



Avaliação da Detecção de Focos de Calor por Sensoriamento Remoto para o Parque Nacional do Itatiaia

Gustavo Wanderley Tomzhinski^{1,2}, Pedro Henrique Ferreira Coura² & Manoel do Couto Fernandes²

Recebido em 15/2/2011 – Aceito em 14/7/2011

RESUMO – O sensoriamento remoto e, em particular, a detecção de focos de calor por satélite constituem parte importante do sistema de monitoramento de incêndios florestais dos dois principais órgãos federais ligados à prevenção e combate dessas ocorrências, o ICMBio e o IBAMA. Utilizando por base os dados georreferenciados de incêndios registrados pelo Núcleo de Prevenção e Combate a Incêndios do Parque Nacional do Itatiaia do período de 2008 a 2010 e os polígonos dos grandes incêndios que ocorreram no Parque em 2001, 2007 e 2010, obtidas por interpretação de imagens dos satélites LANDSAT 5 e CBERS 2, foi avaliada a efetividade e acurácia dos focos de calor identificados pelo Banco de dados de queimadas (BDQueimadas-INPE) para a área do Parque Nacional do Itatiaia e entorno de 3km. Foram analisadas informações dos satélites AQUA, TERRA, ERS-2, MGS-02 e os das séries NOAA e GOES para a área e período estudados, totalizando 92 focos de calor, cujas informações foram comparadas com as de 101 Registros de Ocorrência de Incêndio (ROIs). Observou-se uma omissão de 96% das detecções de focos de calor em relação aos incêndios registrados. Os satélites AQUA e TERRA, que carregam sensores MODIS, apresentaram os melhores resultados, tanto na detecção dos incêndios quanto na acurácia do posicionamento dos focos detectados em relação à área queimada.

Palavras-chave: detecção de incêndios florestais, relatório de ocorrência de incêndios, sensoriamento remoto.

ABSTRACT – The remote sensing detection of hotspots is an important part of the monitoring system of forest fires for two major Brazilian federal agencies elated to preventing and combating these occurrences, IBAMA and ICMBio. To evaluate the effectiveness and accuracy of data from the Vegetation Fires Database of the National Institute of Space Research, we used the following two data sources: data recorded by the Center for the Prevention and Combat of Fire in Itatiaia National Park from 2008 to 2010 and data about areas of large fires that occurred in the Park in 2001, 2007 and 2010, obtained by interpretation of satellite images from LANDSAT 5 and CBERS 2. We analyzed information from the AQUA, TERRA, ERS-2, MGS-02 and NOAA and GOES satellites series for the aforementioned area and period to study a total of 92 hotspots, whose data were compared to those from 101 records of fire occurrence. Ninety-six percent of hotspot detections were omitted in relation to fires reported. The TERRA and AQUA satellites, which carry MODIS sensors, showed the best results in the detection of fires and in the accuracy of the hotspot's position in relation to the burned area.

Keywords: forest fire detection, fire occurrence report, remote sensing.

Introdução

O fogo é um fator de perturbação dos ecossistemas que é ao mesmo tempo um fenômeno natural e uma criação do homem: uma ferramenta de manejo dos recursos naturais e uma arma de destruição dos ecossistemas (Miranda *et al.* 1996). Muitos incêndios têm causas naturais e podem ser ecologicamente entendidos como um entre muitos fatores que atuam nos ecossistemas,

¹ Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade/ICMBio, Núcleo de Prevenção e Combate a Incêndios do Parque Nacional do Itatiaia/NPCI/PNI, Estrada do Parque Nacional, km 8,5, Caixa Postal 83.657, Itatiaia/RJ, Brasil, 27.580-000.
E-mail: Gustavo.Tomzhinski@icmbio.gov.br

² Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza/CCMN, Instituto de Geociências/IGEO, Programa de Pós-Graduação em Geografia/PPGG, Laboratório de Cartografia/GeoCart, Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Bloco H, Sala 017, Ilha do Fundão, Cidade Universitária, Rio de Janeiro/RJ, Brasil, 21949-900.
E-mails: ped.coura@gmail.com, manoel.fernandes@ufrj.br

no entanto, na maioria das regiões do mundo, as principais fontes de ignição estão ligadas à ação antrópica (Whelan 1995). Caldararo (2002) aponta os grandes incêndios florestais existentes atualmente como uma consequência da ocupação humana.

O incêndio florestal é um evento com potencial devastador (França *et al.* 2007), representando uma ameaça ambiental de primeira ordem (Campo *et al.* 2006). Os efeitos do fogo nos ecossistemas são complexos, abrangendo desde a perda de biodiversidade (ICMBio 2007) e a redução ou eliminação da biomassa na superfície do solo a impactos nos processos físicos, químicos e biológicos abaixo da superfície (Neary *et al.* 1999), aumentando a susceptibilidade à erosão (Campo *et al.* 2006, Hubbert *et al.* 2005, Lasanta & Cerda 2005, Gimeno-Garcia *et al.* 2000). Além disso representam uma grande fonte adicional de emissões de gases de efeito estufa (Fearnside 2002) e podem resultar em efeitos diversos, como, paralisação de aeroportos, poluição atmosférica, aumento da incidência de doenças respiratórias, danos ao patrimônio público e privado, entre outros (ICMBio 2007).

