imagem de 25 de maio de 2007. Para a pré-seleção dos pixels puros foram obtidos os maiores valores do produto EVI, da banda do infravermelho médio (MIR) e da banda do azul, para os *endmembers* vegetação, solo e água, respectivamente. As curvas espectrais obtidas para cada *endmember* concordam com as curvas espectrais padrão, esperadas para os *endmembers* vegetação (PONZONI, 2001), solo (NETTO, 2001) e água (NOVO, 2001), para as bandas de reflectância do azul, vermelho, NIR e MIR.

Os dados de nível dos rios para estações fluviométricas foram obtidos a partir da Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM) do Rio de Janeiro, que originalmente fazem parte do banco de dados Hydroweb da Agência Nacional de Águas (ANA) disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Esses dados foram convertidos de uma periodicidade diária para quinzenal, para coincidir com a periodicidade das imagens MODIS.

Os dados de precipitação acumulada foram obtidos a partir do Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Online Visualization and Analysis System, disponível em: [http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance\\_id=TRMM\\_3B42\\_Daily](http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=TRMM_3B42_Daily). Esses dados são relativos a uma grade regular global de  $0,25^\circ$  por  $0,25^\circ$ , aproximadamente 27 km por 27 km, de precipitação acumulada estimada a partir de sensores orbitais.

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1. Relacionamentos entre os compartimentos hidrológicos (montante – jusante)

O Sistema de Monitoramento e Alerta, desenvolvido neste trabalho, baseia-se nas correlações entre os eventos de chuva nas bacias do planalto, nível dos rios no planalto e Pantanal e suas respectivas áreas inundadas no Pantanal. As relações de causa e efeito propostas para essas três variáveis são:

- 1 - precipitação média na bacia à montante, no planalto, com nível do rio no exutório dessa bacia;
- 2 - precipitação média na bacia à montante, no planalto, com a área inundada dessa mesma bacia à jusante, no Pantanal;
- 3 – nível do rio à montante com nível do rio à jusante;
- 4 - nível do rio à montante com área inundada à jusante; e
- 5 - área inundada à montante com área inundada à jusante.

Essa abordagem amplia a cobertura espacial e potencial de estimativas de cenários possíveis. O nível ou a relevância de relacionamento entre as variáveis determinadas pelos coeficientes de correlação e o tempo de resposta ou defasagem medido em quinzenas, são os aspectos principais das estimativas.

As figuras 2 e 3 mostram exemplos de coeficientes de correlação e tempo de defasagem, medido em quinzenas de montante - jusante para a bacia hidrográfica do rio São Lourenço.

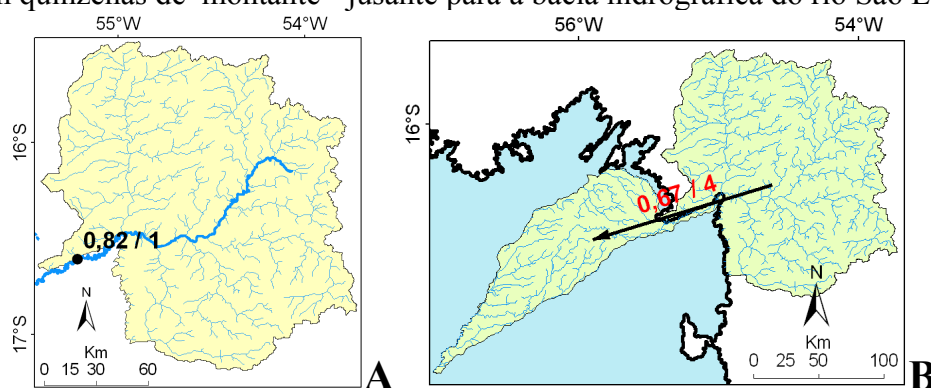


Figura 2 – **A** - Coeficiente de correlação / tempo de defasagem em quinzenas de 0,82 / 1 entre a chuva acumulada média na bacia no planalto e o nível do rio no exutório da bacia do rio São Lourenço. **B** - Coeficiente de correlação / tempo de defasagem em quinzenas de 0,67/4 entre a chuva acumulada média na bacia no planalto e a área inundada no Pantanal para bacia do rio São Lourenço.

