

Monitoramento de desastres naturais utilizando imagens *MODIS* - estudo de caso: Pantanal

Manoel de Araújo Sousa Júnior
Maria Silvia Pardi Lacruz

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Av. dos Astronautas, 1758
12.227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil.
manoel@dpi.inpe.br, lacruz@dsr.inpe.br

Resumo. O monitoramento de desastres naturais é de fundamental importância para o planejamento de ações preventivas e para a definição de políticas públicas. O uso de técnicas de sensoriamento remoto aplicadas a imagens orbitais se mostra muito eficiente para a avaliação e dimensionamento dos impactos ambientais e sociais causados por desastres naturais tais como enchentes, secas, queimadas e desmatamento. Este trabalho aborda o uso de imagens do sensor *MODIS* como uma ferramenta útil para o estudo de eventos extremos e desastres naturais para grandes áreas, dando ênfase ao Pantanal. Devido à dimensão e à dinâmica deste bioma, diferentes produtos derivados de imagens *MODIS* permitem realizar um monitoramento eficiente para eventos de inundações, incêndios e desmatamento. Por ter uma alta resolução temporal (imagens diárias) este sensor está sendo cada vez mais utilizado para o monitoramento de eventos que tem uma grande dinâmica temporal e requer de um acompanhamento freqüente. Embora a melhor resolução espacial do *MODIS* seja de 250 metros, os produtos gerados por este sensor têm muitas vantagens em relação aos demais sensores orbitais.

Palavras-chave: Desastres naturais, imagens *MODIS*, Pantanal, sensoriamento remoto.

Abstract. The monitoring of natural disasters is of fundamental importance for the planning of preventive actions as well as to the definition of public politics. The use of remote sensing techniques is efficient for the evaluation of the environmental and social impacts caused by natural disasters such as floods, droughts, fires and deforestation. The objective of this work is to show the use of MODIS images as a tool for the study of extreme events and natural disasters for extensive areas as the Pantanal. Due to dimension and to the dynamics of this biome, different products derived from MODIS images allow to monitoring floods, fires and deforestation effects. Because of its high temporal resolution (daily images), this sensor is being used for the monitoring of events that has a great temporal dynamics. Although the spatial resolution of the MODIS products is low, it have many advantages in relation to others orbital sensors.

Key-words: Natural disaster, MODIS, Pantanal, remote sensing,

1. Introdução

Eventos naturais tais como inundações, secas e terremotos formam parte dos ciclos naturais da Terra. No entanto, quando estes eventos têm repercussão em sociedades vulneráveis são considerados desastres naturais. A degradação ambiental dos ecossistemas aumenta a vulnerabilidade dos mesmos a desastres naturais, assim eventos que outrora se consideravam naturais, atualmente são considerados desastres isso se dá as mudanças ambientais de origem antrópica.

Os desastres naturais podem ocorrer em grandes escalas como desertificações ou secas decorrentes de mudanças climáticas afetando extensas regiões, ou ocorrer em pequenas escala como deslizamentos e inundações em áreas urbanas. O mapeamento e monitoramento de eventos extremos e desastres naturais requer a utilização e geração de mapas bases e informações em diferentes escalas de trabalho, de acordo com a abrangência do fenômeno.

O mapeamento de áreas de risco em uma escala regional pode ser elaborado a partir de imagens de resolução moderada, tais como *MODIS*, *VEGETATION SPOT* e *NOAA*; nos casos onde seja necessário trabalhar numa escala mais detalhada, podem ser utilizadas imagens do *CBERS*, *Landsat* e fotografias. Dados meteorológicos e modelos digitais do terreno, provenientes do *SRTM* são de grande utilidade para esse tipo de análise, por conter informação de grande relevância para entender o problema como um todo.

O Brasil está sujeito a uma variedade de desastres naturais tais como tempestades severas, enxurradas, inundações, deslizamentos de encostas, secas e estiagens, incêndios florestais e vendavais, que afetam centenas de pessoas todos os anos.

2. Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo apresentar o uso de imagens *MODIS* para o estudo e monitoramento de eventos extremos e desastres naturais que afetam o Brasil com ênfase no Pantanal. E algumas aplicações dessas imagens em várias partes do mundo.

3. Área de Estudo

O Pantanal constitui a maior área alagável do planeta e se estende por Brasil, Bolívia e Paraguai com uma extensão aproximada de 210 mil km², dos quais 138 mil km² estão em território brasileiro entre os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (Silva e Abdon, 1998).