No entanto, nem sempre os efeitos do fogo são danosos ao meio ambiente e estudos indicam que alguns ecossistemas, como o cerrado, dependem deste elemento para a sua manutenção (Moreira 1996). Em diversos países, especialmente nos Estados Unidos, as agências responsáveis pelo manejo florestal e pelos Parques Nacionais têm adotado uma política de queimadas prescritas para redução de biomassa e prevenção de grandes incêndios de difícil controle, apesar de ainda haver grande controvérsia com relação às consequências dessa prática para os ecossistemas (Caldararo 2002). No Brasil merece destaque a experiência que vem sendo adquirida com o manejo do fogo no Parque Nacional das Emas (França *et al.* 2007). Uma nova compreensão a respeito das ocorrências de fogo e suas consequências vem sendo desenvolvida através dos estudos sobre a ecologia do fogo, para os quais o sensoriamento remoto é uma importante fonte de informações.

O Parque Nacional do Itatiaia (PNI), primeiro desta categoria de Unidade de Conservação (UC) a ser criado no Brasil, está situado entre os dois maiores centros urbanos do país, Rio e São Paulo e é uma das UCs mais visitadas do país, com cerca de 84.000 visitantes em 2010 (ICMBio 2011). De grande importância para a conservação da biodiversidade, integra o Mosaico de Unidades de Conservação da Serra da Mantiqueira (MMA 2006) e o Corredor Ecológico da Mantiqueira (Herrmann 2011), sendo classificado pelo Ministério do Meio Ambiente como área de prioridade extremamente alta para a conservação (MMA 2007). A Unidade protege um dos últimos remanescentes de Mata Atlântica do Vale do Paraíba e da Serra da Mantiqueira e abriga diversas espécies endêmicas da flora e da fauna, como por exemplo, a samambaia *Doryopteris feei* (Ribeiro & Medina 2002) e o sapo flamenguinho – *Melanophryne moreirae* (Castro 2006) ou constantes das listas oficiais de espécies em extinção como a *Araucaria angustifolia* (MMA 2008) e a onça parda – *Puma concolor* (MMA 2003).

A extraordinariamente rica flora do Itatiaia sofreu diversas intervenções humanas ao longo de sua história, sendo especialmente afetada por desmatamentos e queimadas, modificando sua paisagem, tanto reduzindo a população de espécies arbóreas, como a Araucária (*Araucaria angustifolia*), quanto favorecendo a ampliação de áreas ocupadas por gramíneas e formações arbustivas (Brade 1956). Ribeiro (2001) e Aximoff (2007), através dos relatórios de avaliação dos efeitos dos grandes incêndios de 2001 e 2007 ocorridos no Planalto do Itatiaia, indicam que a ocorrência do fogo tem alterado significativamente as características bióticas e abióticas da paisagem.

Com o objetivo de minimizar os impactos causados pelo fogo nas Unidades de Conservação, desde 2001 são contratadas Brigadas de Prevenção e Combate a Incêndios pelo PREVFOGO/IBAMA (Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais) e pelo ICMBio, que assumiu essa atribuição em 2009 (IBAMA 2009). O Parque Nacional do Itatiaia conta com uma equipe de 42 brigadistas distribuídos em escala nas diversas zonas de risco da Unidade, de forma a monitorar a ocorrência de incêndios e combatê-los dentro do menor prazo (Tomzhinski & Coslope 2011).

Um sistema eficiente de controle dos incêndios florestais baseia-se na rápida detecção e comunicação do mesmo para o acionamento das Brigadas e demais estruturas de combate. Para a detecção dos incêndios pode-se utilizar a vigilância terrestre por postos fixos ou móveis (rondas) e torres de observação, o patrulhamento aéreo com aeronaves e monitoramento por imagens de

satélites (ICMBio 2010a), que permitem a localização de focos de calor no momento do incêndio ou de cicatrizes de áreas queimadas, que podem ser identificadas em imagens de até 3 anos após a ocorrência do fogo (França *et al.* 2007).

Seja para a prevenção e combate aos incêndios florestais, para o manejo do fogo ou para os estudos da ecologia do fogo, os sistemas de detecção de incêndios constituem importante fonte de informação. Tanto o ICMBio, através da Coordenação Geral de Proteção Ambiental, quanto o IBAMA, através do PREVFOGO, possuem metodologias que utilizam do Sensoriamento Remoto para identificação e localização dos incêndios. Além disso, também são utilizados como um dos componentes dessa metodologia os dados de focos de calor detectados por satélites e disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). No entanto, existe certo grau de incerteza e imprecisão nos sistemas de detecção por satélites, sendo necessária para seu refinamento, uma validação de campo e o retorno dessas informações (ICMBio 2010a).

Objetivos e justificativa

O presente trabalho resulta das análises preliminares do projeto “Análise Geoecológica dos Incêndios Florestais no Parque Nacional do Itatiaia”, que está sendo desenvolvido no Laboratório de Cartografia (GEOCART/UFRJ). Tem por objetivo mapear e analisar comparativamente os dados de detecção por satélites adquiridos através do Programa de Monitoramento de Focos do INPE com os Registros de Ocorrência de Incêndio (ROIs) do PNI que têm polígonos georreferenciados.

Através desta análise buscamos melhorar a compreensão das aplicações e limitações da utilização do sistema de detecção por satélites para a realidade do PNI, bem como identificar pontos vulneráveis no sistema de monitoramento de incêndios da Unidade. Os resultados encontrados poderão: subsidiar o INPE na calibração e validação dos produtos de detecção de queimadas; fornecer informações ao ICMBio e IBAMA para a interpretação destes produtos; indicar as potencialidades e limitações destes produtos para aplicação em outras UCs, bem como avaliar a adequação de medidas de proteção destas.

