

CONTRIBUIÇÃO DA ABORDAGEM MULTISENSOR NO MONITORAMENTO DE FLORESTAS TROPICAIS AFETADAS POR INCÊNDIOS RECORRENTES

CONTRIBUTION OF THE MULTISENSOR APPROACH TO MONITORING TROPICAL FORESTS AFFECTED BY RECURRENT FIRES

Haron Abraham Magalhães Xaud^{1,2}, João Roberto dos Santos²

¹ Embrapa Roraima, BR-174, km 08, Distrito Industrial, 69301-970 - Boa Vista, Roraima, Brasil, haron@cpafrr.embrapa.br, haron@dsr.inpe.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Av. dos Astronautas, 1758, 12.227-010 - São José dos Campos, SP, Brasil, jroberto@dsr.inpe.br

RESUMO

O presente trabalho discute o estado da arte do sensoriamento remoto para mapeamento e monitoramento de florestas tropicais afetadas por incêndios recorrentes com base na abordagem multisensor. Através da apresentação e discussão de alguns exemplos, o trabalho procura organizar e destacar as principais linhas metodológicas utilizadas nesta abordagem. Adicionalmente, o texto indica as tendências metodológicas para o futuro com o objetivo de mapear e monitorar áreas queimadas nos trópicos.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Mapeamento, Vegetação, Áreas Queimadas.

ABSTRACT

This work discusses the state of the art of remote sensing to monitoring tropical forest affected by recurrent fires based on multi-sensor approach. Through the presentation and discussion of some examples, the work seeks to organize and highlight the methodologies in this direction. Additionally, the text indicates methodological tendencies to the future aiming to map and monitor burned areas in the tropics.

Keywords: Remote Sensing, Mapping, Vegetation, Burned Areas.

INTRODUÇÃO

Dentre as modificações abruptas a que estão sujeitas as áreas de florestas naturais, as que mais rapidamente liberam o carbono para a atmosfera são as modificações que incluem a queima da biomassa de florestas. Ao abordarem o problema de queimadas (controladas e não controladas) no Brasil, SETZER *et al.*, (2007) afirmam que sua magnitude atinge a marca de 100mil a 300mil focos de calor a cada ano.

Enquanto a queima controlada atinge apenas um local restrito, os incêndios florestais podem atingir extensas e contínuas áreas naturais, levando a grandes impactos ambientais como nos casos de Roraima em 1997-1998 (BARBOSA, 1998; SHIMABUKURO *et al.*, 1999); Kalimantan-Indonésia em 1997-1998 (SIEGERT *et al.*, 1999); Austrália em 2002-2003. (FAO, 2007).

Importantes avanços no conhecimento científico e na disponibilidade de sistemas de monitoramento da vegetação derivados da utilização de dados remotamente sensorizados vêm sendo alcançados, a exemplo do DETER/INPE – Detecção do Desmatamento em Tempo Quase Real (SHIMABUKURO *et al.*, 2007); do Monitoramento de Queimadas (INPE, 2010) e do MODIS Rapid Response System (NASA, 2010a). Contudo, em relação ao mapeamento de áreas queimadas, a ausência de imagens frequentes e de boa

qualidade devido a problemas de nuvens, aliada à baixa resolução temporal de sensores como o TM/Landsat (16 dias), pode fazer com que áreas afetadas por incêndios florestais não sejam detectadas e mapeadas adequadamente antes de desaparecerem as cicatrizes do fogo (RIVERA-LOMBARDI, 2003). Embora promissoras metodologias para a quantificação de áreas afetadas por incêndios florestais ou queimadas no mundo estivessem em franca produção (ROY *et al.*, 2005), segundo SETZER *et al.*, (2007), o problema de detecção de queimadas ativas estava relativamente bem encaminhado, mas a quantificação de áreas queimadas ainda necessitava de avanços metodológicos.

Assim, após um período de baixa oferta de informação consistente em nível regional e global em relação à mensuração de áreas afetadas por incêndios florestais ou de dados derivados que necessitam de tal informação (e.g. emissões de gases do efeito estufa - GEE), recentes trabalhos vêm apresentando resultados interessantes, tais como: ROY *et al.*, (2008); GIGLIO *et al.*, (2009). Deve ser ressaltado que significativos avanços nesta temática estão sendo obtidos a partir da exploração de dados multisensores.

