



Revista Brasileira de Cartografia (2013) N^o 65/1: 111-122
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

APLICAÇÃO DE DADOS RADIOMÉTRICOS TM5 NA ANÁLISE DA VEGETAÇÃO APÓS INCÊNDIO EM ÁREA ALAGÁVEL E RELAÇÃO COM A GEOMORFOLOGIA

Application of TM5 Radiometric Data in the Vegetation Analysis After Fire on Wetland and Association with the Geomorphology

Otávio Cristiano Montanher^{1, 2} & Everton Hafemann Fragal²

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto

Av. dos Astronautas, 1758 - Jd. da Granja - São José dos Campos – CEP 12227-010.

otaviocmontanher@yahoo.com.br

² Universidade Estadual de Maringá – UEM

Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente – GEMA

Av. Colombo, 5790 – Jardim Universitário – CEP 87.020-900 - Maringá – PR

ev3rt0n@hotmail.com

Recebido em 22 de setembro, 2011/ Aceito em 25 de dezembro, 2011

Received on september 22, 2011/ Accepted on december 25, 2011

RESUMO

O Parque Nacional de Ilha Grande entre os estados do Paraná e Mato Grosso do Sul é uma área de preservação ambiental que lida com queimadas ocasionadas principalmente pela atividade antrópica. O objetivo deste trabalho é realizar uma avaliação do desenvolvimento da vegetação após a queimada de dez/2008, em conjunto com a interpretação das condições geomorfológicas fluviais da área. Foram utilizadas 6 imagens Landsat 5, sensor TM, em um intervalo de quatro meses após o incêndio que atingiu grande parte da Ilha Grande, a maior do Parque. As imagens foram convertidas para valores de FRB, passaram por correção atmosférica, e então georreferenciadas. Para análise da vegetação, foram utilizadas as bandas 3, 4 e 7 e os índices NDVI, AFRI e SAVI. A banda 4 ofereceu informações para diferenciação entre os conjuntos de vegetação existentes em diferentes condições geomorfológicas. A banda 7 apresentou a melhor diferenciação entre as áreas incendiadas e não incendiadas para o mês de janeiro. Já a banda 3 não apresentou bons contrastes para nenhum dos dois tópicos. Desta forma, o NDVI não promoveu uma diferenciação entre os tipos de vegetação e esteve muito próximo da saturação (0,8-0,9), já o AFRI apresentou um bom contraste entre as áreas queimadas e não queimadas nos primeiros meses e uma diferenciação entre os conjuntos de vegetação. O SAVI também apresentou relevantes informações, com o uso de variados valores da constante L. É possível concluir que a vegetação da Ilha Grande tem uma rápida resposta aos incêndios, e que as diferentes condições geomorfológicas existentes, tais como paleocanais e áreas elevadas, impõem uma resposta diferenciada em relação ao desenvolvimento da vegetação.

Palavras chaves: Sensoriamento Remoto, Parque Nacional de Ilha Grande, Incêndios, Comportamento Espectral da Vegetação, Planície Aluvial.

ABSTRACT

The Parque Nacional de Ilha Grande, situated on the borders of the states of Paraná and Mato Grosso do Sul, is an environmental preservation area that undergoes fires caused mainly by anthropic activity. The aim of this paper is to evaluate the development of vegetation after the fire of Dec/2008, together with the interpretation of fluvial geomorphic conditions of the area. Six Landsat 5 images, TM sensor were used, with an interval of four months after the fire that swept a vast area of Ilha Grande, the largest of the Park. The images were converted to BRDF values, they have gone through atmospheric correction, and then were georeferenced. 3, 4 and 7 bands were used for analysis of vegetation and also indexes NDVI, AFRI and SAVI. Band 4 offered information to differentiate the existing sets of vegetation in different geomorphological conditions. Band 7 provided the best differentiation between the burned and unburned areas, for the month of January. Band 3, however, did not show good contrast for either of the two topics. Thus, the NDVI did not show a differentiation between types of vegetation and it was also very close to saturation (0.8 to 0.9), AFRI showed good contrast between burned and unburned areas during the first months and differentiation between the sets of vegetation. SAVI also provided relevant information, using different values for the constant L. It can be concluded that the vegetation of Ilha Grande has a fast response to fires, and that the different geomorphological conditions, such as paleochannels and elevated areas, impose a different response on the vegetation development.

Keywords: Remote Sensing, Parque Nacional de Ilha Grande, Fires, Spectral Vegetation Behavior, Alluvial Plain.

1. INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais representam um distúrbio ao funcionamento de um determinado ecossistema quando este não possui esta característica (existência, intensidade e/ou frequência) em sua dinâmica natural. As queimadas podem provocar mudanças bióticas que são observadas na estrutura da paisagem, composição e biodiversidade de espécies, bem como modifica a função, a taxa e as vias de sucessão ecológica (LENTILE *et al.*, 2006).

As queimadas também podem impactar alguns processos abióticos, incluindo o ciclo de nutrientes no solo e no ar, e possui implicações diretas para a qualidade do ar, por causa da emissão de fumaça (HARDY *et al.*, 2001). O conhecimento dos impactos gerados pelo fogo sobre a fauna e flora associadas ao ecossistema é então de extrema importância para a criação de planos de manejo de uma determinada área.

O Parque Nacional de ilha Grande é uma área que sofre intensamente com queimadas induzidas pela atividade antrópica, sendo 88,4% das queimadas causadas por incendiários no período de 1999 a 2003 (KOPROSKI, 2005). Embora a autora levante a hipótese de que em épocas anteriores ao seu estudo a principal origem das queimadas possam ter sido motivadas por causas naturais, durante o período de 1999 a 2003, 92,3% dos incêndios foram originados por atividade humana (KOPROSKI *et al.*, 2006; KOPROSKI, 2005). Por ser uma importante área de preservação ambiental, localizada no último trecho do Rio Paraná

livre de represamentos em território brasileiro, a realização de estudos que monitorem a fauna (ABREU *et al.*, 2004; KOPROSKI, 2005; KOPROSKI *et al.*, 2006; TIEPOLO *et al.*, 2000) e a vegetação sob efeitos do fogo, são essenciais para a preservação deste ecossistema.

As pesquisas desenvolvidas sobre os impactos ambientais dos incêndios florestais no Parque Nacional de Ilha Grande têm voltado atenção principalmente ao comportamento da fauna (ABREU *et al.*, 2004; KOPROSKI, 2005; KOPROSKI *et al.*, 2006; TIEPOLO *et al.*, 2000). Porém, a resposta da vegetação em relação aos incêndios é um tema ainda pouco explorado nesta área de preservação ambiental, sendo já realizada a identificação de algumas queimadas através de produtos do sensor MODIS/TERRA por Caldas *et al.*, (2009).