Materiais e métodos

Área de estudo

O Parque Nacional do Itatiaia (PNI) é a primeira UC desta categoria criada no Brasil, instituído através do Decreto nº 1.713, em 14 de junho de 1937, com uma área original de 11.943 ha. Em 1982, o parque teve sua área ampliada para aproximadamente 30.000 ha conforme o Decreto nº 87.586/82 ou 28.086 ha calculando-se a área a partir da representação vetorial mais atualizada dos limites da unidade e utilizando-se a projeção cônica equivalente de Albers para a América do Sul. Situado na Serra da Mantiqueira, o parque abrange os municípios de Itatiaia e Resende no Estado do Rio de Janeiro e Bocaina de Minas e Itamonte no Estado de Minas Gerais, onde fica aproximadamente 60% de seu território.

Apresenta relevo montanhoso com grandes afloramentos rochosos e altitudes variando de aproximadamente 540 m a 2.792 m no seu ponto culminante, o Pico das Agulhas Negras, 5º mais alto do país (IBGE 2005). A cadeia montanhosa da Mantiqueira é formada por granitos ou gnaisses, mas no maciço do Itatiaia destaca-se a ocorrência do tipo nefelina-sienito, rocha de ocorrência rara no Brasil, cuja elevada solubilidade resulta nas formações em canaleta características do maciço das Agulhas Negras e que deram origem ao seu nome (Ribeiro & Medina 2002).

Com relação aos solos, encontram-se Latossolos Amarelos na parte sul do Parque e Latossolos Vermelho Amarelos na parte norte. Na parte central, onde ocorrem os principais afloramentos rochosos verifica-se a ocorrência de Litossolos (IBDF 1982).

Merece destaque a riqueza hídrica do Itatiaia. De suas alturas brota uma enorme quantidade de nascentes, dando origem a 12 bacias de importância regional mapeadas por Richter (2004) segundo critérios sócio-ambientais e das quais destacamos as dos rios Preto, Campo Belo, Aiuruoca e Grande.

O clima do Planalto do Itatiaia, região onde foram registrados os principais incêndios no Parque, pode ser caracterizado como mesotérmico com estação seca bem definida no inverno e temperaturas médias em torno de 5° C no mês de julho. As temperaturas negativas comuns nas noites de inverno e as geadas, frequentes de maio a outubro, resultam no ressecamento da vegetação, deixando-a ainda mais suscetível ao fogo nessa estação (IBDF 1982).

O acentuado gradiente altitudinal do Parque Nacional do Itatiaia resulta em grande variação das fitofisionomias encontradas, que vão desde a Floresta Ombrófila densa nas encostas mais baixas até os campos de altitude e ilhas de vegetação sobre rocha, encontradas no Planalto. A partir da altitude de 1.880m observa-se uma considerável mudança no aspecto da vegetação (Brade 1956), com uma transição para as fisionomias mais abertas, mais suscetíveis ao fogo.

A ampliação do PNI em 1982 (Brasil 1982) abrangeu diversas propriedades rurais de pequeno e médio porte na Parte Alta do Parque, principalmente nos municípios de Itamonte e Bocaina de Minas, além de parte dos bairros rurais de Vargem Grande e Serra Negra, cuja economia baseia-se principalmente na pecuária de leite extensiva e na agricultura de subsistência. Tal situação gera conflitos diversos de interesses, resultando diretamente no aumento do risco à deflagração de incêndios, tanto em função da utilização do fogo para a limpeza de pastagens como por ações de vandalismo contra a unidade de conservação (Silva 2006, Tomzhinski 2007).

Considerando os Registros de Ocorrência de Incêndios (ROIs) do PNI de 2008 a 2010 e os grandes incêndios de 2001 e 2007, observa-se que aproximadamente 85% das ocorrências e 92% da área registrada se encontram na faixa de entorno de 3 km, refletindo a área de maior risco para a Unidade e foco principal de atuação da brigada, conforme o Plano Operativo de Prevenção e Combate a Incêndio da Unidade (Tomzhinski & Coslope 2011). Desta forma, para fins de delimitação da área deste estudo, foi incluída uma faixa de 3Km no entorno do Parque (Figura 1).

