



Mapeamento de Áreas Queimadas em Unidades de Conservação da Região Serrana do Rio de Janeiro Utilizando o Satélite Landsat-8 Durante a Seca de 2014
Burned Area Mapping on Conservation Units of Mountains Region of Rio de Janeiro Using Landsat-8 Data During the 2014 Drought

Julia Abrantes Rodrigues¹; Renata Libonati¹; Leonardo de Faria Peres¹ & Alberto Setzer²

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Av. Athos da Silveira Ramos, nº 274, Bl. G, 21941-916, Cidade Universitária – Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Av. dos Astronautas, nº 1.758, 12227-010, São José dos Campos, SP, Brasil

E-mails: abrant.julia@gmail.com; renata.libonati@igeo.ufrj.br; leonardo.peres@igeo.ufrj.br; alberto.setzer@inpe.br

Recebido em: 05/02/2018 Aprovado em: 21/03/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_1_318_327

Resumo

Entre janeiro de 2014 e fevereiro de 2015, a região Sudeste do Brasil experimentou uma das maiores secas de sua história, favorecendo um aumento significativo no número de incêndios florestais na Região Serrana do Rio de Janeiro (RSRJ). Neste contexto, o objetivo deste trabalho é mapear a extensão das áreas queimadas via sensoriamento remoto, em três Unidades de Conservação da RSRJ: Área de Proteção Ambiental (APA) de Petrópolis, Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO) e Reserva Biológica (REBIO) de Araras. A estimativa das áreas queimadas é feita com base no índice de queimadas W utilizando imagens pré e pós-fogo das bandas 5 (0,88 μm) e 7 (2,11 μm) do sensor OLI/Landsat-8. Limiares espaciais e temporais de W foram estabelecidos e o mapeamento foi realizado considerando a superfície modelada através do Modelo Digital de Elevação SRTM Plus. O total de área queimada estimada foi de 3904 ha, a APA, PARNASO e REBIO com 2819 ha, 850 ha e 236 ha respectivamente. Os resultados foram corroborados pelos focos de calor obtidos por satélites provenientes do Banco de Dados de Queimadas do INPE e pelos pareceres técnicos oficiais elaborados *in situ* pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio).

Palavras-chave: sensoriamento remoto; áreas queimadas; Unidades de Conservação; seca; Landsat-8

Abstract

Between January 2014 and February 2015, when the southeast region of Brazil experienced one of the worst droughts in its history, inducing a significant increase in the forest fires events in the mountain region of Rio de Janeiro. In this context, the aim of this study is to apply the W index to map and quantify the location and extent of burned areas on three Conservation Units, including Environmental Protected Area (APA) of Petrópolis, Serra dos Órgãos National Park (PARNASO) and Araras Biological Reserve (REBIO) using reflectance data in Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) bands 5 (0.88 μm) and 7 (2.11 μm). The proposed automatic method uses pre and post-fire images and involves computing spatial and temporal thresholds. The SRTM Plus Digital Elevation Model (DEM) was used to account for the rugged terrain in the study area. Considering the actual surface, the results have shown a total burned area estimate of 3904 ha, where 2819 ha was within the APA, 850 ha within PARNASO and 236 ha within REBIO. The results were corroborated by active fire detection data from INPE and official technical reports based on in-situ verification from Chico Mendes Institute for Biodiversity Conservation (ICMBio).

Keywords: remote sensing; burned areas; Conservation Units; droughts; Landsat-8

1 Introdução

Se por um lado a queima da vegetação tem implicações diretas no clima regional e global (IPCC, 2013), por outro lado o regime de fogo é amplamente controlado pelas condições climáticas locais (Pyne *et al.*, 1996; Kunkel, 2001; Silva *et al.*, 2016). Por exemplo, a variabilidade intra-anual do total de área afetada pelo fogo está relacionada diretamente com o regime sazonal de precipitação (Libonati *et al.*, 2015; Pereira *et al.*, 2011). Diferentes estudos demonstraram que existe uma correlação significativa entre padrões atmosféricos e a ocorrência de fogo na vegetação em diversos locais do globo (Flannigan *et al.*, 2000; Skinner *et al.*, 2002; Pereira *et al.*, 2005).

Um exemplo típico da influência de padrões de circulação atmosférica no regime de fogo ocorreu entre janeiro de 2014 e fevereiro de 2015, quando a região Sudeste do Brasil experimentou uma das maiores secas da história (Otto *et al.*, 2015), ocasionando graves impactos ambientais, econômicos e sociais. Segundo Coelho *et al.* (2016), a diminuição de episódios da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) decorrente do aumento significativo da temperatura da superfície do mar no Oceano Atlântico Sul (Coelho *et al.*, 2015) foi o principal responsável pelo prolongado déficit de precipitação na região. Além da grave crise no abastecimento de água na região, a estiagem de 2014/2015 desencadeou um aumento significativo no número de incêndios florestais na Região Serrana do Rio de Janeiro (RSRJ) em comparação com anos anteriores. Segundo o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), o Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO), localizado na RSRJ, sofreu o maior incêndio da sua história em outubro de 2014. O fogo foi desencadeado por uma ação criminosa e intensificado pela seca atípica ocorrida na região. Neste contexto, o mapeamento da área total afetada pelos incêndios afigura-se crucial para o desenvolvimento de uma gestão pós-fogo, de forma a contabilizar as regiões afetadas e mensurar o impacto sofrido pelo ecossistema, assim como estimar o tempo de reconstrução do ambiente. Porém, a obtenção de informações *in situ* sobre a localização e extensão da área atingida pelos incêndios nesta região é dificultada pela topografia local e pela grande área afetada, tornando-se altamente custosa.