Como a área é de difícil acesso, e existe a necessidade da coleta de dados ao longo do tempo, foram escolhidas imagens Landsat 5, sensor TM, para execução deste trabalho. De acordo com Jensen (2009), quando se pretende analisar a dinâmica de um ecossistema, é necessário monitorar a vegetação através do tempo e determinar quais sucessões de mudanças estão ocorrendo. O caráter multitemporal de aquisição de dados através de sensores remotamente situados permite a realização deste monitoramento. Esta ferramenta possui enorme potencial de avaliação desde que os fenômenos ambientais e a aquisição de dados sejam temporalmente compatíveis.

O objetivo deste trabalho é avaliar o desenvolvimento da vegetação no P. N. de Ilha Grande após o incêndio de dezembro de 2008 a partir de dados Landsat 5. Foram aplicados diferentes índices de vegetação e avaliado o comportamento espectral da vegetação através da série temporal de imagens, em locais com características geomorfológicas distintas.

2. METODOLOGIA

A interação entre a vegetação e os processos fluviais é reconhecida na literatura (OSTERKAMP & HUPP, 2009), e diversos autores têm utilizado a distribuição e/ou o porte da vegetação como indicador de níveis de inundação, ou a proximidade do nível piezométrico em relação à superfície de ambientes aluviais (OSTERKAMP & HUPP, 2009). Essas premissas foram utilizadas neste trabalho, de forma que diferentes unidades geomorfológicas possuem conjuntos de vegetação com características de composição intrínsecas.

O uso de produtos do sensoriamento remoto em conjunto com técnicas de geoprocessamento como ferramentas de análise e investigação de queimadas tem sido intensamente utilizado para identificação e mapeamento dessas áreas (COSTA & SOUZA JUNIOR, 2005; FRANÇA & FERREIRA, 2005; CALDAS *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2009; SOUZA *et al.*, 2010; PEREIRA *et al.*, 2012). Porém a análise da regeneração da vegetação após incêndios possui menor bibliografia disponível, e a existente trabalha principalmente com dados hiperespectrais ou com alta resolução temporal (RIÑO *et al.*, 2002).

Contudo, a complexa distribuição espacial da vegetação existente na área sob estudo não permite utilizar sensores com baixa resolução espacial. Desta forma, este trabalho utilizou imagens do satélite LANDSAT 5, sensor TM. O uso do sensor TM para tais estudos é amplamente revisado na literatura, (PATTERSON & YOOL, 1998; FRENCH *et al.*, 2008; HUANG *et al.*, 2009; SOVEREL *et al.*, 2010).

A busca por tal produto foi realizada junto ao site do INPE: www.dgi.inpe.br. Foi realizada a avaliação inicial das imagens TM: Órbita: 224, Ponto: 076. Avaliando-se o acervo, encontrou-se que após a queimada de dezembro de 2008, as imagens de: 12/01/2009, 13/02/2009, 01/03/2009,

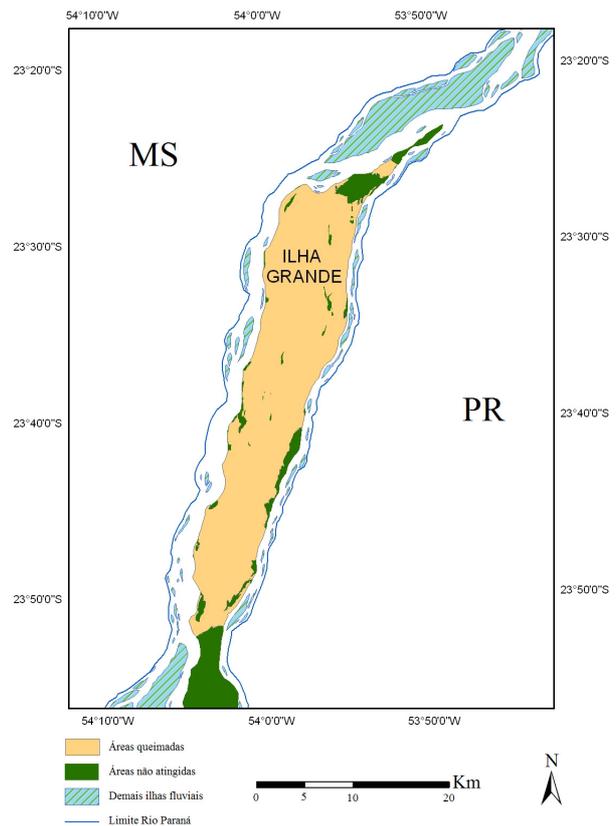


Fig. 1. Extensão das áreas atingidas pelo incêndio de 12/2008.

17/03/2009, 02/04/2009 e 18/04/2009 registram a área de estudo com pouca ou nenhuma cobertura de nuvens, e com poucas imperfeições radiométricas. A fig. 1 apresenta a extensão das áreas atingidas pelo incêndio de dezembro/2008.

O sistema de informação geográfica utilizado para elaboração do banco de dados foi o SPRING 5.1 (CÂMARA *et al.*, 1996). As imagens utilizadas foram georreferenciadas a partir de um mosaico disponibilizado pela NASA, no site: <http://landsat.gsfc.nasa.gov>. A projeção cartográfica utilizada para toda a base de dados foi a UTM, e o datum WGS84.

As imagens foram inicialmente convertidas em valores de FRB – fator de reflectância bidirecional aparente pelo método desenvolvido por Markhan & Barker (1986), seguindo os parâmetros oferecidos por Chander *et al.*, (2009). Para minimização dos efeitos atmosféricos de absorção e espalhamento da REM, o modelo 6S (VERMOTE *et al.*, 1997) foi aplicado aos valores de FRB aparente para cada cena individualmente.

Os valores de FRB de superfície das bandas 3, 4 e 7, e os valores dimensionais dos índices de vegetação NDVI, AFRI e SAVI foram

coletados em pontos determinados arbitrariamente, a partir da interpretação visual. Estas coletas foram realizadas em áreas atingidas e não atingidas pelo incêndio. Dentre as áreas atingidas pelo incêndio, os valores foram coletados em diferentes compartimentos geomorfológicos, com o objetivo de compreender a interferência do substrato na recuperação da vegetação.

O índice NDVI (*normalized difference vegetation index*) foi desenvolvido por Rouse *et al.*, (1973) e consiste na razão normalizada dos valores de refletância das regiões espectrais do vermelho e do infravermelho próximo (eq. 1).

$$NDVI = \frac{\rho_{ver}(b3) - \rho_{ivp}(b4)}{\rho_{ver}(b3) + \rho_{ivp}(b4)} \quad (1)$$

Onde:

$\rho_{ver}(b3)$ = FRB no vermelho (banda 3);

$\rho_{ivp}(b4)$ = FRB no infravermelho próximo (banda 4).

Esta equação baseia-se na correlação existente entre o aumento do IAF (índice de área foliar), a forte absorção na região do vermelho pela clorofila presente nas folhas da vegetação, e o forte espalhamento na região do infravermelho próximo pela estrutura celular do mesófilo (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007; JENSEN, 2009). O resultado da equação aplicada em uma imagem é uma grade com valores entre -1 e 1.