4. Discussão

4.1 Eventos extremos e desastres naturais

Os eventos naturais se apresentam sob a mais variada escala de intensidade. Quando esses eventos tornam-se perigosos para o homem são chamados de riscos ou desastres naturais (Conti, 2002). O desastre pode ser definido como um fato natural ou provocado pelo homem que afeta negativamente à vida, gerando com frequência mudanças permanentes às sociedades humanas, ecossistemas e ao meio ambiente. Assim, os desastres ocorrem quando ameaças sócio-naturais afetam um sistema vulnerável (Umaña, 2001).

Quantificar essas mudanças é um grande desafio, pois ao dimensionar o impacto provocado pela ação antrópica, se está limitando o crescimento econômico que tem como base o uso e a ocupação do espaço. Este tipo de ocupação caracteriza o que Beck (2000) denomina de “Sociedade de Risco”, onde o crescimento econômico, tecnológico e social, definido por políticas públicas, não são capazes de prever o impacto provocado sobre o meio ambiente, gerando assim riscos para a sociedade.

O rápido crescimento da população aumenta a demanda de recursos naturais ocasionando uma pressão no meio ambiente, o que leva a possibilidade de que um evento natural se transforme em um desastre, ou seja, aumenta o risco, aumentando também a frequência com que estes desastres acontecem (Wilches Chaux, 1995).

A prevenção e mitigação de desastres naturais somente são possíveis quando se tem um conhecimento sólido sobre a frequência e magnitude dos eventos que geram riscos numa determinada área. O sensoriamento remoto constitui uma fonte potencial de informação sobre a ocorrência de eventos extremos e desastres naturais, assim como para o mapeamento de áreas vulneráveis e áreas afetadas por desastres naturais.

4.2 Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto fornece informação sinóptica e sistemática em diferentes escalas que permitem entender melhor o sistema de fenômenos e processos que atuam na Terra, os ecossistemas e as mudanças ocorridas nos mesmos, seja essas mudanças de origem natural ou antrópica. Esta informação satelital complementada com observações de campo e medições *in situ* contribui de forma significativa para a toma de decisões e para o planejamento nos diferentes níveis federal, regional, estadual e municipal.

No caso específico da gestão de eventos extremos e desastres naturais o sensoriamento remoto fornece informação tanto nas fases de pré-desastre como pós-desastre. A fase de pré-desastre consiste na identificação dos riscos (avaliação de ameaças e vulnerabilidade, geração de mapas e cenários), mitigação (planejamento e educação), preparação (sistemas de alerta, monitoramento e predição, planos de contingência); a etapa de pós-desastre compreende a resposta de emergência (avaliação e extensão do dano) e a reabilitação e reconstrução (identificação de locais para reconstrução, censos pós-desastre e atualização do banco de dados de ameaças, riscos e vulnerabilidade) (van Westen, 2003).

A aplicabilidade das imagens de sensoriamento remoto é dada pelas características espaciais, espectrais e temporais dos sensores. Imagens de alta resolução espacial são mais indicadas para estudos de eventos pontuais, enquanto imagens com resolução moderada, como o *MODIS*, são mais adequadas para estudo de extensas áreas.

O sensor *MODIS* a bordo dos satélites Terra e Aqua foi projetado para satisfazer os requerimentos de três campos de aplicações diferentes: terrestres, oceânicos e atmosféricos com resolução espectral e espacial selecionadas para o conhecimento de diferentes

necessidades observacionais e para oferecer uma cobertura global quase diária (Justice et al., 2002) o que lhe confere uma grande capacidade para estudos de grande dinâmica.

O *MODIS* trabalha em 36 bandas espectrais com resolução espacial de 250 metros para as bandas 1 e 2, 500 metros nas bandas 3 a 7, e 1000 metros para as 29 bandas restantes. Cada cena deste sensor cobre uma faixa de 2330 km de largura.

4.3 Uso dos produtos *MODIS* para estudos de eventos extremos e desastres naturais no Pantanal.

O Pantanal sofre diferentes pressões em função do desenvolvimento na região, tais como: a ocupação desordenada das áreas mais altas, onde nascem a maioria dos rios; incêndios; introdução de espécies exóticas; desmatamento; erosão, assoreamento dos rios, assim como projetos de desenvolvimento (Abdon, 2004). Alguns destas pressões podem ser estudadas com imagens *MODIS*, considerando a resolução espacial e temporal do sensor.