Nesse sentido, este trabalho visa apresentar e discutir o estado da arte de metodologias de sensoriamento remoto para a realização de mapeamento e monitoramento de áreas de florestas tropicais afetadas por incêndios, com ênfase em abordagens multisensor; bem como apontar as tendências futuras para avanços científicos na área.

Sensores remotos na detecção de áreas afetadas por incêndios florestais

O mapeamento de áreas queimadas é possível à medida que as mesmas tenham um comportamento espectral diferenciado em relação à vizinhança e que existam imagens de sensoriamento remoto disponíveis. Quanto ao comportamento espectral de cicatrizes de queimadas, tanto no espectro óptico do visível quanto no infravermelho próximo, as cicatrizes apresentam-se com baixa reflectância comparada a outros alvos. Com o passar do tempo entre as queimadas e o imageamento, tais cicatrizes tendem a modificar sua resposta e a desaparecer (RIVERA-LOMBARDI, 2003), por conta da remoção das cinzas, carvão e da recuperação da vegetação.

Sensores ópticos de alta resolução espacial: Os sensores remotos mais utilizados na quantificação de áreas queimadas têm sido os sensores ópticos de alta resolução espacial TM/Landsat, HRS/SPOT e mais recentemente, o sensor ASTER/TERRA. Como potencialidades estes sensores trazem bandas multiespectrais no infravermelho próximo (NIR) e na região do visível (VIS) e resolução espacial até 30m, permitindo que mesmo áreas queimadas de pequeno porte possam ser mapeadas. As principais limitações advêm da baixa resolução temporal e da impossibilidade da geração de imagens úteis quando há cobertura de nuvens. A combinação desses fatores, principalmente em regiões tropicais, faz com que não existam imagens suficientes de cada sensor (isoladamente) para a realização de monitoramento de áreas queimadas.

Sensores ópticos de baixa resolução espacial e alta resolução temporal: Sensores como o AVRRH/NOAA e o VEGETATION/SPOT perdem em relação à resolução espectral e espacial, quando comparados aos citados acima, mas apresentam resolução temporal adequada ao monitoramento de eventos dinâmicos, como o caso de cicatrizes de queimadas. Ainda que sejam sensores ópticos, sua alta resolução temporal (cerca de um dia) aumenta consideravelmente a probabilidade de obtenção de imagens sem nuvens. A limitação destes sensores está na resolução espacial, em torno de 1 km no Nadir.

Sensores ópticos de média resolução espacial, alta resolução temporal: Os sensores de média resolução espacial (MODIS/TERRA; MODIS/AQUA; WFI/CBERS; WiFS/IRS) foram planejados para suprir a lacuna existente entre os sensores de alta e baixa resolução espacial. As resoluções espaciais dos sensores citados estão entre 189m a 260m no Nadir e apresentam no mínimo uma banda no NIR e uma banda no VIS (vermelho). A partir delas podem ser geradas imagens NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) simples ou em mosaicos de vários dias. O produto-imagem NDVI é o mais utilizado em estudos relacionados à vegetação e suas alterações naturais ou antrópicas.

Dentre estes sensores se destaca o MODIS pelo conjunto de bandas (36) com ótima calibração radiométrica, geometria rigorosa e forte investimento na geração e validação de produtos aplicados. Além disto, os

satélites (TERRA e AQUA) que transportam o MODIS têm caráter multi-plataforma levando uma série de outros sensores, o que permite intercalibrações de seus instrumentos (RUDORFF *et al.*, 2007). Dentre os produtos do MODIS que vêm sendo utilizados para mapeamento de cicatrizes de queimadas, estão: MOD-09 (Reflectância de Superfície), MOD-13 (Índices de Vegetação: máximo NDVI e EVI), MOD-14 (Anomalias Termiais, Fogo e Queima de Biomassa), MOD-44 (VCC-Conversão da Cobertura Vegetal; VCF-Campos Contínuos de Vegetação), e mais recentemente o MCD-45 (“burned areas”).