Karnieli *et al.*, (2001) apresentam o índice AFRI (*aerosol free vegetation index*) e trazem uma discussão em relação as vantagens do uso da região espectral do infravermelho de ondas curtas para estudos de vegetação. Neste trabalho, os autores sugerem o uso deste índice utilizando diversos sensores, dentre os quais, o sensor TM é citado (eq. 2).

$$AFRI = \frac{\rho_{ivp}(b4) - \rho_{ivc}(b7)}{\rho_{ivp}(b4) + \rho_{ivc}(b7)} \quad (2)$$

Onde:

$\rho_{ivc}(b7)$ = FRB no infravermelho de ondas curtas (banda 7).

O índice AFRI (KARNIELI *et al.*, 2001) é também denominado como NBR (*normalized burn ratio*), (SOVEREL *et al.*, 2010), e é intensamente utilizado para estudos sobre a ocorrência e intensidade de queimadas, com o sensor TM (FRENCH *et al.*, 2008; SOVEREL *et al.*, 2010).

Na banda 3 há um maior efeito do espalhamento atmosférico por aerossóis, devido ao seu menor comprimento de onda em relação às bandas 4 e 7, e ocorre a absorção da REM pelos pigmentos fotossintetizantes da vegetação. Já na banda 7, a interação da REM com a vegetação ocorre principalmente devido a uma maior absorção pela água presente nas folhas. Em relação ao índice NDVI, ocorre a troca da banda 3 pela banda 7 neste índice. Não é mais correlacionada a absorção da clorofila, mas sim a absorção da água presente na estrutura celular da vegetação. O produto desta equação, assim como o NDVI, é uma grade de valores entre -1 e 1.

O índice SAVI (*Soil adjusted vegetation index*) foi proposto por Huete (1988) e possui uma constante para minimização da interferência do solo sobre os valores de FRB da vegetação (eq. 3).

(3)

Onde:

L = constante para minimização do efeito do solo.

Os valores adotados para constante L foram: 0,25 para todas as datas da área não incendiada; 0,5 para os pontos incendiados, exceto para a data de janeiro, na qual foi utilizado o valor 1. A escolha de tais valores seguiu o proposto por Huete (1988).

As bandas 1 e 2 não foram utilizadas, pois fornecem informações semelhantes em relação à banda 3 e são mais sensíveis aos efeitos atmosféricos de espalhamento por aerossóis, pois estão situadas em comprimentos de onda mais curtos (LATORRE *et al.*, 2002). Já a banda 5 apresentou um comportamento muito semelhante à banda 7, porém, com menor contraste entre as áreas incendiadas e não incendiadas. A banda 6 não foi utilizada, pois não estaria na mesma escala de análise das outras bandas, não sendo possível a realização de comparações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A apresentação dos resultados está organizada da seguinte forma: primeiramente é apresentada a distribuição espacial dos índices de vegetação ao longo da Ilha Grande e para todas as imagens trabalhadas. No segundo tópico são discutidos os motivos pelos quais há diferenças entre os índices. Estas duas primeiras etapas, conjuntamente com o levantamento bibliográfico a respeito de características geomorfológicas de planícies de inundação sustentam as avaliações feitas no terceiro tópico, em que são feitas análises pontuais em locais com distintas características de terreno.

3.1 Distribuição Espaço-temporal dos Índices de Vegetação NDVI e AFRI

As imagens NDVI para a série temporal do P. N. de Ilha Grande são apresentadas na fig. 2. Uma análise visual inicial sobre este conjunto de imagens demonstra que ocorreu pouca variação nos valores NDVI após o mês de fevereiro, e que após o mês de março, grandes extensões apresentaram valores NDVI próximos à saturação.

A fig. 3 apresenta a série temporal de imagens AFRI para o P. N. de Ilha Grande, na mesma

discretização de tons de cinza apresentada na fig. 2.

As imagens AFRI apresentadas na fig. 3 demonstram uma maior variância de valores em relação às imagens NDVI. Principalmente a data de 12/01/2009 apresenta valores muito distintos, próximos à -0,3 para as áreas incendiadas, enquanto a imagem NDVI apresenta valores próximos a 0,45 para a mesma data e local.

3.2 Diferenças entre o NDVI e o AFRI

A série de imagens NDVI apresentada na fig. 2 mostra para a data de 12/01/2009 valores próximos à 0,5 em áreas incendiadas. Porém, apesar de este valor de NDVI indicar a existência de algum IAF (empiricamente), sabe-se que esta afirmação é falsa, pois a vegetação não teve tempo de desenvolver-se, de forma que estes valores não eram esperados. De forma controversa, o índice AFRI apresentou na mesma data e local, valores próximos à -0,2.

Com o objetivo de compreender a variação apresentada pelos valores de AFRI e NDVI para a data de 12/01/2009, os valores de FRB de superfície das bandas 3, 4 e 7 de todas as datas, em uma área incendiada, foram plotados na fig. 4.

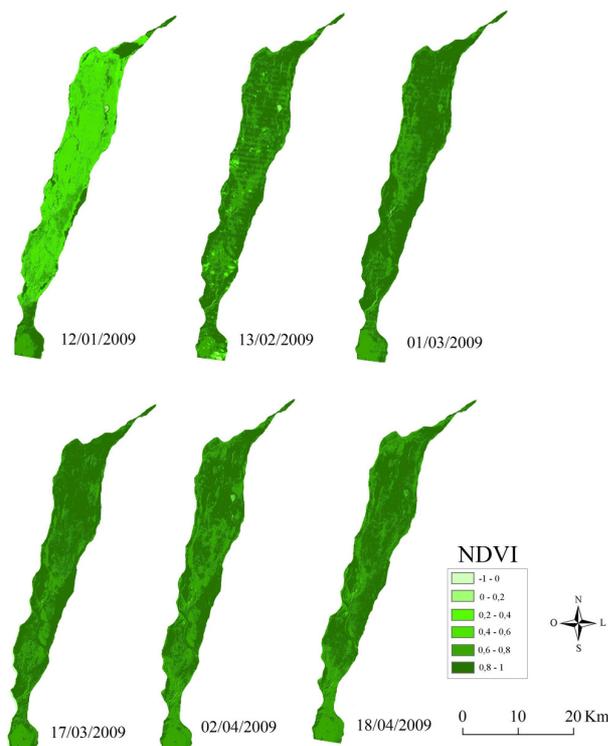


Fig. 2. Série temporal de imagens NDVI após o incêndio de 12/2008.