- **Inundações**

As imagens *MODIS* podem ser utilizadas para gerar mapas de inundações para extensas áreas a partir da interpretação das imagens; também podem ser elaborados mapas de áreas de risco a inundações a partir de análise conjunta das imagens, mapa de geomorfologia, modelo digital de elevação e dados climatológicos. Estas informações podem ser usadas como dados de entrada para modelos hidrológicos que resultem em mapas de previsão e susceptibilidade a inundações.

Segundo Harris et al. (2005) a conversão de habitats naturais no cerrado tem originado processos erosivos severos e conseqüentemente o assoreamento dos rios, alterando os padrões do fluxo da água e o regime hidrológico. Por exemplo, a bacia do rio Taquari apresenta atualmente áreas permanentemente inundadas que no passado eram inundadas sazonalmente (Padovani et al, 2005). A **Figura 1** representa duas imagens *MODIS* da bacia do rio Taquari correspondente ao período de cheia e de seca, nestas imagens é possível observar a em tons escuros as áreas inundadas para cada data.

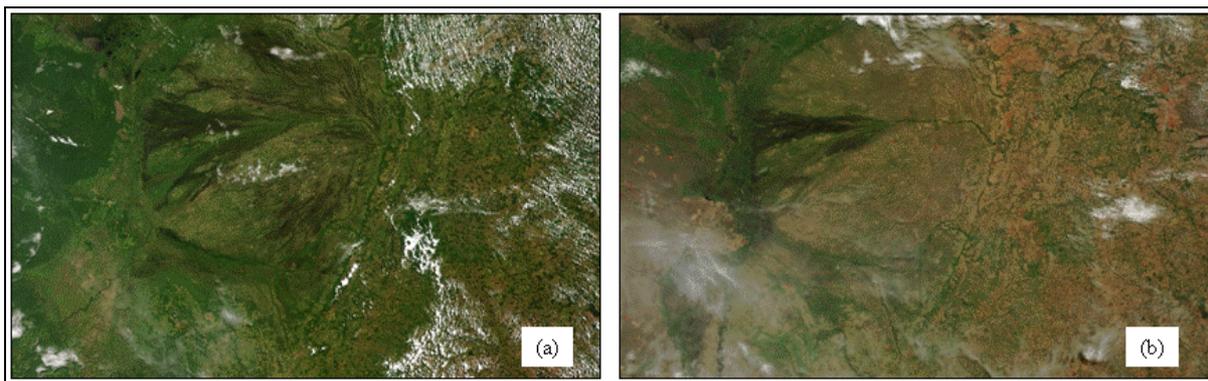


Figura 1. Imagens *MODIS* da bacia do rio Taquari durante a época cheia (a) e da época seca (b).

Fonte: http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets/?AERONET_Campo_Grande

O *Dartmouth Flood Observatory* utiliza imagem *MODIS* e imagens de outros satélites para elaborar um Atlas de Inundações nível global (**Figura 2**) e regional (**Figura 3**). Para isto, o observatório dispõe de um mapa base com os cursos de água delimitados a partir de imagens *MODIS* e inicialmente *NOAA*; este arquivo é atualizado diariamente e uma vez que ocorre uma inundação a área afetada é mapeada. Adicionalmente é criada uma tabela com os maiores eventos ocorridos em cada ano; esta tabela contém o número de registro do evento (o

qual aparece também no mapa), país, localidade, os rios, a data de início e fim do evento, duração do mesmo, número de mortos, número de desalojados, as perdas econômicas, a causa principal e secundária, o intervalo de recorrência, classe de severidade, hectares inundadas, região afetada, magnitude da inundação e comentários adicionais.