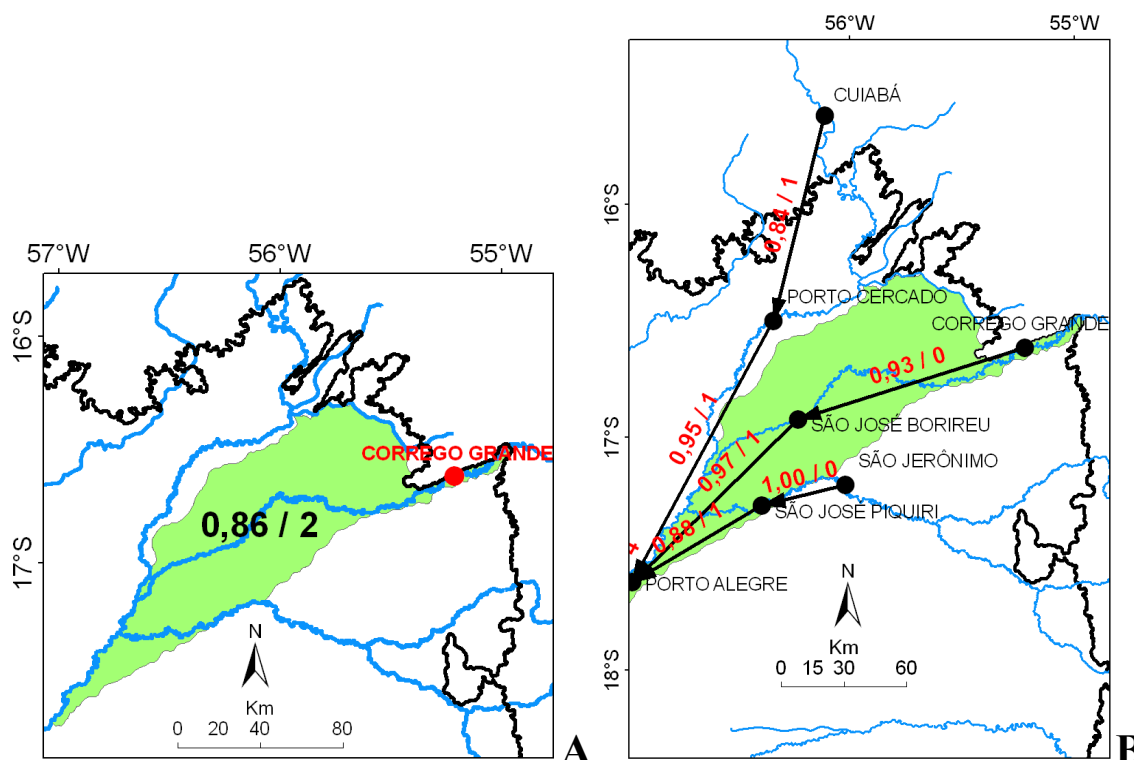


Figura 3 – **A** - Coeficiente de correlação / tempo de defasagem em quinzenas de 0,86 / 2 entre o nível do rio na entrada do Pantanal (estação Córrego Grande) e a área inundada no Pantanal para a porção da bacia do rio São Lourenço no Pantanal. **B** - Coeficientes de correlação / tempos de defasagem em quinzenas entre níveis do rio São Lourenço e de outros rios vizinhos.

As medidas de coeficiente de correlação indicam o grau de relacionamento entre um evento hidrológico de montante com o mesmo evento à jusante. O tempo de defasagem ou tempo de resposta indica a estimativa de tempo de espera para que um evento à montante ocorra à jusante. Dessa forma, com esses dados é possível estimar qual a chance e tempo necessários para que um evento que ocorre a montante ocorra à jusante.