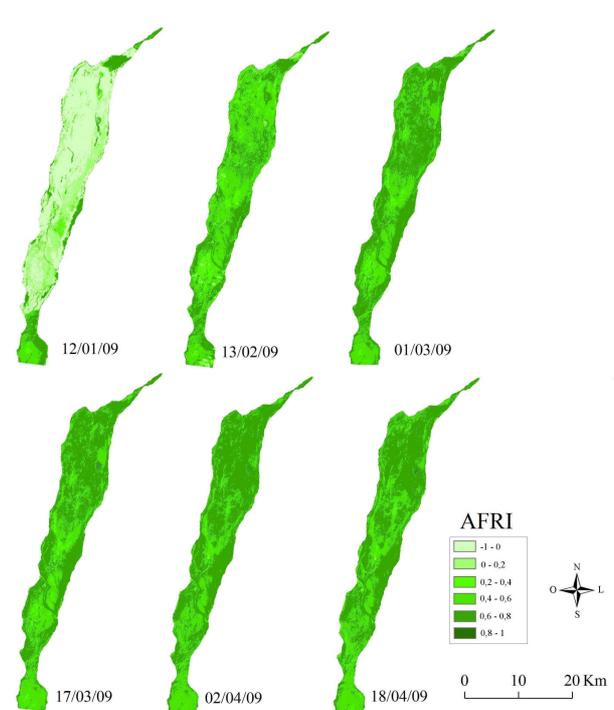


Fig. 3. Série temporal de imagens AFRI após o incêndio de 12/2008.

Considerando que a banda 4 é utilizada nos dois índices de vegetação, a diferença entre os resultados está nas diferentes respostas das bandas 3 e 7. A partir da fig. 4, observa-se o decaimento de 12,13% de FRB para 6,83% para a banda 7, enquanto que a banda 3 diminui de 2,64% para 1,93%, nos dois primeiros meses. Desta forma, quando estes valores são adotados nas equações dos índices, resultam em valores distintos. O solo exposto nas áreas queimadas provoca maiores valores de FRB, e, na medida em que a vegetação se desenvolve, o conteúdo de umidade presente na estrutura celular das folhas da vegetação absorve grande quantidade de energia, resultando na diminuição dos valores de reflectância na região do infravermelho de ondas curtas. A diminuição dos valores de FRB na região do vermelho, de janeiro para os meses de fevereiro e março também poderia indicar o desenvolvimento da vegetação, através da absorção da REM pela clorofila presente na estrutura celular das folhas da vegetação.

Contudo, esta diminuição não é equivalente à encontrada na banda 7, isto pode ser explicado pela presença de material orgânico e fuligem na superfície do solo, existentes no mês de janeiro, os quais são fortes absorvedores da REM na região do visível. De fato, Ponzoni & Shimabukuro (2007) apontam sobre a interferência do substrato nos índices de vegetação, com destaque aos solos escuros. Este é o caso da área de estudo, a qual possui solos orgânicos e argilosos em grandes extensões, em conjunto com o material orgânico que sofreu combustão.

3.3 Análises Pontuais – Relação com a Geomorfologia

Como podem ser observados nas figuras 2 e 3, os índices de vegetação não são homogêneos para toda a extensão da ilha. Desta forma, a análise da recuperação da vegetação após o incêndio baseou-se nestas diferenças. Alguns pontos foram selecionados no P. N. de Ilha Grande e foram extraídos os valores médios de FRB de superfície em toda a série temporal de imagens.

Esta seleção de pontos seguiu uma interpretação do ambiente geomorfológico fluvial. Segundo Souza Filho (1993), a Ilha Grande apresenta formas relictas do antigo sistema anastomosado do Rio Paraná. Tal sistema é caracterizado por planícies de inundação coesivas

de baixa energia em Nanson & Croke (1992), e pode ser observado na Figura 5. Tal planície de inundação de baixa energia é formada por depósitos silto-argilosos e ricos em material orgânico (Nanson & Croke, 1992; Charlton, 2008) os quais se caracterizam como áreas rebaixadas da planície de inundação (pântanos). Infreqüentes avulsões formam paleocanais e paleodiques no interior desta planície. Depósitos de rompimento de dique marginal em conjunto com diques e paleodiques formam as áreas elevadas na topografia.

A partir das características apresentadas na fig. 5, a vegetação possui diferentes respostas em cada compartimento geomorfológico (fig. 6). Diques marginais e paleodiques apresentam uma cobertura vegetal arbórea, e as áreas interiores da planície de inundação apresentam formações herbáceo-arbustivas, conforme existem variações na topografia, impostas por depósitos de rompimento de dique marginal e variações nos depósitos de acreção vertical.

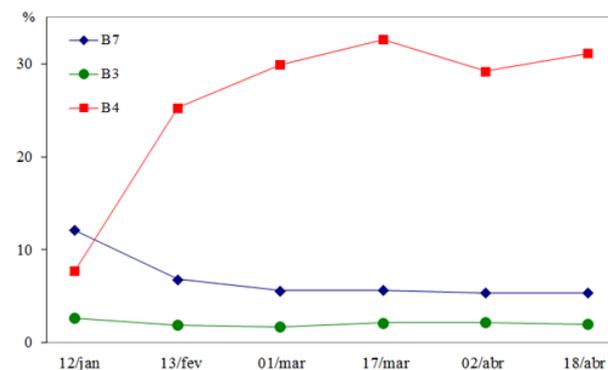


Fig. 4. Valores de FRB de superfície das bandas 3, 4 e 7, para uma área incendiada.

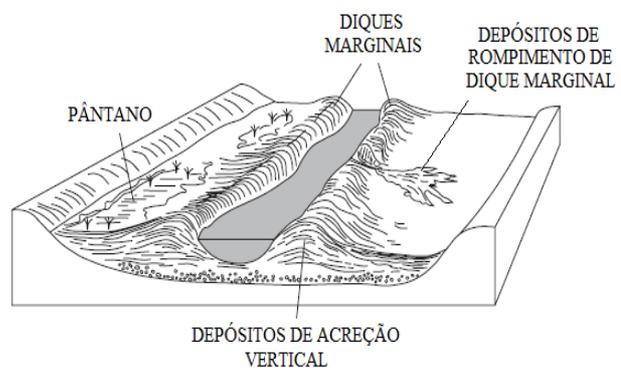


Fig. 5. Algumas características de planícies de inundação de baixa energia, adaptado de Charlton (2008).

Uma interessante análise da distribuição da vegetação para diferentes condições geomorfológicas com características semelhantes à área de estudo pode ser encontrada em Corradini *et al.*, (2008). A partir destas características apresentadas, a fig. 7 mostra os pontos selecionados para análise dos dados radiométricos. O ponto N.I. foi escolhido como uma área representativa da vegetação que não sofreu o incêndio, sendo utilizada como base para inferência de quais foram os efeitos causados pelo incêndio, comparando-a com as áreas incendiadas. Os pontos 1, 2 e 3 são áreas que foram incendiadas. O ponto 2 apresenta uma área elevada na topografia, mas não o suficiente para suportar uma vegetação de porte arbóreo. O ponto 3 representa um paleocanal, uma feição rebaixada na topografia. Já o ponto 1 foi escolhido por representar as grandes áreas na parte central da ilha que são aproximadamente homogêneas e se encontram em áreas médias na topografia. A fig. 8 apresenta os pontos 2 e 3 com maior detalhe pois esses pontos não são distinguíveis na representação da figura 7.