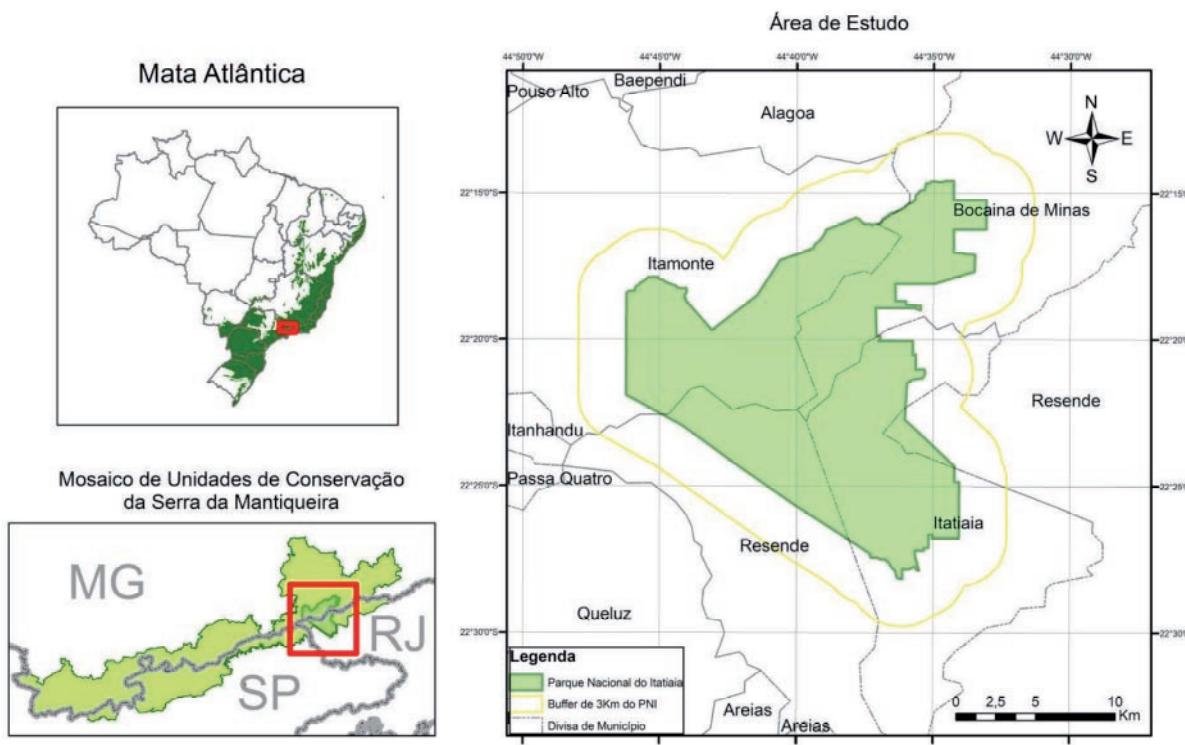


Figura 1 – Área de estudo definida num raio de 3km do Parque Nacional de Itatiaia, incluindo contextualização nacional no Bioma Mata Atlântica e regional no Mosaico Mantiqueira.

Figure 1 – Study area of Itatiaia National Park including a 3km belt around it, and its national context in the Atlantic Forest biome and Mantiqueira regional mosaic.

Sistemas de detecção de incêndios do Itatiaia

O sistema de detecção de incêndios do PNI baseia-se no monitoramento de rotas em áreas críticas e pontos de observação (mirantes), que são monitorados diariamente pela brigada em regime de escala. Também são recebidos alertas de incêndios detectados por moradores do entorno, que são avaliados e atendidos conforme o risco para a UC e disponibilidade de equipe. A contratação e distribuição dos esquadrões de brigadistas são feitas de acordo com um zoneamento baseado no histórico de ocorrência de incêndios, risco para o Parque e na estrutura logística disponível, sendo a Zona 1 a de maior risco e a 3 de menor risco (Tomzhinski & Coslope 2011). As rotas de monitoramento e o zoneamento para a prevenção e combate a incêndios podem ser observados na Figura 2.

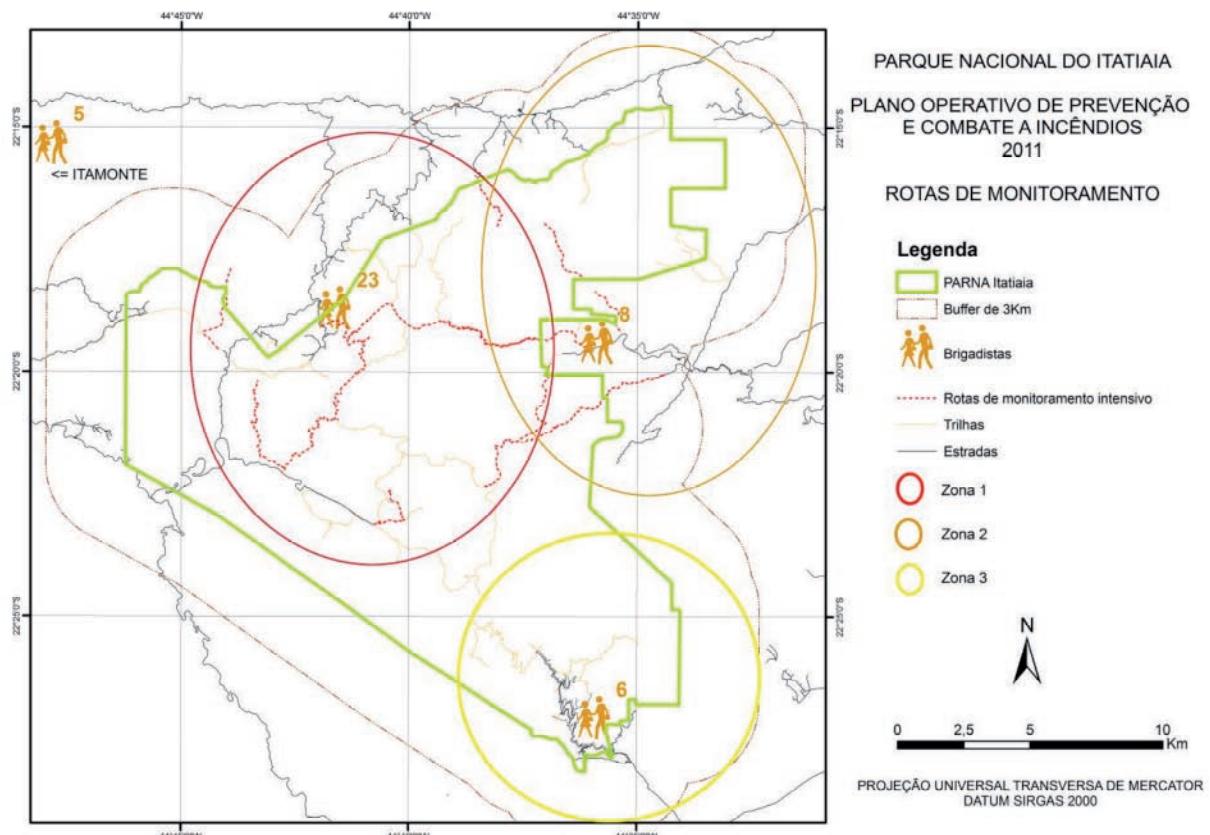


Figura 2 – Distribuição da brigada de incêndio, zonas de atuação prioritária e principais rotas de monitoramento no Parque Nacional do Itatiaia (Tomzhinski & Coslope 2011)

Figure 2 – Distribution of the brigade, priority action areas and main monitoring routes.