### 3.2. Sistema de Monitoramento e Alerta - SISMONPAN

O Sistema de Monitoramento e Alerta – SISMONPAN foi concebido, para agregar diversas funcionalidades e recursos, entre as quais:

1. Aquisição dos dados
  - Imagens MODIS ou outras imagens
  - Precipitação por satélite (TRMM)
  - Nível dos rios
2. Processamento
  - Mapeamento das áreas inundadas
  - Recorte por sub-regiões
  - Cálculo de área
  - Periodização dos dados de precipitação e nível (diários para quinzenais)
  - Cálculo de médias de precipitação por bacia
3. Análises
  - Análises estatísticas dos dados
  - Atualização dos modelos de correlação

4. Atualização do banco de dados
  - Atualização quinzenal dos registros do banco de dados
  - Inclusão ou exclusão de variáveis
5. Interação com os usuários
  - Interface da página na internet
  - Interação institucional (contatos com representantes de classe)
6. Comunicação e alertas
  - Página na Internet
  - Emails
  - outros meios de comunicação (FAX, programa de rádio)
7. Recepção do retorno da sociedade (*feedback*)
  - Informações sobre a qualidade dos mapeamentos (validação)
  - Informações sobre a facilidade de obtenção e entendimento das informações
8. Atendimento de novas demandas
  - Incorporação de novas demandas

A arquitetura computacional do SISMONPAN incorpora as funcionalidades dos itens 3, 4, 5 e 6. Para isto, é composta de quatro sub-sistemas organizados modularmente para permitir a extensão futura deste sistema com novas funcionalidades. Desenvolvido em linguagem PHP (PHP, 2010; MELO, 2007), o sistema apresenta a arquitetura, conforme a figura 4, e utiliza bibliotecas de funções de processamento e visualização de mapas e imagens, TerraView e Terralib (INPE, 2010a, INPE, 2010b), disponibilizada pelo INPE ([www.inpe.org.br](http://www.inpe.org.br)).

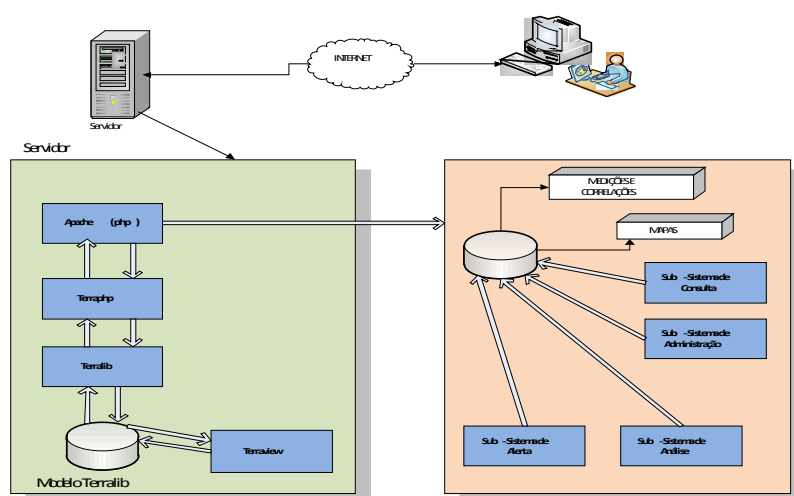


Figura 4 - Arquitetura computacional do Sistema SISMONPAN.

As tabelas de dados referentes às correlações entre locais de origem e destino, utilizados no sub-sistema de alerta, são apresentadas na figura 5. No modelo de dados, encontram-se duas regiões de tabelas de dados:

- Efeito: contendo as tabelas de dados que relacionam os locais com os tipos de medição e as respectivas correlações entre um par <local,tipodemedicao>;
- Medidas: contendo as tabelas de dados que relacionam os locais e as medições armazenadas, indicando os seus respectivos tipos.