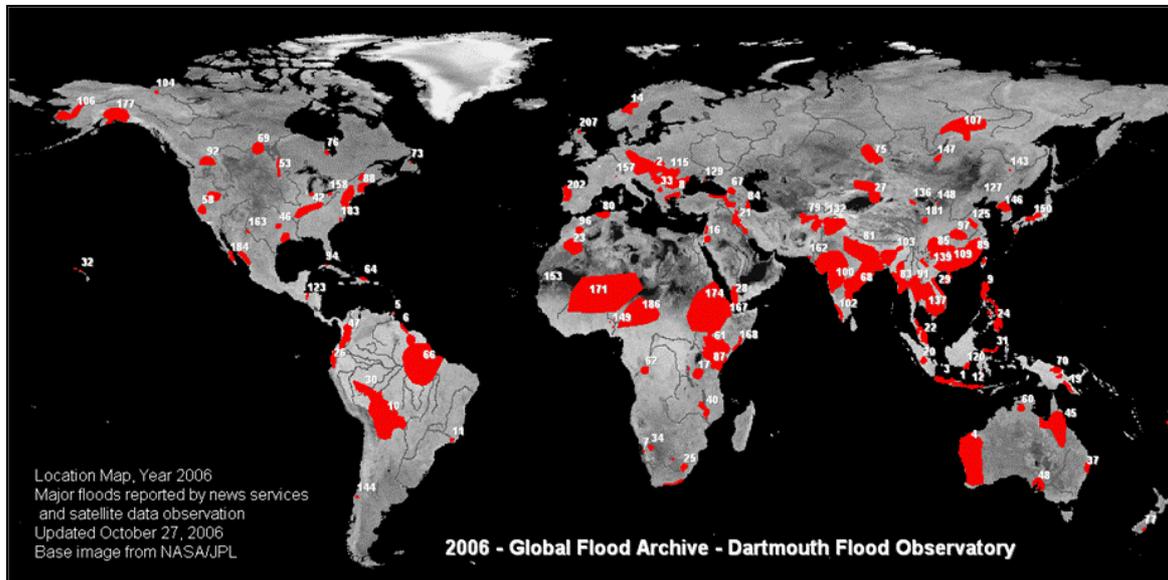


Figura 2. Mapa global de 2006 atualizado com os maiores eventos de inundação ocorridos.
Fonte: <http://www.dartmouth.edu/~floods/index.html>

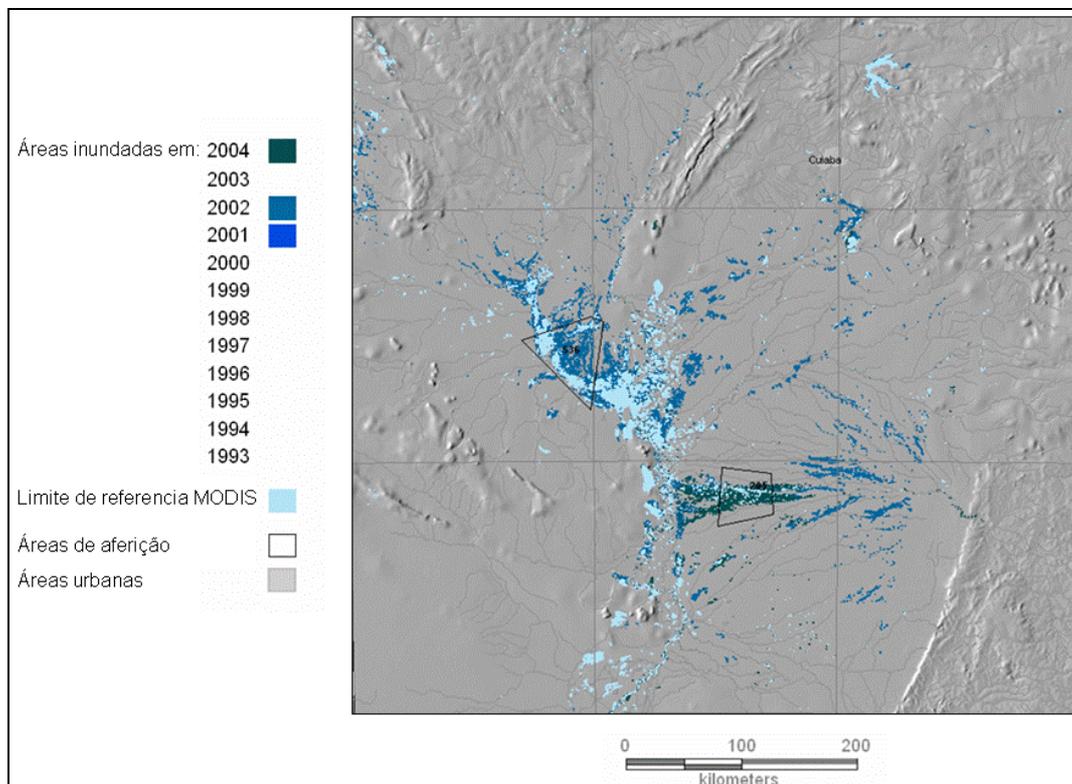


Figura 3. Setor do Pantanal extraído do Atlas de Inundações gerado pelo *Dartmouth Flood Observatory* para o ano de 2004.
Fonte: <http://www.dartmouth.edu/~floods/index.html>