Desde 1987 o INPE vem trabalhando no aperfeiçoamento de um sistema de detecção de queimadas baseado na identificação de focos de calor em imagens geradas pelos sensores capazes de captar a faixa termal-média de 3,7 a 4,1 μm do espectro óptico, a bordo de diversos satélites. São analisadas mais de 100 imagens por dia especificamente para detectar focos de queima de vegetação e os dados são disponibilizados gratuitamente. O monitoramento de queimadas em imagens de satélites é especialmente útil para regiões remotas, no entanto informações de outras

áreas que auxiliem a interpretação e calibração desses dados são importantes para aprimorar a metodologia (INPE 2011).

A detecção de focos de calor por imagens de satélite tem uma série de limitações que precisam ser compreendidas para a sua correta utilização. O elemento de resolução espacial (“pixel”) dos satélites de órbita polar tem 1 km x 1 km ou mais, portanto uma queimada de algumas dezenas de metros quadrados será registrada como tendo pelo menos 1 km² ou, no caso dos satélites geoestacionários, 16 km² (Setzer *et al.* 2010). O INPE (2011) informa que a imprecisão na localização dos focos de calor é de cerca de 1 km, podendo chegar a 6 km. Trabalhos de validação de campo indicam que frentes de fogo com cerca de 30m de extensão por 1m de largura podem ser detectadas pelos satélites, porém diversos fatores podem impedir ou prejudicar a detecção dos focos, como:

- Queimadas de pequena duração, ocorrendo entre as imagens disponíveis;
- Fogo em uma das encostas de determinada montanha, enquanto que o satélite só observou o outro lado;
- Nuvens cobrindo a região na hora do imageamento;
- Fogo apenas no chão de uma floresta densa (INPE 2011).

No presente trabalho, foram analisadas detecções de focos de calor pelos satélites NOAA (12, 15, 16, 17, 18 e 19), AQUA, TERRA, ERS-2, GOES (10 e 12) e MSG-02, equipados com diferentes sensores, cujas principais características estão resumidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Satélites com respectivos sensores que captaram os focos de calor estudados no presente trabalho.

Table 1 – Satellites and sensors that captured hotspots considered in this paper.

Satélite Tipo	Sensor	Resolução Espacial	Revisão
Órbita Polar			
NOAA	AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)	1,1 Km	12 horas
AQUA	MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)	1 Km	1 a 2 dias
TERRA	MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)	1 Km	1 a 2 dias
ERS-2	ATSR (Along Track Scanning Radiometer)	1 Km	3, 35 e 176 dias
Geoestacionários			
GOES	GOES I-M (Imager Radiometer e Vertical Sounder)	4 Km	a cada 30 minutos
MSG-02	SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager)	3 Km	a cada 30 minutos

Dados Utilizados

Para o presente trabalho, foram utilizados os polígonos dos Registros de Ocorrência de Incêndios (ROIs) a partir do ano de 2008, quando o Núcleo de Prevenção e Combate a Incêndios do Parque Nacional do Itatiaia passou a perimetrar sistematicamente as áreas atingidas com a utilização de aparelhos receptores de navegação GPS – *Global Position System* (ICMBio 2010b).

Além destes foram analisados também os polígonos dos grandes incêndios de 2001 e 2010, obtidos a partir da análise das imagens do satélite LANDSAT de 09/09/2001 e 02/09/2010, respectivamente, e o polígono do incêndio de 2007, que foi gerado pela empresa Geodesign a partir de imagem CBERS de 25/08/2007 e doado ao Parque naquele ano.

Em função da disponibilidade dos dados descritos acima foi definido o recorte temporal da análise abrangendo os dados dos ROIs dos anos de 2008 a 2010, além dos períodos de duração dos grandes incêndios de 2001 (18 a 21/07/2001) e 2007 (21/08/2007 a 25/08/2007). No total foram analisados 118 polígonos de ROIs, dos quais foram selecionados os 101 inseridos na área de estudo.

A partir do Banco de Dados de Queimadas (BD Queimadas) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE 2010), foram obtidos os dados pontuais de detecção de focos de calor compreendidos num raio de até 6Km (margem de imprecisão prevista pelo INPE) de algum polígono dos ROIs estudados, totalizando 166 registros. Destes, foram selecionados para análise apenas aqueles compreendidos no período de análise, ou seja, 92 registros.

Através de análises espaciais efetuadas no software ArcGIS 9.3® da Environmental System Research Institute - ESRI (ESRI 2008) os focos de calor e os polígonos foram separados por ano e calculada a distância entre cada foco e o polígono mais próximo, considerando-se a distância máxima de 6Km. Em seguida, os registros foram analisados individualmente para a correlação com os ROIs em função da data e da distância. Dos 92 focos analisados, 71 puderam ser relacionados a um incêndio registrado pela brigada.