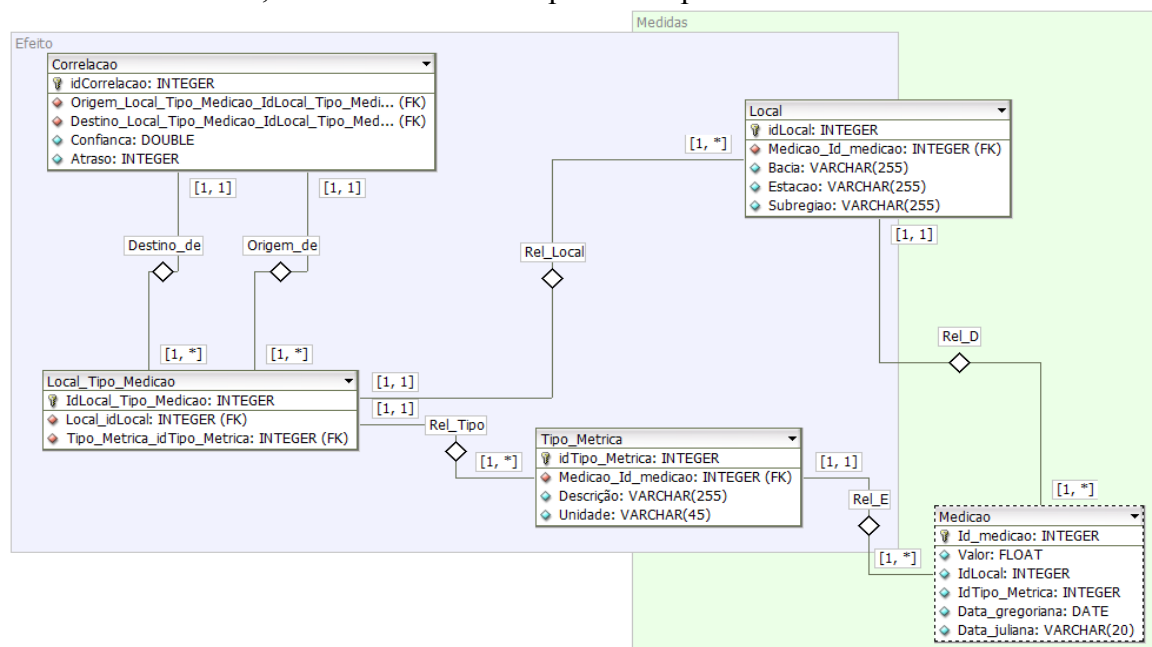


Figura 5 - Modelo do Banco de Dados - Sub-sistema de Alerta

O SISMONPAN não está sendo concebido como um modelo de previsão, mas como um sistema de monitoramento e alerta de inundações e secas que pode utilizar as informações provenientes de modelos de previsão para apresentar cenários de área alagada e de mapeamento já ocorridos em eventos semelhantes. O sistema disponibilizará informação sobre possíveis cenários de onde ou em que áreas podem ocorrer inundações, baseado em eventos passados, presentes no seu banco de dados e de mapas.

#### 4. Conclusões

Este trabalho apresenta as bases conceituais e tecnológicas do Sistema de Monitoramento e Alerta de Inundações e Secas para o Pantanal (SISMONPAN) que possibilita agregar informações espaciais aos modelos de previsão de nível dos rios, permite a estimativa de cenários e amplia as possibilidades de previsão de inundações e secas no Pantanal.

A disponibilização das informações e a possibilidade de que qualquer usuário possa fazer estimativas de cenários de inundação e secas para a sua área de interesse, via Internet, além da possibilidade de emissão de alertas por diversos meios de comunicação, visa tornar acessível à sociedade os resultados da pesquisa.

#### Agradecimentos

À EMBRAPA e a ESALQ/USP pela oportunidade de pós-graduação que tornou possível a realização desse trabalho.