Sensores de microondas: As imagens de radar de abertura sintética (SAR) evoluíram nas aplicações para estudos de vegetação florestal, principalmente com o uso de sensores que trabalham em comprimentos de ondas maiores, como as bandas L (~23 cm) e P (~75 cm). Além de gerarem dados diferenciados das imagens ópticas, devido às características do sensor SAR (respostas relacionadas à geometria dos objetos, às variáveis geomorfológicas e à constante dielétrica), têm a vantagem de não dependerem da luz do sol ou de uma terceira fonte, podendo ser utilizados, mesmo sob ocorrência de nuvens.

DISPERATI e SANTOS (2008) apontam o uso de diferentes polarizações, informação de fase e técnicas interferométricas como potencialmente úteis para diversos estudos de caracterização e detecção de alterações da cobertura vegetal. Como exemplos de sensores SAR, em nível orbital, utilizados para estudos de tipologia florestal e sua dinâmica (desmatamento, queimadas, variações de biomassa etc.) podem ser citados: PALSAR/ALOS, RADARSAT-2, TerraSAR-X, Cosmo-SkyMed.

Abordagem Multisensor

A utilização de diferentes sensores remotos no estudo de focos ativos de queimadas e suas cicatrizes vem sendo explorada desde a década de 70 e 80. A evolução em número e em características tecnológicas de sensores, bem como a disponibilidade e o baixo custo dos dados, têm levado à geração e validação de metodologias que integram dados de diferentes sensores. Tais metodologias recebem a denominação de “abordagem multisensor” (PEREIRA, 1987; SHIMABUKURO *et al.*, 1999).

O uso de abordagem multisensor pode objetivar diversas finalidades, tais como: complementação de áreas não imageadas por determinado sensor; calibração entre estimativas de sensores de resolução espacial grosseira por sensores de resolução mais fina; utilização de sensores em diferentes faixas espectrais (sensores ópticos e de microondas); fusão de imagens para melhoria da resolução espacial e espectral; estudos multiescala de fenômenos, buscando diversos níveis de detalhamento, desde o local até o global; aumento da precisão das medidas obtidas a partir de técnicas de “fusão de sensores”, entre outras.

Subdivisões da abordagem Multisensor quanto às finalidades

A partir da necessidade de estruturar os diferentes casos de abordagem multisensor, com base nas principais finalidades de seus usos, este trabalho define as seguintes categorias ou subdivisões da abordagem:

- 1) **Substituição** (quando se insere um dado auxiliar de um sensor remoto onde inexistia o dado do sensor principal, como em casos de séries temporais incompletas);
- 2) **Complementação** (quando se insere um novo dado SR, onde o objeto (espaço) e o tempo são o mesmo, porém o dado SR obtido por diferentes sensores é diferente, adicionando informação);
- 3) **Calibração** (quando um dado SR principal é calibrado por outro auxiliar ou referencial);
- 4) **Intercalibração** ou fusão de sensores (quando, para um mesmo fenômeno ou objeto, medidas independentes são obtidas por sensores diferentes, sendo gerado um dado SR final intercalibrado, caracterizando aumento de acurácia);
- 5) **Contextualização** (quando um dado SR ou produto temático diretamente advindo de um processamento prévio de um sensor modifica o processamento ou o produto final de outro sensor);
- 6) **Casos Complexos** (quando há mais de uma finalidade envolvida).

Exemplos de abordagem Multisensor no mapeamento de áreas afetadas por incêndios florestais

Substituição

A substituição ocorre tipicamente em casos onde há necessidade de geração de históricos temáticos (fenologia da vegetação; usos do solo; áreas queimadas), quando na falta do dado de um sensor numa data de interesse, o dado de outro sensor é considerado. A falta de dados ou imagens de qualidade numa determinada data é bastante comum para casos de imageamento com sensores ópticos, com limitações referentes à ocorrência de nuvens. Outro problema que pode levar à substituição é a ocorrência de falhas no sensor, causando ruídos ou inviabilizando a obtenção de dados ou imagens numa determinada data.