Esses registros foram então agrupados por tipo de satélite e por tipo de sensor, calculando-se o número de focos detectados por cada um e as distâncias máximas, mínimas e médias de cada um ao respectivo polígono de área queimada.

Resultados e discussão

Dos 101 polígonos de incêndios analisados, 85 podem ser considerados pequenos, com áreas menores que 10ha, 13 de médio porte, atingindo áreas entre 10 e 52ha e 3 ocorrências de grandes proporções para a unidade, com áreas de 742ha, 764ha e 1.255ha, em 2001, 2007 e 2010, respectivamente. Nenhum dos incêndios menores que 10ha foi detectado pelos satélites, apenas 1 dos incêndios médios foi detectado (23ha em 2008) e todos os grandes foram detectados por pelo menos 3 satélites, totalizando 4 incêndios que puderam ser associados aos focos de calor estudados. Considerando todos os incêndios analisados, os satélites deixaram de detectar 96% das ocorrências, enquanto que levando em conta apenas os de médio e grande porte a omissão, foi de 75%.

Estas observações são compatíveis com os resultados de outros estudos similares para a região Norte do Brasil, onde são relatadas omissões dos satélites entre 65 a 100% das ocorrências de fogo (Pantoja *et al.* 2005; Pantoja & Brown 2007). As omissões dos incêndios pequenos já eram esperadas neste estudo em função do curto período de duração e do menor tamanho das frentes de fogo no Itatiaia. Em relação as omissões dos eventos de médio porte, pensou-se estas estarem associadas principalmente ao espaço temporal de passagem dos satélites e ao relevo acidentado, já que a vegetação atingida apresenta fisionomia aberta, não cabendo a hipótese das copas de floresta densa prejudicarem a detecção.

As distâncias dos focos de calor aos polígonos foram compatíveis com as resoluções e limitações para cada satélite e estão apresentadas na totalidade na Tabela 2. Já a Tabela 3 traz um resumo das observações para todos os registros de incêndios.

Tabela 2 – Relação anual dos focos de calor analisados com os polígonos dos respectivos ROIS, incluindo as distâncias máximas, mínimas, médias e desvio padrão (σ) observados.

Table 2 – Annual List of hotspots analyzed with the polygons of the respective Registers of Fire Occurrence, including the maximum, minimum, and mean distances and standard deviation (σ).

Satélites	ROI 02/2001					ROI 14/2007					ROI 10/2008					ROI 23/2010				
	No. Focos	Dist. do polígono (m)				No. Focos	Dist. do polígono (m)				No. Focos	Dist. do polígono (m)				No. Focos	Dist. do polígono (m)			
		Máx.	Min.	Média	σ		Máx.	Min.	Média	σ		Máx.	Min.	Média	σ		Máx.	Min.	Média	σ
TERRA	7	358	0	91	139	7	2685	0	457	921						7	4012	0	650	1374
AQUA						19	786	0	171	219	2	3124	0	1562	1562	5	111	0	22	44
ERS-2	3	946	0	613	434															
NOAA-12	3	5933	4176	5056	717															
NOAA-15																2	1935	305	1120	814
NOAA-16																1	5364	5364	5364	0
NOAA-17						2	5856	5650	5753	103										
NOAA-18D						2	736	440	588	148						1	1184	1184	1184	0
NOAA-19D																2	4302	3905	4103	198
GOES-10						2	3085	32	1558	1526										
GOES-12																5	3223	320	1143	1055
MSG-02																1	1773	1773	1773	0

Nenhum satélite detectou todos os quatro incêndios do período de estudo, no entanto o AQUA captou todos os que ocorreram durante o período em que estava ativo, i.e., desde 2002 até a atualidade. Se considerarmos os dados do sensor MODIS, a bordo dos satélites AQUA e TERRA, os 4 incêndios foram detectados.

Tabela 3 – Relação total dos focos de calor analisados com os polígonos dos respectivos ROIS, incluindo as distâncias máximas, mínimas, médias e desvio padrão (σ) observados.

Table 3 – List of total hotspots analyzed with the polygons of the respective Registers of Fire Occurrence, including the maximum, minimum, and mean distances and standard deviation (σ).

Satélite	No. Focos	Dist. dos polígonos (m)			
		Máx.	Mín.	Média	σ
TERRA	21	4.012	-	399	986
AQUA	26	3.124	-	249	608
Terra + Aqua (MODIS)	47	4.012	-	316	803
ERS-2	3	946	-	613	434
NOAA	13	5.933	305	3.449	2.116
GOES	7	3.223	32	1.262	1.223
MSG-02	1	1.773	1.773	1.773	-
TOTAL	71	5.993	-	1.016	1.682

Na média geral, o satélite AQUA apresentou os melhores resultados tanto em quantidade de detecções como na proximidade dos focos em relação à área atingida. Vale lembrar que o foco de calor detectado pode ser resultante de uma frente de fogo em outro local dentro do polígono adotado. Com os dados disponíveis não é possível a exata localização da frente de fogo, portanto utilizamos o ponto mais próximo do polígono para todos os casos, para efeito de comparação.

Os satélites AQUA e TERRA carregam sensores MODIS e giram em órbita assíncrona e, juntos, os dois instrumentos conseguem adquirir imagens da Terra de 1 a 2 dias. Desta forma, o conjunto de informações dos sensores MODIS mostra-se a base de dados de focos de calor mais precisa e completa, dentre as analisadas. Essas características conferem a esse sensor especial utilidade para análises espaciais e históricas onde se procura a comparação de dados com mesmos parâmetros.