Freitas e Novo (2005) realizaram o mapeamento das áreas alagáveis na planície do rio Amazonas utilizando as imagens *MODIS*, que tem uma alta resolução temporal, ideal para estudo de sistemas extremamente dinâmicos, como é o caso da planície de inundação do rio Amazonas, cuja composição e extensão variam rapidamente em função dos fatores hidrológicos e climáticos.

Pardi Lacruz e Sousa Junior (2006) usando análise harmônica para uma série temporal de imagens *EVI* do *MODIS* apresentam um mapa de inundação para a bacia do rio Taquari. Onde ficam bem discriminadas as áreas de inundação permanentes das áreas de inundação sazonal para o ano de 2005 (**Figura 4**).

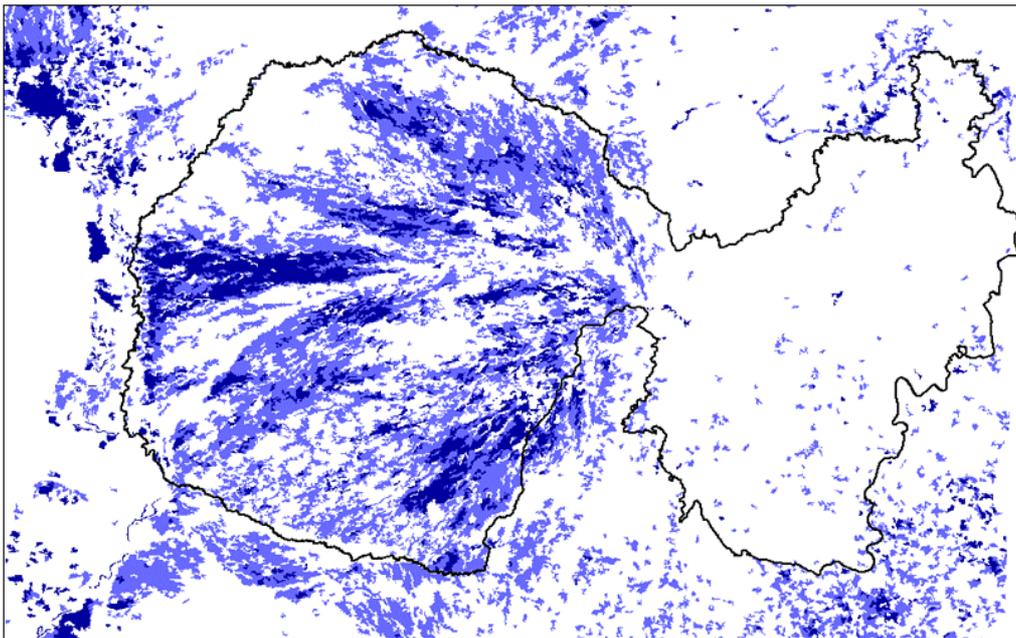


Figura 4. Mapa de inundação para a região da bacia do rio Taquari obtido com o uso de análise harmônica sobre produto *EVI* do *MODIS* para o ano de 2005.

Fonte: Pardi Lacruz e Sousa Junior (2006).

• **Desmatamento**

A planície do Pantanal ocupada há mais de 200 anos pela pecuária extensiva tradicional em pastagens nativas permaneceu com poucas alterações. A partir da década de 70 começou a prática do desmatamento para a implantação de pastagens e áreas agrícolas, sendo esta segunda em menor proporção. Segundo Salis e Crispim (1999) esta prática tem afetado principalmente as fisionomias arbóreas do Pantanal. Padovani et al. (2004) quantificaram a área desmatada do Pantanal para o ano 2000 em 12.182 km² (8,8% da área) a partir da interpretação visual de imagens *ETM+/Landsat*.