Feições de paleocanais são reconhecidamente mais rebaixadas no relevo de planícies aluviais, com acúmulo de umidade e desenvolvimento de solos orgânicos e argilosos, como pode ser observado nas fáceis de abandono de canal, descritas por Stevaux & Souza (2004) na planície de inundação do alto Rio Paraná. Por causa do excesso de umidade, a vegetação não adquire grandes portes. Estas características são relacionadas com o ponto 3. Já em áreas um pouco mais elevadas, uma vegetação com porte arbustivo consegue adaptar-se a esses locais, sendo reconhecidas nos pontos 1 e 2. Para verificação se cada um destes pontos coletados em áreas incendiadas possui uma resposta diferente em

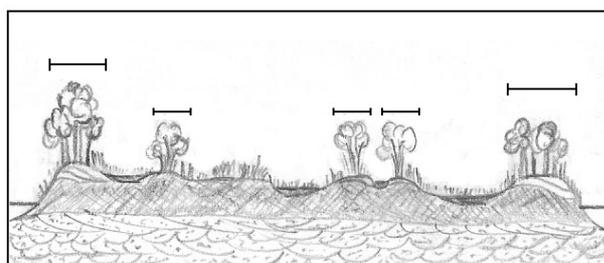


Fig. 6. Distribuição dos portes de vegetação nas diferentes características geomorfológicas. As áreas marcadas são diques marginais e paleodiques, que permitem a fixação de um extrato arbóreo.

relação ao fogo, e a comparação com o ponto N.I., foram gerados gráficos contendo os índices trabalhados, e as bandas 3, 4 e 7.

As figuras 9, 11, 12, 13, 14 e 15 apresentam o comportamento de cada local ao longo do tempo, em cada variável analisada. A fig. 9 apresenta os valores de FRB da banda 4.

Conforme esperado, houve um aumento do FRB nos três pontos incendiados de 12/jan para 13/fev. Porém, cada ponto apresenta um

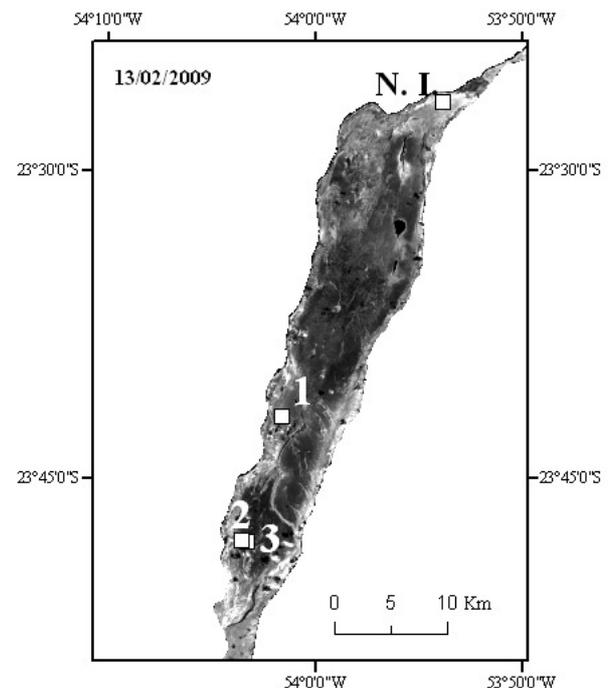


Fig. 7. Banda 4: N.I. – Área não incendiada; 1 – Área incendiada 1; 2 – Área incendiada 2 e 3 – Área incendiada 3.

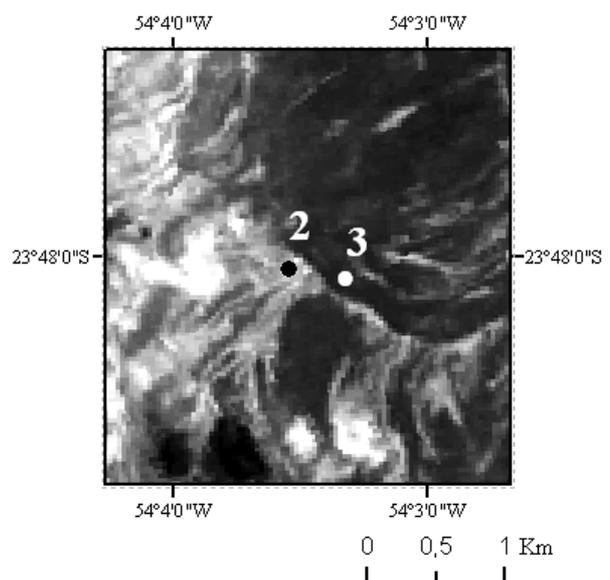


Fig. 8. Detalhe para os pontos 2 e 3.

comportamento diferenciado. O ponto incendiado 2 apresenta um pico de FRB em 13/fev, enquanto que o ponto incendiado 1 apresenta um pico de FRB em 17/mar, e o ponto 3 apresenta os menores valores de FRB em todas as datas, mas em um contínuo aumento. Tais comportamentos podem ser explicados pelos diferentes portes de vegetação existentes em cada condição geomorfológica. A fig. 10 ilustra uma concepção teórica do espalhamento de REM para a banda 4, conforme a vegetação desenvolveu-se após o incêndio.

O modelo apresentado na fig. 10 auxilia na interpretação dos valores de FRB da banda 4. Como se espera um menor desenvolvimento da vegetação em áreas de paleocanais, e os valores de FRB mantêm-se em aumento em todas as datas (ponto 3), o estágio de desenvolvimento da vegetação neste local está entre os estágios 2 e 3 da fig. 10. De forma contrária, as áreas incendiadas 1 e 2 apresentam um pico de FRB e posterior diminuição, o que pode ser explicado pelos estágios 3 e 4 da fig. 10. No entanto, há um pequeno aumento dos valores de FRB para a última data, o que não condiz completamente com os modelos propostos, embora o aumento seja em torno de 2%, o que pode estar vinculado com incertezas na conversão do FRB. Já a área não incendiada não apresenta grandes mudanças, a não ser uma tendência de diminuição dos valores de FRB do mês de janeiro para o mês de abril. Isto pode ser explicado pela diminuição do vigor das plantas da estação do verão para o outono. A fig. 11 apresenta a variável NDVI.

A área não incendiada não apresentou grandes variações nos valores de NDVI, porém, também com uma fraca tendência de diminuição dos valores do verão para o outono. De forma geral, os valores de NDVI fornecem informação redundante

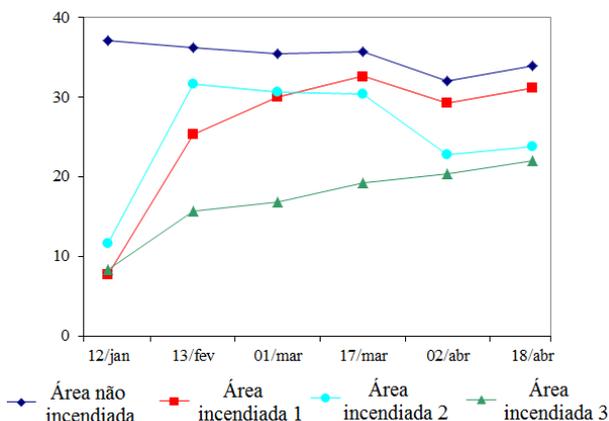


Fig. 9. Valores de FRB da banda 4.

em relação aos valores de FRB apresentados na fig. 9, porém, as classes são aproximadas, ou seja, a utilização do índice NDVI para classificação dos compartimentos gera informação inferior à fornecida pela banda 4. Este fenômeno pode ser compreendido a partir da observação da fig. 12. Os valores de FRB da banda 3 são muito próximos, e quando são utilizados na equação do NDVI, estes valores normalizam as diferenças existentes na banda 4 para as classes de vegetação.