Dos 92 focos estudados, 21 não puderam ser relacionados a nenhum ROI. Destes, apenas 1 no ano de 2007 e 2 no ano de 2010 possivelmente caracterizam uma falha de monitoramento por parte da brigada. Isto porque, considerando que a atuação prioritária da brigada é sempre voltada para a proteção da unidade, estes focos de calor não detectados pela brigada possuem localização (dentro do PNI) e data que deveriam ter sido identificadas pelo monitoramento em campo. Apesar de por si só não serem conclusivos, esses números apontam para uma boa eficiência do sistema de monitoramento atualmente adotado no PNI, o que é corroborado pelo grande número de ocorrências pequenas, que aponta para uma rápida detecção e pronto combate.

Considerações Finais

As análises confirmam estudos para outras regiões que mostraram que o método de detecção de focos de calor, se utilizado isoladamente, omite significativa parte das ocorrências de fogo. Este fato é ainda mais significativo para a região da Serra da Mantiqueira, onde as propriedades são em geral pequenas e médias, o relevo acidentado e a maioria das ocorrências de incêndios são de menores proporções e duração que em outras regiões do país, como a Norte e a Centro-Oeste.

Os dados analisados no presente estudo podem ser particularmente úteis para a calibração do sistema do INPE quando somadas à experiência acumulada por aquela Instituição, já que ainda é bastante limitada a informação sistemática de ocorrências de incêndios com datas e medições de campo.

É importante registrar também que dos 101 Registros de Ocorrência analisados, em nenhum caso o acionamento da brigada foi em função de alerta por detecção remota de foco de calor. Este fato não minimiza a importância desse sistema de detecção, mas apenas confirma a informação do próprio INPE (2011) de que a sua utilidade é maior para áreas remotas e que ele não substitui os sistemas de monitoramento terrestres, mas os complementa. Cabe lembrar que a maior parte do território nacional não dispõe de equipes de campo para monitoramento e que, nesses casos, a detecção dos incêndios é feita quase que unicamente pelo sistema do INPE.

Agradecimentos

Aos colegas Léo Nascimento, Luiz Antônio Coslope e Marcelo de Souza Motta pelas dicas e empréstimos bibliográficos e Brian Ackerman e Professor Paulo Márcio Leal de Menezes pelas sugestões e ajuda nas traduções.

Referências bibliográficas

- ArcGIS, 2008. versão 9.3. Environmental System Research Institute, ESRI.
- Aximoff, I. 2007. **Impactos do fogo na vegetação do Planalto do Itatiaia.** Relatório Técnico, Parque Nacional de Itatiaia. ICMBio. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 17p.
- Brade, A.C. 1956. **A flora do Parque Nacional do Itatiaia.** Boletim do Parque Nacional do Itatiaia, nº5. Itatiaia/RJ, 114p.
- Brasil, 1937. Decreto nº 1.713 de 14 de junho de 1937. Cria o Parque Nacional do Itatiaia.

Brasil, 1982. Decreto nº 87.586 de 20 de setembro de 1982. Amplia a área do Parque Nacional de Itatiaia, criado pelo Decreto nº 1.713, de 14 de janeiro de 1937 e dá outras providências.

Caldararo, N. 2002. Human ecological intervention and the role of forest fires in human ecology. **The Science of the Total Environment**, 292:141-165.

Campo, J.; Andreu, V.; Gimeno-Garcia, E.; González, O. & Rubio, J.L. 2006. Occurrence of soil erosion after repeated experimental fires in a Mediterranean environment. **Geomorphology**, v. 82: 376 – 387.

Castro, P.G. 2006. **Atividade Horária, Anual e Reprodutiva de Melanophryniscus moreirae (Miranda-Ribeiro 1920) (Anura: Bufonidae) no Planalto do Itatiaia**. Dissertação (Mestrado em Ecologia). Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 46p.

Fearnside, P. M. 2002. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**, 16(44): 99-123.

França, H.; Ramos, M. B. & Setzer, A. 2007. **O Fogo no Parque Nacional da Emas**. Ministério do Meio Ambiente – MMA. Brasília, 140p.

Gimeno-Garcia, E.; Andreu, V & Rubio, J.L. 2000. Changes in organic matter, nitrogen, phosphorus and cations in soil as a result of fire and water erosion in a Mediterranean landscape. **European Journal of Soil Science**, 51 (2): 201– 210.

Herrmann, G. 2011. **Incorporando a Teoria ao Planejamento Regional da Conservação: a Experiência do Corredor Ecológico da Mantiqueira**. Belo Horizonte: Valor Natural. 228p.

Hubbert, K.R.; Preisler, H.K.; Wohlgemuth, P.M.; Graham, R.C. & Narog, M.G. 2005. Prescribed burning effects on soil physical properties and soil water repellency in a steep chaparral watershed, southern California, USA. **Geoderma**, v. 130: 284-298.

IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). 2009. **Ocorrências de incêndios em Unidades de Conservação Federais**. Relatório Técnico. PREVFOGO. Brasília, 31p.

IBDF (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal). 1982. **Plano de manejo do Parque Nacional do Itatiaia**. Brasília, 207p.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2005. **Projeto Pontos Culminantes: IBGE calcula nova altitude do Monte Roraima**. Nota de imprensa. <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=412&id_pagina=1&título=IBGE-calcula-nova-altitude-do-Monte-Roraima>. (Acesso em 20/06/2011).

ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade). 2007. **Impactos do fogo na vegetação do Planalto do Itatiaia**. Relatório Técnico. 17p.

ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade). 2010a. **Formação de Brigadista de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais**. Apostila. Diretoria de Unidades de Conservação de Proteção Integral, Coordenação Geral de Proteção Ambiental. Brasília, 87 p.

ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade). 2010b. **Registros de Ocorrência de Incêndios e Dados Digitais de Ocorrências de Incêndios**. Núcleo de Prevenção e Combate a Incêndios do Parque Nacional do Itatiaia. Ministério do Meio Ambiente, Brasil.

ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade). 2011. **Controle de Visitação do Parque Nacional do Itatiaia**. Coordenação de Uso Público do Parque Nacional do Itatiaia. Estatística de visita não publicada. Ministério do Meio Ambiente, Brasil.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Dados pontuais de focos de calor**. Programa de Monitoramento de Focos. <<http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/>>. (Acesso em 17/12/2010).

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Perguntas Freqüentes**. Programa de Monitoramento de Focos. <<http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/perguntas.html>>. (Acesso em 09/01/2011).

Jacques, A. V. A. 2003. Fire on native pastures: effects on soil and vegetation. **Ciência Rural**, 33(1): 177-181.

Lasanta, T. & Cerdá, A. 2005. Long-term erosional responses after fire in the Central Spanish Pyrenees. **Catena**, v. 60: 81-100.

MMA (Ministério do Meio Ambiente), 2003. Instrução Normativa nº 003 de 26 de maio de 2003. **Diário Oficial da União**, Seção 1, 101, 28/05/203: 88-97.

MMA (Ministério do Meio Ambiente), 2006. Portaria nº 351 de 11 de dezembro de 2006. **Diário Oficial da União**, Seção 1, nº 237, 12/12/2006: 71-72.

MMA (Ministério do Meio Ambiente), 2007. Portaria nº 9 de 23 de janeiro de 2007. **Diário Oficial da União**, Seção 1, 17, 24/01/2007: 55.

MMA (Ministério do Meio Ambiente), 2008. Portaria nº 6 de 23 de setembro de 2008. **Diário Oficial da União**, Seção 1, 185, 24/09/2008: 77-83.

Miranda, H. S.; Saito, C. H. & Dias, B. F. S. 1996. **Impactos de Queimadas em Áreas de Cerrado e Restinga**. Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, 187p.

Moreira, A. G. 1996. Proteção Contra o Fogo e Seu Efeito na Distribuição e Composição de Espécies de Cinco Fisionomias de Cerrado. In: Miranda, H. S.; Saito, C. H. & Dias, B. F. S. (eds). **Impactos de Queimadas em Áreas de Cerrado e Restinga**. Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, 187p.

Neary, D.G.; Klopatek, C.C.; DeBano, L.F. & Ffolliott, P.F. 1999. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. **Forest Ecology and Management**. v. 122: 51-71.

Pantoja, N.V.; Selhorst, D.; Rocha, K. da S.; Lopes, F.M. da C.; Vasconcelos, S.S. de & Brown, I.F. 2005. Observações de queimadas no leste do Acre: subsídios para validação de focos de calor derivados de dados de satélites. p. 3215-3222. In: XXII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia. **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE.

Pantoja, N. V. & Brown, I. F. 2007. Acurácia dos sensores AVHRR, GOES e MODIS na detecção de incêndios florestais e queimadas a partir de observações aéreas no estado do Acre, Brasil. p. 4501-4508. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE.

Ribeiro, K. T. 2001. **Incêndio no Planalto do Itatiaia – Parecer Técnico sobre Uso Público do Planalto do Itatiaia imediatamente após o incêndio**. Relatório Técnico. Parque Nacional de Itatiaia. ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade). 11p.

Ribeiro, K. T. & Medina, B. M. O. 2002. **Estrutura, Dinâmica e Biogeografia das Ilhas de Vegetação Sobre Rocha do Planalto do Itatiaia**. Boletim do Parque Nacional do Itatiaia, Nº 10. Itatiaia/RJ, 84p.

Richter, M. 2004. **Geotecnologias no Suporte ao Planejamento e Gestão de Unidades de Conservação Estudo de caso: Parque Nacional do Itatiaia**. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal do Rio de Janeiro. 162p.

Setzer, A.; Morelli, F. & Jesus, S.C. 2010. **Queimadas e incêndios na vegetação ocorridos no interior do Parque Nacional da Serra da Canastra, MG, em agosto de 2008**. Laudo Técnico. INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 18p.

Silva, L. C. V. 2006. **Modelagem Ambiental de Cenários de Potencialidade à Ocorrência de Incêndios no Parque Nacional do Itatiaia/RJ**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da computação) FEN/Universidade estadual do Rio de Janeiro. 101p.

Tomzhinski, G. W. 2007. **Análise Estratégica para a Implementação e Proteção do Parque Nacional do Itatiaia na Região do Alto Aiuruoca**. Trabalho Final do curso (pós-graduação *lato-sensu* em Gerência Estratégica da Informação). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 35p.

Tomzhinski, G. W. & Coslope, L. A. 2011. **Plano Operativo de Prevenção e Combate a Incêndios**. Apresentação em Power Point, Núcleo de Prevenção e Combate a Incêndios do Parque Nacional de Itatiaia. ICMBio. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 49 slides.

Whelan, R. J. 1995. **The Ecology of Fire**. Cambridge University Press. 346p.