A finalidade de substituição pode igualmente ser necessária no mapeamento de grandes espaços geográficos devido aos mesmos motivos descritos acima. Ainda que se considere apenas uma data ou período de referência, tais mapeamentos geralmente exigem a montagem de mosaicos de imagens, onde pode haver a necessidade de substituição do dado principal por dados de sensores alternativos compatíveis.

A série temporal de imagens TM/Landsat tem permitido não só a mensuração do desmatamento da Amazônia, como também a análise de impactos da exploração madeireira sem o devido manejo florestal, cujos danos tornam a floresta propícia à combustão sob certas condições. Na ausência de imagens de boa qualidade para o período requerido, outros sensores podem ser utilizados, como CCD/CBERS e HRV/SPOT. Dados SAR também estão sendo testados para, em caso de excessiva e repetitiva condição de nebulosidade, se tornarem uma alternativa às imagens ópticas (SANTOS *et al.*, 2008; HAARPAINNER *et al.*, 2009). À medida que imagens SAR vêm sendo obtidas regularmente por diversas missões (PALSAR/ALOS, Envisat-ASAR, TerraSAR-X, SAR R99-B), certamente haverá condições para utilização dos dados para o mapeamento de áreas afetadas por incêndios florestais.

Complementação

A complementação de imagens ópticas com imagens SAR (ou vice-versa) visa desde mapeamentos temáticos, até estimativas de parâmetros biofísicos (e.g. biomassa) através da modelagem matemática adequada (SANTOS *et al.*, 1999). DISPERATI e SANTOS (2008) mencionam a utilização de dados LIDAR e de radar em sinergia para mapeamentos em escala local e regional de parâmetros da estrutura florestal. Uma vez que alguns parâmetros (densidade, área basal etc.) são fortemente alterados por incêndios, a integração destes dados pode ser útil no mapeamento de áreas afetadas. Avanços expressivos da abordagem multisensor incluindo a finalidade de complementação entre dados SAR e ópticos, foram alcançados para estudos de áreas afetadas por incêndios recorrentes (NUGROHO e HOEKMAN, 2000; HAARPAINNER *et al.*, 2009).

A complementação de dados SR pode também ser realizada com técnicas de fusão de imagens. Tais técnicas visam combinar informações espectrais provenientes de sensores com baixa resolução espacial, a imagens de resolução espacial de maior detalhe, porém pobres em resolução espectral (LEONARDI *et al.*, 2005).

Calibração

Geralmente a calibração é estabelecida pela utilização de um dado de menor incerteza com abrangência parcial, visando calibrar um dado de maior abrangência geográfica, mas de maior incerteza embutida. Tal abordagem foi utilizada por PEREIRA (1987). Ao comprovar a utilidade de imagens AVHRR/NOAA e TM/Landsat para monitorar queimadas na Amazônia, o autor seguiu duas etapas: 1) em primeiro, realizou a determinação de focos de calor em imagens AVHRR/NOAA, com resolução de 1,1 km no Nadir, derivando uma estimativa de área queimada; 2) em segundo, utilizou imagens TM/Landsat com cobertura parcial da região, utilizando-as como fonte de calibração para estimar os erros e corrigir as estimativas de áreas queimadas obtidas com os dados AVHRR/NOAA.

Intercalibração

Outro tipo de finalidade refere-se à intercalibração ou “fusão de sensores”. Segundo SALUSTIANO e REIS FILHO (2007), o termo se relaciona ao “... processo que autonomamente reúne e combina as observações de múltiplos sensores de mesma natureza ou de naturezas diferentes com o objetivo de fornecer aos sistemas de controle e monitoramento uma melhor percepção do ambiente, ou seja, dados e informações mais refinadas.”

Como exemplo hipotético pode-se levar em consideração a detecção de focos de calor por diferentes satélites/sensores para uma região. Sabendo-se que sempre existem erros embutidos, podem ser estabelecidas rotinas de processamento que considerem, segundo a necessidade: a) a adição (união) do conjunto de focos derivados de cada sensor, descartando-se as redundâncias; b) a interseção (coincidência) de cada foco, onde um foco só é levado em consideração após a confirmação do mesmo pela detecção de outro sensor.