Ainda em relação a banda do vermelho, embora os pontos incendiados 1 e 3 apresentem um comportamento esperado, de diminuição dos valores nos primeiros meses, através do desenvolvimento da vegetação, e maior absorção da REM pelo conteúdo de clorofila, o ponto 2 não apresenta este comportamento. Isto se deve pelos mesmos fatores explicados no tópico 3.2, ou seja, os valores de FRB da banda 3 em momento anterior ao desenvolvimento da vegetação (mês de janeiro) não estão relacionados com características fisiológicas da vegetação, e sim com os materiais expostos no solo.

Para diminuição dos efeitos do solo, a variável SAVI foi utilizada (fig. 13). É possível notar importantes diferenciações entre os conjuntos de vegetação, de forma muito parecida com a banda 4. Tais dados possuem uma variância maior do que os valores NDVI, e também estão em um nível de saturação abaixo.

A banda 7 mostra-se mais eficiente na diferenciação das áreas incendiadas das áreas não incendiadas para janeiro, mas os valores dos meses seguintes mostram-se muito homogêneos. A fig. 14 apresenta os valores de FRB da banda 7. Como pode ser observado na fig. 14, ocorre uma diminuição dos valores de FRB do mês de janeiro para o mês de fevereiro. Isto ocorre pela ação conjunta do desenvolvimento da vegetação (e conseqüente aumento da absorção pela umidade presente nas folhas), e também pela cobertura oferecida pela vegetação em relação ao solo, que por sua vez têm sua influência reduzida.

Desta forma, quando os valores de AFRI são analisados, eles demonstram a característica da banda 4 de diferenciação entre os conjuntos vegetais de cada ponto de coleta, e a característica da banda 7 de diferenciação da área incendiada para as áreas não incendiadas (fig. 15).

4. CONCLUSÕES

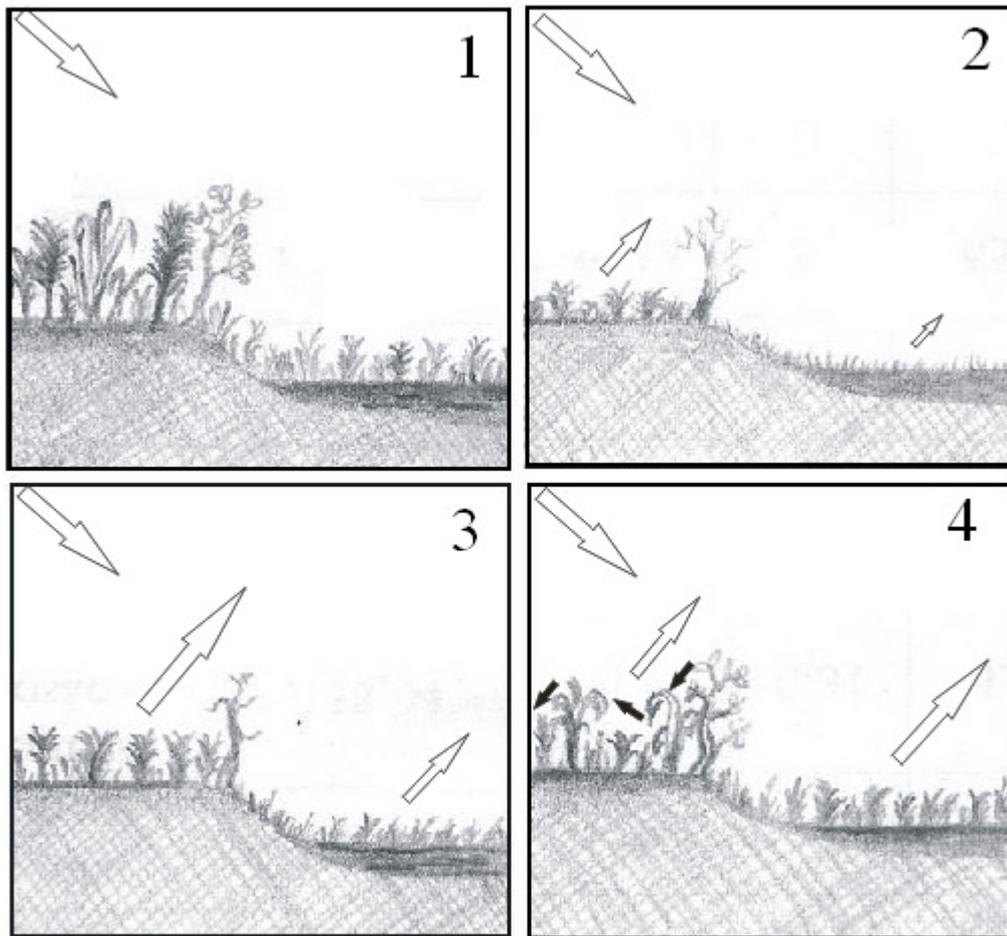


Fig. 10. Concepção hipotética do espalhamento da REM no infravermelho próximo. 1 – momento anterior ao incêndio; 2 – início do desenvolvimento, maior resposta das áreas elevadas; 3 – pico de FRB das áreas elevadas, e 4 – aumento da complexidade da interação REM com o dossel, aumento de sombras, e diminuição da radiância registrada pelo sensor nas áreas elevadas, e contínuo aumento do FBR do paleocanal e áreas rebaixadas.

A banda 3, embora muito útil para identificação da atividade fotossintética da vegetação, não apresentou bons resultados neste trabalho, pois os valores de FRB anteriores ao desenvolvimento da vegetação foram muito parecidos com os valores apresentados após o surgimento da vegetação.

A banda 4 apresentou informações muito úteis sobre o estágio do desenvolvimento da vegetação em cada compartimento analisado, sendo possível elaborar um modelo da relação desenvolvimento da vegetação contra os valores de FRB da banda 4. A vegetação das áreas mais elevadas (áreas incendiadas 1 e 2) mostraram uma relação não linear para o período analisado, por causa dos efeitos de sombra do dossel, causados pelo crescimento da vegetação. Já a vegetação existente nos paleocanais não chegou a atingir este nível de desenvolvimento, mantendo uma relação

positiva, aproximadamente linear entre os valores de FRB da banda 4 e o desenvolvimento da vegetação.