## Referências bibliográficas

- ADAMI, M.; FREITAS, R.M. de; PADOVANI, C.R.; SHIMABUKURO, Y.E.; MOREIRA, M.A. Estudo da dinâmica espaço-temporal do bioma Pantanal por meio de imagens MODIS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 1371-1378, 2008.
- ARAI, E. ; FREITAS, R. M. ; ANDERSON, L. O. ; SHIMABUKURO, Y. E. . Análise Radiométrica de Imagens MOD09 em 16bits e 8bits.. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005.
- CAPITAL DO PANTANAL. **Cheia: Ação conjunta atende famílias ribeirinhas**. Disponível em: <[http://www.capitaldopantanal.com.br/index.php?sPagina=cpt002\\_noticia&iNoticia=6371&sCanal=>](http://www.capitaldopantanal.com.br/index.php?sPagina=cpt002_noticia&iNoticia=6371&sCanal=>) Acesso em: 25 de ag. 2007.
- CAPITAL DO PANTANAL. **Cheia pode matar 140 mil bovinos no Pantanal**. Disponível em: <[http://www.capitaldopantanal.com.br/index.php?sPagina=cpt002\\_noticia&iNoticia=21254&sCanal=>](http://www.capitaldopantanal.com.br/index.php?sPagina=cpt002_noticia&iNoticia=21254&sCanal=>) Acesso em: 25 de ag. 2007.
- CAPITAL DO PANTANAL. **Cheia: Pesquisador diz que prejuízos chegam a R\$ 120 mi**. Disponível em: <[http://www.capitaldopantanal.com.br/index.php?sPagina=cpt002\\_noticia&iNoticia=22433&sCanal=>](http://www.capitaldopantanal.com.br/index.php?sPagina=cpt002_noticia&iNoticia=22433&sCanal=>) Acesso em: 25 de ag. 2007.
- CAPITAL DO PANTANAL. **Defesa Civil cadastra colonos prejudicados pela cheia**. Disponível em: <[http://www.capitaldopantanal.com.br/index.php?sPagina=cpt002\\_noticia&iNoticia=25086&sCanal=>](http://www.capitaldopantanal.com.br/index.php?sPagina=cpt002_noticia&iNoticia=25086&sCanal=>) Acesso em: 25 de ag. 2007.
- GALDINO, S.; VIEIRA, L. M. E PELLEGRIN, L. **Impactos ambientais e socioeconômicos na Bacia do Rio Taquari - Pantanal**. Corumbá, 2006. 356p. disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/Livro025.pdf>
- GOLTZ, E.; BRANDÃO, D.; TOMÁS, L.; MANTELLI, L.R.; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y.E.; FORMAGGIO, A.R. Utilização de índices espectrais de vegetação do sensor MODIS na determinação de áreas suscetíveis a alagamento no Pantanal Sulmatogrossense. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 59, p. 35-44, 2007.
- INPE. Terralib(a). [www.terralib.org](http://www.terralib.org). Acesso em: 20 out. 2010.
- INPE. Terraview(b). <http://www.dpi.inpe.br/terraview/index.php> . Acesso em: 20 out.2010.
- MELO, A.A.; NASCIMENTO, M.G.F. PHP Profissional. São Paulo: Novatec, 2007. 1v.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration. Monthly TRMM and other data sources rainfall estimate. Disponível em: <[http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/TRMM\\_V6.3B43.shtml](http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/TRMM_V6.3B43.shtml)>. Acesso em: 15 set. 2008.
- NETTO, J.S.M. Comportamento espectral dos solos. In: MENESES, P.R.; NETTO, J.S.M. (Org.). **Sensoriamento remoto - Reflectância dos alvos naturais**. Brasília, DF; UnB, Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2001. cap. 4, p. 127-154.
- NOVO, E.M.L.M. Comportamento espectral da água. In: MENESES, P.R.; NETTO, J.S.M. (Org.). **Sensoriamento remoto - Reflectância dos alvos naturais**. Brasília, DF; UnB, Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2001. p. 203-222.
- PADOVANI, C.R.; VETTORAZZI, C.A.; SHIMABUKURO, Y.E.; ADAMI, M.; FREITAS, R.M. Estudo das inundações do Pantanal a partir de imagens MODIS. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 14., 2009. NATAL. **Anais...** NPE, 2009. 8p.
- PARDI LACRUZ, M.S.; SOUSA JUNIOR, M.A. Uso de séries temporais EVI/MODIS e Análise harmônica para o estudo da bacia do Rio Taquari. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 59, n.1, p. 9-15, 2007.
- PHP Development Team. Disponível em: [www.php.net](http://www.php.net). Acesso em: 20 out. 2010.
- PONZONI, F.J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P.R.; NETTO, J.S.M. (Org.). **Sensoriamento remoto - Reflectância dos alvos naturais**. Brasília, DF; UnB, Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2001. p. 157-199.
- SANTOS, J.S.; PEREIRA, G.; SHIMABUKURO, Y.E.; RUDORFF, B.F.T. Identificação de áreas alagadas no Bioma Pantanal - Brasil - utilizando dados multitemporais TERRA/MODIS. **Geografia**, Rio Claro, v. 34, p. 755-756, 2009.
- SHIMABUKURO, Y.E.; NOVO, E.M.; PONZONI, F.J. Índice de vegetação e modelo de mistura espectral no monitoramento do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, p. 1729-1737, 1998.