O monitoramento do desmatamento no Pantanal pode ser realizado a partir da geração de um mapa com os diferentes tipos de uso e cobertura para um determinado ano base para posteriormente mapear as mudanças que aconteçam nessas tipologias de usos e coberturas de forma periódica. O intervalo entre um mapeamento e outro deve ser definido em função da dinâmica da área: por exemplo, na Amazônia o projeto DETER realiza o mapeamento com imagens diárias *MODIS* (Shimabukuro et al., 2005); antes da disponibilidade das imagens *MODIS*, o monitoramento do desmatamento se realizava anualmente utilizando imagens *TM/Landsat* (Projeto PRODES).

No caso do Pantanal, as imagens *MODIS* permitiriam discriminar áreas de mudanças de tamanho médio e grande, em função da resolução espacial do sensor. Este monitoramento pode ser realizado a partir da interpretação visual das imagens ou ainda utilizando técnicas de detecção de mudanças tanto nas imagens radiância como os produtos índice de vegetação disponíveis *EVI* e *NDVI* em composições de 16 dias e 250 metros de resolução.

Na **Figura 5** pode ser visto na imagem *MODIS* unidades de uso e cobertura sobre a área do Pantanal, tais como: agricultura, pastagem, áreas desmatadas e fragmentos de cerrado.



Figura 5. Imagens *MODIS* do Pantanal de 5 de maio de 2006, com áreas agrícolas, pastagem, áreas desmatadas e fragmentos de cerrado.

Fonte: http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets/?AERONET_Campo_Grande/2006122

• Queimadas

O uso do fogo no Pantanal é antigo, no entanto é um tema que gera polêmica. A queima controlada permite diminuir o risco de incêndios de intensas proporções e a renovação das pastagens; entretanto esta prática deve ser realizada com cautela, de modo que o fogo não afete tipologias vegetais que devem ser conservadas.

O uso de imagens de satélite para monitoramento de queimadas no Brasil vem sendo realizado desde a década de 80 pelo programa Queimadas desenvolvido pelo INPE e IBAMA. O programa utiliza imagens termais dos satélites meteorológicos *NOAA* e a partir de 2002 também são usadas imagens do *GOES* e do *MODIS*.

Desde meados de 2001 o *MODIS Rapid Response System* disponibiliza mapas de incidência de focos de calor detectados em imagens *MODIS* a partir do algoritmo desenvolvido por Giglio et al. (2003). Cada mapa representa os fogos acumulados num período de 10 dias, os pontos vermelhos indicam a ocorrência de pelo menos 1 foco, já os pontos amarelos indicam uma alta incidência de focos de incêndios (**Figura 6**).

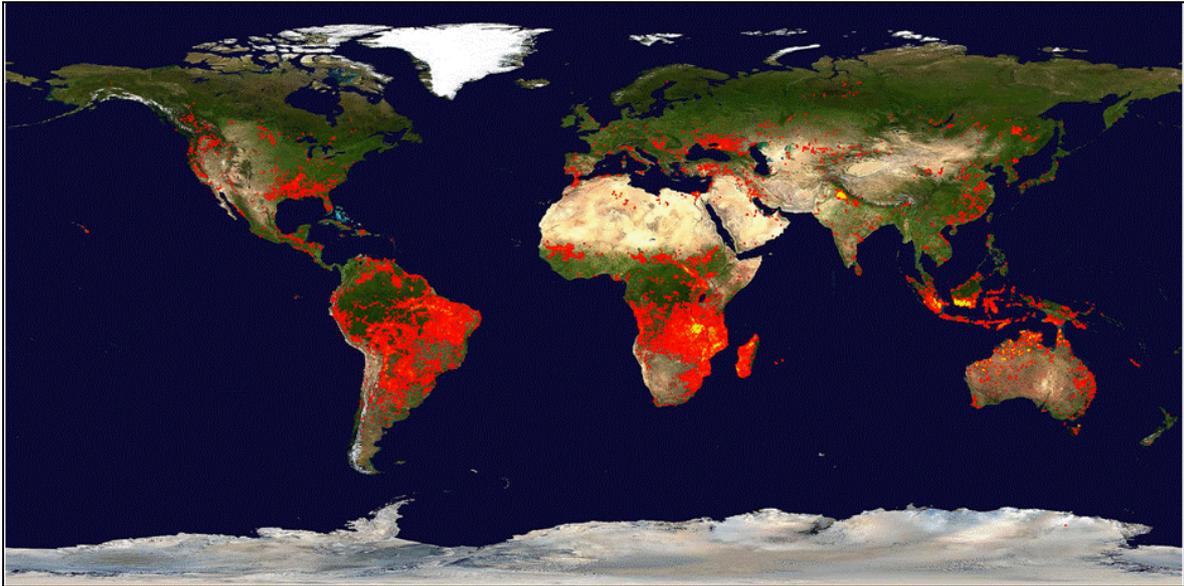


Figura 6. Mapa de incidência de queimadas para o período de 8 a 17 de outubro de 2006.