Contextualização

GIGLIO *et al.*, (2009) desenvolveram um algoritmo híbrido de detecção de áreas queimadas que se baseia nas informações da resposta espectral de áreas queimadas e em informações contextuais sobre focos ativos. O algoritmo desenvolvido trabalha processando um “tile” (cena do MODIS) de cada vez. Na sequência de processamento é gerada uma imagem que resume as mudanças persistentes nas séries temporais de índices de vegetação e utiliza informação espacial e temporal sobre focos ativos para guiar a caracterização de mudanças em áreas queimadas e não queimadas da cena. A informação (contextual) de focos ativos é usada para gerar uma função de densidade de probabilidade para ocorrência de áreas queimadas próximas aos mesmos. O algoritmo identifica a data e a localização dos pixels de focos ativos e busca os “pixels” relacionados nas imagens de reflectância de resolução de 500 m: banda 1 (0,65 μm), 5 (1,2 μm) e 7 (2,1 μm) dos dias próximos, classificando cada “pixel” em: i) área queimada, ii) área não queimada.

Embora no trabalho acima, os dados de focos ativos sejam provenientes do processamento de bandas do infravermelho termal do MODIS e as áreas queimadas dependam de valores espectrais em bandas do infravermelho próximo do mesmo sensor, nada impediria que a informação de focos viesse de algum outro sensor (e.g AVHRR/NOAA), preferencialmente com resolução espacial compatível. Neste caso, o mais importante é o realce à possibilidade de agregação de uma informação de contexto (ou temática) a uma imagem a ser processada (classificada); cujo produto final da classificação se modifica de acordo com o contexto ou distribuição espacial do tema de entrada (focos de calor). O conceito de contexto pode ser ampliado para englobar a idéia de tempo, considerando a repetição ou duração de um evento (foco, cicatriz etc.), como no atual produto “burned areas” do MODIS (NASA, 2010b).

Casos Complexos

No mapeamento realizado para áreas afetadas por incêndios em Roraima (SHIMABUKURO *et al.*, 1999), limitações que incluíram a forte ocorrência de nuvens, levaram ao uso de dados multisensor. Para que os objetivos fossem alcançados foram utilizadas imagens: i) TM/Landsat; ii) videografia digital; iii) RADARSAT; e OLS/DMSP. Neste estudo foram buscadas as seguintes finalidades: substituição (de AVHRR/NOAA por OLS/DMSP), de TM/Landsat por RADARSAT); calibração (de TM/Landsat por Videografia Digital) e contextualização (focos de calor obtidos de OLS/DMSP que apoiaram o mapeamento de áreas queimadas em TM/Landsat).

Ferramentas computacionais de mineração de dados e classificação orientada a objetos aumentam as opções de integração de dados multisensor (XAUD, 2009). Desta nova geração de ferramentas computacionais de análise de dados de sensoriamento remoto, algumas permitem incluir como atributos (parâmetros) da classificação, informações espectrais, de contexto e até de forma. Outra facilidade que vem sendo introduzida é a da manutenção dos dados de sensores remotos em bancos de dados geográficos, mantidos e manipuláveis em sua resolução radiométrica original. A observação de fenômenos em diferentes escalas, baseada em concepção de objetos em multiresolução (segmentação em diversos níveis) é outro avanço. Tais facilidades tendem a impactar positivamente a geração de novas metodologias baseadas em abordagem multisensor visando o mapeamento e monitoramento de áreas afetadas por incêndios florestais.

O desafio histórico e perspectivas no tema

As limitações do sensoriamento remoto até a década de 90 fizeram com que os estudos de mensuração local e regional de áreas afetadas por incêndios florestais, em sua maioria, ficassem reduzidos à etapa de mapeamento de eventos de grande impacto (SHIMABUKURO *et al.*, 1999; SIEGERT *et al.*, 1999). A utilização de sensores como o MODIS a partir do ano 2000 (NASA, 2010b), o uso da abordagem multisensor e os avanços metodológicos, tem melhorado a acurácia das estimativas de áreas queimadas e permitido o seu monitoramento efetivo, incluindo eventos recorrentes. Porém, o estado atual das florestas depende do que ocorreu no passado (BARLOW e PERES, 2008). Ainda que as cicatrizes dos incêndios florestais amenizem com o tempo (RIVERA-LOMBARDI, 2003), suas ocorrências pretéritas precisam ser mapeadas e monitoradas até onde os dados históricos permitirem. Em outras palavras, ainda que os atuais sistemas de monitoramento de áreas queimadas alcancem maior acurácia, o monitoramento dos efeitos de incêndios florestais anteriores a 2000 precisa ser realizado ou complementado.