Embora a banda 4 ofereça um bom contraste entre os valores de FRB das datas de 12/jan e 13/fev, sendo um bom diferenciador das áreas incendiadas e das áreas não incendiadas, a banda 7 foi a que apresentou a melhor diferenciação para estas duas datas, porém, não demonstrou ser um bom diferenciador dos estágios de desenvolvimento de cada compartimento de vegetação.

Desta forma, o índice AFRI demonstrou melhores resultados do que o índice NDVI, tanto para diferenciação das áreas queimadas e não queimadas, para as datas de 12/jan e 13/fev, quanto para diferenciação dos conjuntos de vegetação.

O índice SAVI também apresentou resultados mais adequados do que o NDVI, possibilitando uma diferenciação entre os conjuntos de vegetação, com uma maior variância, e não apresentou valores

próximos da saturação. O índice NDVI não deve ser utilizado para monitoramento de áreas com solos escuros, se estes encontram-se expostos em determinadas situações. Para isso, a incorporação da constante “L” mostrou valores mais coerentes.

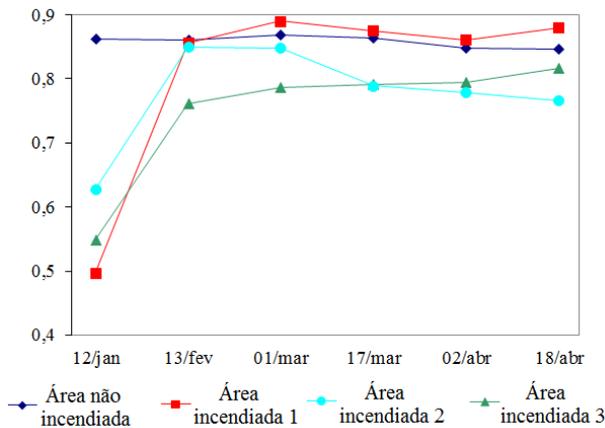


Fig. 11. Valores NDVI para os pontos de coleta.

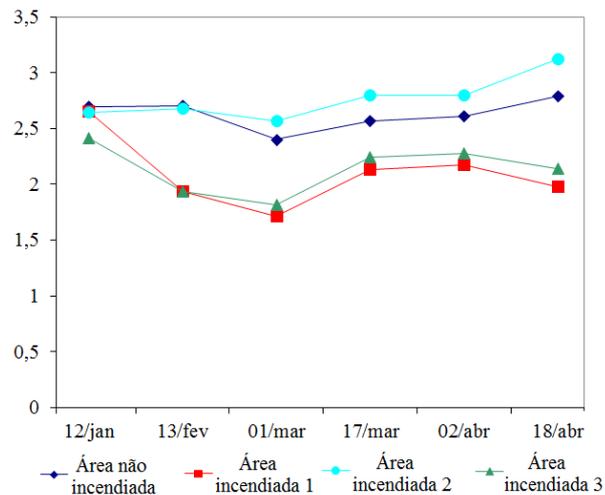


Fig. 12. Valores de FRB da banda 3.

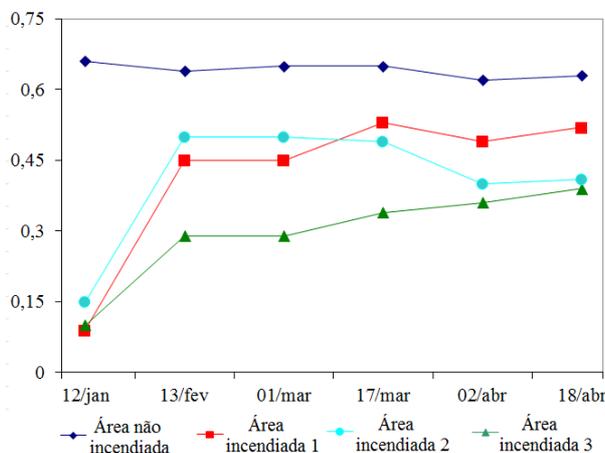


Fig. 13. Valores SAVI para os pontos de coleta.

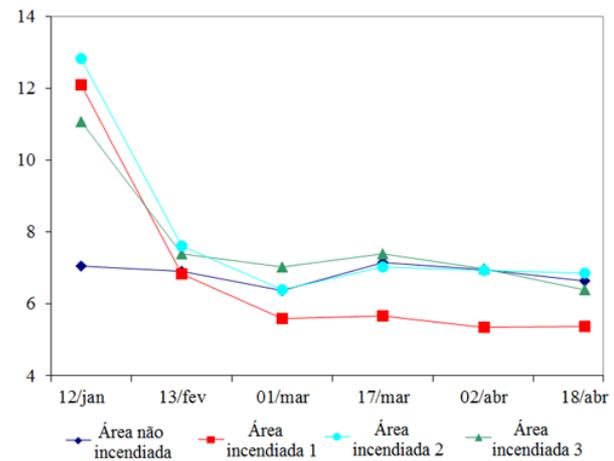


Fig. 14. Valores de FRB da banda 7.

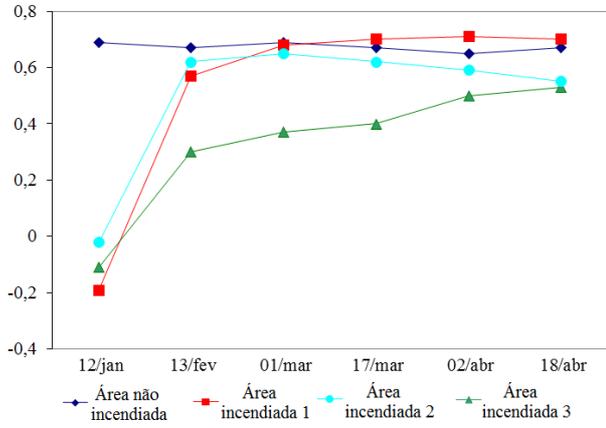


Fig. 15. Valores AFRI para os pontos de coleta.

A partir dos dados e discussões apresentadas, conclui-se que no ambiente fluvial do Parque Nacional de Ilha Grande, o desenvolvimento da vegetação após as queimadas é altamente influenciado pelas feições geomorfológicas da planície de inundação, as quais impõem diferentes tempos de resposta em diferentes condições geomorfológicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, K. C.; KOPROSKI, L. P.; KUCZACH, A. M.; CAMARGO, P. C.; BOSCARATO, T. G. Grandes Felinos e o Fogo no Parque Nacional de Ilha Grande, Brasil. *Floresta*, Curitiba, v.2, n. 34, p. 163-167, 2004.

CALDAS, A. J. F. S.; ROTTA, G. V.; GÓES, E. K.; SCHAMNE, J. A. Sensoriamento remoto na perícia ambiental da Polícia Federal. In: XIV SBSR - Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., 2009, Natal. *Anais eletrônicos...* Natal: INPE, 2009, p. 3621-3628.