Fonte: <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/firemaps/>

O *MODIS Rapid Response System* disponibiliza também imagens diárias com anomalias termais detectadas em imagens *MODIS* nas bandas do infravermelho médio e do termal com resolução espacial de 1 km. Estas anomalias termais coincidem, na maioria dos casos, com incêndios. A **Figura 7** corresponde a uma imagem *MODIS* que abrange parte da Bolívia e do Brasil com uma grande incidência de queimadas.

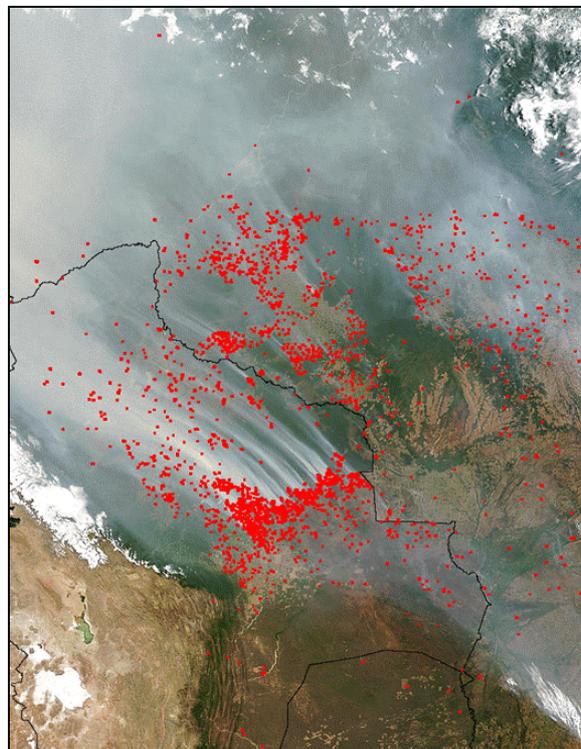


Figura 7. Imagem *MODIS* de focos de queimadas no Pantanal da Bolívia e Brasil.

Fonte: <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/gallery/?2004257-0913/Bolivia.A2004257.1425.2km.jpg>

Zhan et al (2002) fizeram uso do algoritmo *Vegetative Cover Conversion (VCC)* sobre as bandas do vermelho e infravermelho próximo do *MODIS*, para detecção de queimadas, áreas inundações e desmatamentos; esta metodologia apresentou bons resultados para regiões inundadas e áreas queimadas, no entanto mostrou-se pouco eficiente na detecção de pequenos desmatamentos.

5. Considerações Finais

A cartografia de riscos é fundamental para a gestão de eventos extremos e desastres naturais nas fases de pré e pós-desastres. Os dados provenientes das imagens constituem excelentes ferramentas para a elaboração da cartografia de risco, como também no auxílio a tomadas de decisões por parte de órgãos gestores.

A imagem *MODIS* mostra um grande potencial para monitorar e quantificar mudanças no uso e cobertura do Pantanal, sendo de grande importância para o acompanhamento de políticas públicas e na definição das mesmas.