Buscando avançar na exploração das potencialidades atuais e perspectivas futuras da abordagem multisensor, é apresentado um desenho metodológico visando o monitoramento de áreas de florestas tropicais afetadas por incêndios recorrentes. O mesmo foi proposto com vistas à aplicação experimental em uma área na Amazônia (Roraima), fortemente atingida por incêndios recorrentes em 1998, 2003 e 2007 (XAUD, 2009). O esquema abaixo (Figura 1) traz as principais etapas de uso e processamento de dados de sensoriamento remoto, delineadas não só para atingir o objetivo da execução do monitoramento em si, mas para que sejam realizadas comparações entre as alternativas metodológicas mais simples até as mais complexas.

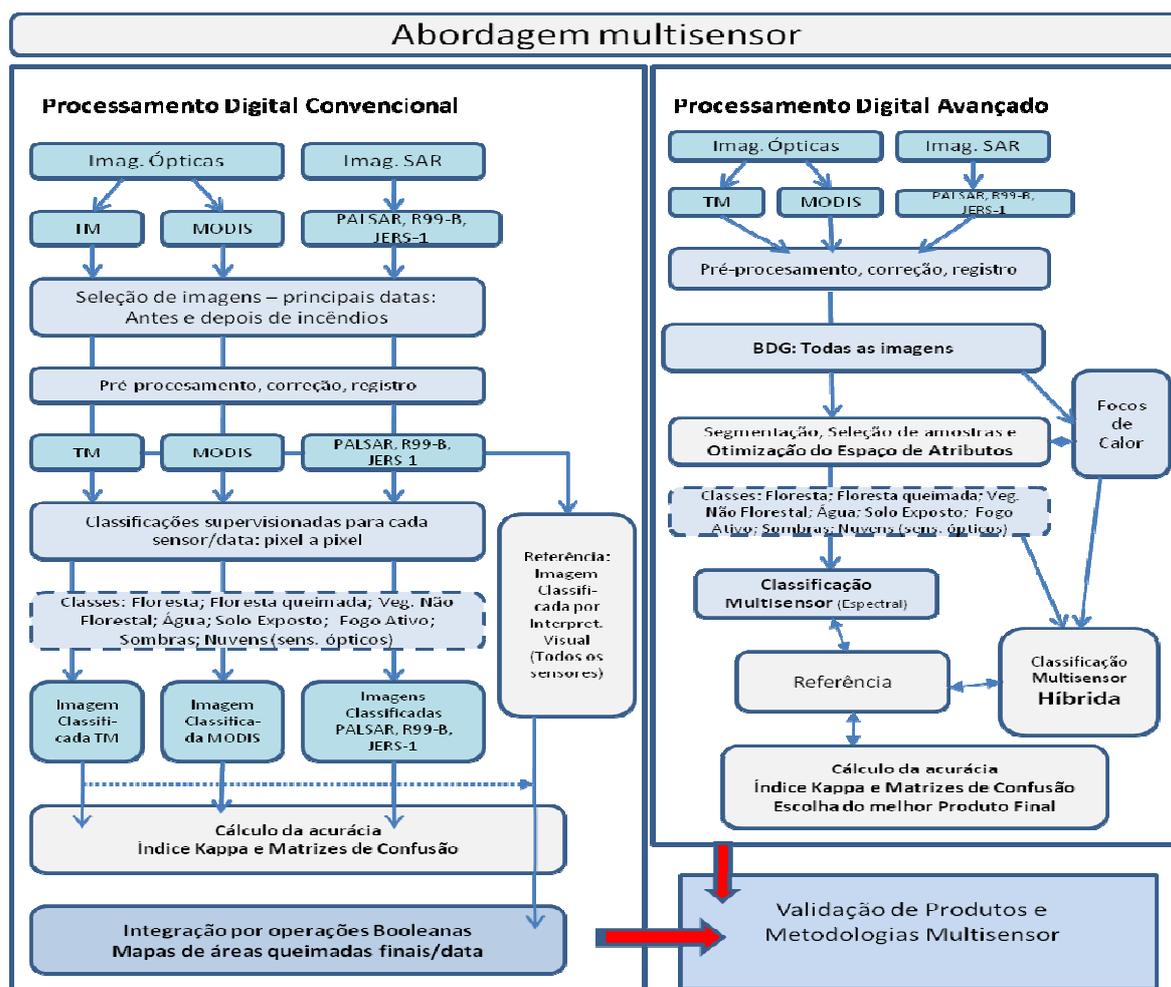


Figura 1. Fluxograma para monitoramento de áreas queimadas sob abordagem multisensor (XAUD, 2009).
Figure 1. Flowchart to monitoring burned areas under multi-sensor approach (XAUD, 2009).

Além da quantificação das áreas e do número de vezes em que cada área florestal foi queimada, a intensidade de cada evento é também elemento-chave na caracterização do estado atual das florestas (estrutura, biodiversidade, biomassa, carbono etc.). Assim, visando complementar as análises advindas da abordagem multisensor, XAUD (2009) preconiza a realização de inventários florestais e a coleta de dados secundários, para que se chegue a um conhecimento abrangente sobre a real situação das florestas tropicais atingidas por incêndios recorrentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os exemplos descritos, a organização das finalidades de utilização de dados multisensores e as discussões apresentadas, indicam resultados positivos e/ou grande potencial de uso da abordagem multisensor na quantificação de áreas florestais afetadas por incêndios.

Pelo exposto pode-se extrair que o sensoriamento remoto, principalmente quando utilizado dentro da abordagem multisensor, é importante ferramenta para o mapeamento e o monitoramento de florestas tropicais afetadas por incêndios recorrentes. De forma complementar, sempre que possível, o estudo destas áreas impactadas deve ser auxiliado por levantamentos de campo com vistas ao seu efetivo monitoramento.