- CÂMARA G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v.20, n.3, p.395-403, 1996.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. L. HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v.113, n. 5, p. 893–903, 2009.
- CHARLTON, R. **Fundamentals of Fluvial Geomorphology**. London: Routledge, 2008. 234p.
- CORRADINI, F. A.; STEVAUX, J. C. ; FACHINI, M. P. Geomorfologia e Distribuição da vegetação ripária na Ilha Mutum, Rio Paraná – PR/MS. **Geociências**, v.27, n. 3, p. 345-354, 2008.
- COSTA, A. S.; SOUZA JUNIOR, C. M. Comparação entre imagens Landsat ETM+ e MODIS/Terra para detecção de incremento de desmatamento na região do baixo Acre. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.57, n. 2, p. 93-102, 2005.
- FRANÇA, D. A.; FERREIRA, N. J. Considerações sobre o uso de satélites na detecção e avaliação de queimadas. In: XII SBSR - Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia, **Anais eletrônicos...** Goiânia: INPE, 2005, p. 3017-3023.
- FRENCH, N. H. F.; KASISCHKE, E. S.; HALL, R. J.; MURPHY, K. A.; VERBYLA, D. L.; HOY, E. E.; ALLEN, J. L. Using Landsat data to assess fire and burn severity in North American boreal forest region: An overview and summary of results. **International Journal of Wildland Fire**, v.17, p. 443"462, 2008.
- HARDY, C. C.; OTTMAR, R. D.; PETERSON, J. L.; CORE, J. E.; SEAMON, P. **Smoke management guide for prescribed and wildland fire**. USDA National Wildfire Coordination Group Publication PMS 420-2, 2001.
- HUANG, C., GOWARD, S. N., MASEK, J. G., GAO, F., VERMOTE, E. F., THOMAS, N., SCHLEEWEIS, K., KENNEDY, R. E., Zhu, Z., EIDENSHINK, J. C., & TOWNSHEND, J. R. G. Development of time series stacks of Landsat images for reconstructing forest disturbance history. **International Journal of Digital Earth**, v.2, n. 3, p. 195"218, 2009.
- HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v.25, n. 3, p. 295-309, 1988.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Pespectiva em Recursos Terrestres**; tradução: José Carlos Neves Epiphânio (coordenador)... [et al.]. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 587p.
- KARNIELI, A.; KAUFMAN, Y.J.; REMER, L.; WALD, A. AFRI – aerosol free vegetation index. **Remote Sensing of Environment**, v.77, n. 1, p. 10-21, 2001.
- KOPROSKI, L. P. **O Fogo e seus Efeitos Sobre a Hepertofauna e a Mastofauna Terrestre no Parque Nacional de Ilha Grande (PR/MS), Brasil**. 2002. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba 2005.
- KOPROSKI, L. P.; MANGINI, P. R.; PACHALY, J. R.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V. Impactos do fogo sobre serpentes (Squamata) no Parque Nacional de Ilha Grande (PR/MS), Brasil. **Arq. Ciênc. Vet. Zool**. Umuarama, v.9, n. 2, p. 129-133, 2006.
- LATORRE, M.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; CARVALHO, A. P. F.; SHIMABUKURO, Y. E. Correção Atmosférica: Conceitos e Fundamentos. **Espaço & Geografia**, v.5, n. 1, p. 153–178, 2002.
- LENTILE, L. B.; HOLDEN, Z. A.; SMITH, A. M. S.; FALKOWSKI, M. J.; HUDAK, A. T.; MORGAN, P.; LEWIS, S. A.; GESSLER, P. E.; BENSON, N. C. Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. **International Journal of Wildland Fire**, v.15, n. 3, p. 319"345, 2006.
- MARKHAN, B. L.; BARKER, J. L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperature. **EOSAT Landsat Technical Notes**, n. 1, p.8, ago. 1986.
- NANSON, G. C. & CROKE, J. C. A genetic classification of floodplains. **Geomorphology**. v.4, n. 6, p. 459 – 486, 1992.

- OSTERKAMP, W. R. & HUPP, C. R. Fluvial processes and vegetation — Glimpses of the past, the present, and perhaps the future. **Geomorphology**, v.116, n. 3-4, p.274-285, 2009.
- PATTERSON, M. W.; YOOL, S. R. Mapping Fire-Induced Vegetation Mortality Using Landsat Thematic Mapper Data: A Comparison of Linear Transformation Techniques. **Remote Sensing of Environment**. v.65, n. 2, p. 132-142, 1998.
- PEREIRA, G.; CARDOZO, F. S.; SHIMABUKURO, Y. E.; MORAES, E. C.; FREITAS, S. R. Estimativa da área de fogo ativo a partir da potência radiativa do fogo. **Revista Brasileira de Cartografia**. v.64, n. 4, p. 419-428, 2012.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Ed. A. Silva Vieira, 2007. 144p.
- RIAÑO, D.; CHUVIECO, E.; USTIN, S.; ZOMER, R.; DENNISON, P.; ROBERTS, D. SALAS, J. Assessment of vegetation regeneration after fire through multitemporal analysis of AVIRIS images in the Santa Monica Mountains. **Remote Sensing of Environment**, v.79, n. 1, p. 60–71, 2002.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**. In: Earth Resources Technology Satellite – 1 Symposium, 3, 1973. Proceedings. Washington, v.1, p. 309 – 317, 1973.
- SILVA, L. C. V.; FERNANDES, M. C.; MENEZES, P. M. L.; ARGENTO, M. S. F. Mapa geocológico de potencialidade a ocorrência de incêndios no Parque Nacional do Itatiaia/RJ. **Revista Brasileira de Cartografia**. v.61 n. 3 p. 285-292, 2009.
- SOUZA, G. M.; COURA, P. H. F.; FERNADES, M. C. Cartografia geocológica da potencialidade à ocorrência de incêndios: Uma proposta metodológica. **Revista Brasileira de Cartografia**. v.62 n. 2 p. 277 – 289, 2010.
- SOUZA FILHO, E. E. **Aspectos da geologia e estratigrafia dos depósitos sedimentares do rio Paraná entre Porto Primavera (MS) e Guaira (PR)**. 1993. 214 f. Tese de doutorado, Inst. Geoc., USP, São Paulo, SP, 1993.
- SOVEREL, N. O.; PERRAKIS, D. D. B.; COOPS, N. C. Estimating burn severity from Landsat dNBR and RdNBR indices across western Canada. **Remote Sensing of Environment**, v.114, n. 9, p. 1896-1909, 2010.
- STEVAUX, J. C. & SOUZA, I. A. Floodplain construction in an anastomosed river. **Quaternary International**, v.114, n. 1, p. 55–65, 2004.
- TIEPOLO, L. M.; SILVA, M.; BONIN, C. Considerações sobre a fauna atingida por incêndios no Parque Nacional de Ilha Grande. In: XXIII Congresso Brasileiro de Zoologia. **Anais do XXIII Congresso Brasileiro de Zoologia**. Cuiabá: UFMT, 2000. 732 p.
- VERMOTE, E. F; TANRE, D.; DEUZE, J. L.; HERMAN, M.; MORCRETTE, J. J. Second Simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. **IEEE Trans. Geosc. And Remote Sens.**, v.35, n. 3, p.675-686, 1997.