6. Referências

- Abdon, M. M. **Os impactos ambientais no meio físico – erosão e assoreamento na bacia hidrográfica do rio Taquari, MS, em decorrências da pecuária.** 2004. 302 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2004.
- Beck, U. Retorno a la teoría de la sociedad del riesgo. **Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles**, n 30, p. 9-20. 2000. acesso em: <http://www.ieg.csic.es/age/boletin/30/01.pdf>
- Brakenridge, G.R., Anderson, E., Caquard, S., 2003, Flood Inundation Map DFO 2003-282, **Dartmouth Flood Observatory**, Hanover, USA, digital media. Disponível em: <<http://www.dartmouth.edu/~floods/index.html>>. Acesso em: 23 set. 2006.
- Conti, J. B. Riscos naturais na região tropical brasileira. **Territorium**. Revista de Geografia Física aplicada no Ordenamento do Território e Gestão de Riscos Naturais. Coimbra: Editora Minerva, vol. 2, p. 117-122. Set. 2002.
- Freitas, R. M.; Novo, E. M. L. M. Mapeamento de áreas alagáveis na Planície do Rio Amazonas a partir de dados do sensor MODIS – Região do Lago Curuaí – PA. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 12., 2003, Goiânia. Anais... São José dos campos: INPE, 2005. p. 533-540. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.12.55/doc/533.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2006.
- Giglio, L.; Descloitres, J.; Justice, C. O.; Kaufman, Y. J. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. **Remote Sensing of Environment**, n. 87, p. 273 – 282, 2003.
- Harris, M. B.; Tomas, W. M.; Mourão, G.; da Silva, C. J.; Guimarães, E.; Sonora, F.; Fachim, E. Desafios para proteger o Pantanal brasileiro: ameaças e iniciativas em conservação. **Megadiversidade**, v. 1, n.1, p. 156 – 164, 2005.
- Justice, C. O.; Townshend, J.R.G.; Vermote, E.F.; Masuoka, E.; Wolfe, R.E.; Saleous, N.; Roy, D.P.; Morisette, J.T. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 3 –15, 2002
- Padovani, C. R.; Assine, M. L.; Vieira, L. M. Inundações no leque aluvial do Rio Taquari. In: Galdino, S.; Vieira, L. M.; Pellegrin, L. A. (ed.) **Impactos Ambientais e Socioeconômicos na Bacia do Rio Taquari – Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2005. 356p.
- Padovani, C. R.; da Cruz, M. L. L.; Padovani, S. L. A. G. Desmatamento do Pantanal Brasileiro para o ano 2000. In: **IV Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal**, SIMPAN2004 – Sustentabilidade Regional. 2004, Corumbá. Disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/agencia/simpan/sumario/artigos/aspercetos/pdf/bioticos/611RB_Padovani_1_OKV_isto.pdf>. Acesso em: 20 set. 2006.
- Pardi Lacruz, M. S.; Araújo Sousa, M. A. Uso de series temporais EVI/MODIS e análise harmônica para o estudo da Bacia do Rio Taquari. **Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, I. Campo Grande, nov. 2006.

Salis, S. M.; Crispim, S. M. A. Fitossociologia de quatro fitofisionomias arbóreas no Pantanal da Nhecolândia, Corumbá, MS. In: Congresso Nacional de Botânica, 50. Blumenau. **Programa e resumos...** Blumenau: Sociedade Botânica do Brasil, 1999. p.236.

Silva, J. S. V.; Abdon, M. M. Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 33, p. 1703-1711, 1998.

Shimabukuro, Y. E.; Duarte, V.; Moreira, M. A.; Arai, E.; Rudorff, B. F. T.; Anderson, L. O.; Santo, F. D. B. E.; Freitas, R. M.; Aulicino, L. C. M.; Maurano, L. E. P.; Aragão, J. R. L. **Detección de áreas deforestadas en tiempo real: conceptos básicos, desarrollo y aplicación del proyecto DETER**. 2005. p. 63 (INPE-12288-RPQ/796/A). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.

Umaña, M. J. **Desastres en Centroamérica: perspectiva del sector agropecuario**. In: Reducción de la vulnerabilidad del sector agropecuario ante las alteraciones climáticas - PROYECTO VULSAC. 2001. República Dominicana, p. 20.

Van Westen, C. J. Módulo de capacitación: Teledetección para el manejo de desastres naturales. **Enschede, Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC)**, ITC, UNESCO, Delft University of Technology (TUD), 2003. Disponible em: <http://www.itc.nl/external/unesco-rapca/start.html#cd>. Acceso em: 29 jul. 2006.

Wilches Chaux, G. **Disasters and the environment**. Disaster Management Training Programme, United Nations Development Programme. New York. 1995. 63 p. Disponível em: <http://www.undmtp.org/modules_e.htm>. Acceso em: 20 set. 2006.

Zhan, X.; Sohlberg, R. A.; Townshend, J. R. G.; DiMiceli, C.; Carroll, M. L.; Eastman, J. C.; Hansen, M. C.; DeFries, R. S. Detection of land cover changes using MODIS 250 m data. **Remote Sensing of Environment**, n. 83, p.336–350, 2002.