Em se tratando de regiões tropicais com forte ocorrência de nuvens, recomenda-se a periódica execução de imageamento (aéreo ou orbital) com sensores de microondas (SAR), se possível com a disponibilização gratuita destes dados em repositórios na internet. Tal estratégia possibilitaria o maior uso destes dados em trabalhos baseados em abordagem multisensor para estudo da temática de incêndios florestais e seus impactos. Isto promoveria o aumento da acurácia dos resultados obtidos em escala local, regional e global, diminuindo as incertezas principalmente para as áreas tropicais.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, R.I. *Avaliação preliminar da área dos sistemas naturais e agroecossistemas atingida por incêndios no Estado de Roraima (01.12.1997 a 30.04.1998) em 16.05.1998*: Relatório Técnico II. Relatório de Pesquisa. Boa Vista, INPA/Roraima, 1998.
- BARLOW, J.; PERES, C.A. Fire-mediated dieback and compositional cascade in an Amazonian forest. *Phil. Trans. R. Soc. B*. v.363, p.1787–1794, 2008.
- DISPERATI, A.A.; SANTOS, J.R. Geotecnologias: a chave da integração de dados para otimizar o inventário e monitoramento florestal. *Ambiência* (UNICENTRO), v.4, p.13-21, 2008.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *State of the world's forests 2007*. Rome: FAO, 2007. CD-ROM.
- GIGLIO, L. *et al.* An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor, *Remote Sens. Environ.*, 113, 408–420, doi:10.1016/j.rse. 2008.10.006, 2009.
- HAARPAINNER *et al.* Comparison of Envisat ASAR deforestation monitoring in Amazônia with Landsat-TM and ALOS PALSAR images. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009. *Anais...* São José dos Campos, INPE, 2009. p.5857-5864. CD-ROM.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Queimadas*: monitoramento de focos. São José dos Campos: INPE. Disponível em: <http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/>. Acessado em: 15.06.2010.
- LEONARDI, S.S. *et al.* Comparação de técnicas de fusão de imagens para diferentes sensores orbitais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2005. p.4111-4113. CD-ROM.
- NASA. National Aeronautics Space Administration. *MODIS Rapid Response System*. 2010. Disponível em: <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/apps/#app01> . Acesso em: 01.06.2010.
- NASA. National Aeronautics Space Administration. *MODIS Active Fire and Burned Area Products*. 2010b. Disponível em: <http://modis-fire.umd.edu/index.html>. Acesso em: 01.06.2010.

- NUGROHO, M.; HOEKMAN, D.H. SAR systems for operational forest monitoring in Indonesia. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. v.33, Part B6. Amsterdam 2000.
- PEREIRA, M. C. *Detecção, monitoramento e análise de alguns efeitos ambientais de queimadas na Amazônia através da utilização de imagens dos satélites NOAA e Landsat, e dados de aeronave*. 1987. 268p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, São José dos Campos. 1987.
- RIVERA-LOMBARDI, R.J. *Estudo da recorrência de queimadas e permanência de cicatrizes do fogo em áreas selecionadas do cerrado brasileiro, utilizando imagens TM/Landsat*. 2003. 159p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, São José dos Campos. 2003.
- ROY, D.P. *et al.* Prototyping a global algorithm for systematic fire-affected area mapping using MODIS time series data, *Remote Sens. Environ.*, 97, 137–162, 2005.
- ROY, D.P. *et al.* The collection 5 MODIS burned area product – global evaluation by comparison with the MODIS active fire product, *Remote Sens. Environ.*, 112, 3690–3707, doi:10.1016/j.rse.2008.05.013, 2008.
- RUDORFF, B.F.T. *et al.* *O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil*. São José dos Campos: Bookimage, 2007. 428p.
- SALUSTIANO, R.E.; REIS FILHO, C.A. Algoritmos de Sensores em Consenso aplicados ao sensoriamento e monitoramento de ambientes. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007. *Anais...*, São José dos Campos: INPE, 2007. p.6111-6117. CD-ROM.
- SANTOS, J.R. *et al.* El proceso de quema de biomasa de bosque tropical y de sabanas en la Amazonia brasileira: experiencias de monitoreo con datos ópticos y de microondas. *Serie Geografica: Incendios forestales*, Universidad de Alcalá, Espanha, v.7, p. 97-108, 1999.
- SANTOS, J.R. *et al.* Mapping recent deforestation in the Brazilian Amazon using simulated L-band MAPSAR images. *International Journal of Remote Sensing*, v.29, p.4879-4889, 2008.
- SETZER, A. *et al.* Estimativa quinzenal de áreas queimadas. In: Rudorff, B.F.T.; Shimabukuro, Y.E.; Ceballos, J.C. (eds.). *O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil*. São José dos Campos: Bookimage, 2007. p.403-417.
- SHIMABUKURO, Y.E. *et al.* *Estimativa da área de cobertura florestal afetada pelo incêndio em Roraima, utilizando dados multi-sensores*. São José dos Campos: INPE, 1999. 65p.
- SHIMABUKURO, Y.E. *et al.* Desflorestamento na Amazônia – Sistema DETER. In: Rudorff, B.F.T.; Shimabukuro, Y.E.; Ceballos, J.C. (eds.). *O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil*. São José dos Campos: Bookimage, 2007. p.389-401.
- SIEGERT, F. *et al.* Evaluation of the 1998 forest fires in East-Kalimantan (Indonesia) using NOAA-AVHRR hotspot data and multitemporal ERS-2 SAR images. In. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 06-07 Fev.1999, Hamburg, Germany. IGARSS '99. *Proceedings...*, IEEE International, 1999. pp. 185-187.
- SILVA, R.G. *Manual de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais*. Brasília: IBAMA, 1998. 80p.
- XAUD, H.A.M. *Sensoriamento remoto multisensor e modelagem dinâmica espacial no estudo de áreas afetadas por incêndios florestais em Roraima (Amazônia): diagnóstico atual e previsão de riscos*. 2009. 55p. Proposta de Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - INPE. São José dos Campos. 2009. (não pub.)