Nas últimas décadas, houve um crescente aprimoramento das técnicas de sensoriamento

remoto (SR), a qual se tornou uma tecnologia essencial que fornece informações abrangentes de áreas amplas, com uma alta frequência temporal e com baixo custo operacional para o usuário (Pereira, 1999; Libonati *et al.*, 2015). As imagens geradas têm sido utilizadas, em particular, para detectar áreas queimadas, proporcionando a estimativa dos limites destas áreas durante ou imediatamente após a época de incêndios (Tansey *et al.*, 2008; Roy *et al.*, 2008; Giglio *et al.*, 2009; Libonati *et al.*, 2015). O sensor *Operational Land Imager* (OLI) a bordo do satélite Landsat-8 é uma alternativa para estudos de mapeamento regional e local de área queimada, pois possui resoluções espacial e temporal apropriadas para a identificação do fenômeno. Além disso, suas imagens são oferecidas gratuitamente e o sensor possui bandas em regiões do espectro eletromagnético que são sensíveis à diferenciação entre vegetação pré e pós-fogo (Teixeira, 2016).

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é realizar o mapeamento automático da extensão e localização das áreas queimadas nas Unidades de Conservação (UC) Área de Proteção Ambiental (APA) de Petrópolis, PARNASO e Reserva Biológica (REBIO) de Araras, com base em dados de SR, após o grande incêndio que ocorreu na RSRJ durante o mês de outubro de 2014. Para tal, foram utilizadas imagens do satélite Landsat-8 em conjunto com o índice de detecção de queimadas (W) (Libonati *et al.*, 2011), considerando a topografia da região.

2 Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

A área de estudo compreende três UC, nomeadamente APA Petrópolis, PARNASO e REBIO Araras, nos municípios de Petrópolis, Teresópolis, Miguel Pereira, Duque de Caxias, Magé e Guapimirim (Figura 1), sendo as duas primeiras federais e a última estadual. O território da APA engloba, quase que integralmente, a REBIO e o PARNASO. Tais UC pertencem, juntamente com outras unidades, reservas e propriedades privadas, ao Corredor Ecológico da Serra do Mar, o qual contém um dos maiores remanescentes de Mata Atlântica. Este trecho é classificado como de extrema importância biológica pela alta biodiversidade, incluindo espécies endêmicas, e por um elevado grau de ameaça de extinção de espécies vegetais e

animais (INEA, 2010). O relevo da região é bastante acidentado, com elevações que variam entre 55 e quase 2300 metros (Figura 1).

2.2 Dados

2.2.1 Dados para o Mapeamento da Área Queimada

Foram utilizadas imagens do satélite Landsat-8 (órbita/ponto 217/76) para a realização do mapeamento a partir das condições de nebulosidade sobre a área de estudo, uma pré-fogo (04 de julho de 2014) e outra pós-fogo (27 de dezembro de 2014). A Figura 2 apresenta ambas as imagens em composição colorida RGB 754, de forma a realçar as áreas queimadas, com a delimitação das UC em azul. Na imagem pós-fogo (B), é possível visualizar as cicatrizes em consequência dos incêndios através da ampliação de uma das áreas afetadas.

As bandas utilizadas pertencem ao sensor OLI, que possui resolução radiométrica de 16 bits,

temporal de 16 dias e espacial de 30 metros. As bandas 1 (azul; 0,43 – 0,45 μm), 2 (azul; 0,45 – 0,51 μm), 3 (verde; 0,53 – 0,59 μm), 4 (vermelho; 0,64 – 0,67 μm), 5 (NIR; 0,85 – 0,88 μm), 6 (SWIR1; 1,57 – 1,65 μm) e 7 (SWIR2; 2,11 – 2,29 μm) foram utilizadas para verificação e seleção das duas bandas mais adequadas do sensor OLI para o mapeamento, as quais são utilizadas para o cálculo do índice de queimada W. Na descrição das bandas do Landsat-8, NIR corresponde à região espectral do infravermelho próximo e SWIR corresponde à do infravermelho de ondas curtas. As imagens possuem pré-processamento *Level 1* (L1T), que inclui correção geométrica sistemática, correção de precisão assistida por fichas de controle de solo, bem como a utilização de um Modelo Digital de Elevação (MDE) para corrigir erro de paralaxe devido ao relevo topográfico local. Os produtos L1T são definidos na projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM) com o Sistema Geodésico *World Geodetic System 84* (WGS84) (Roy *et al.*, 2014;

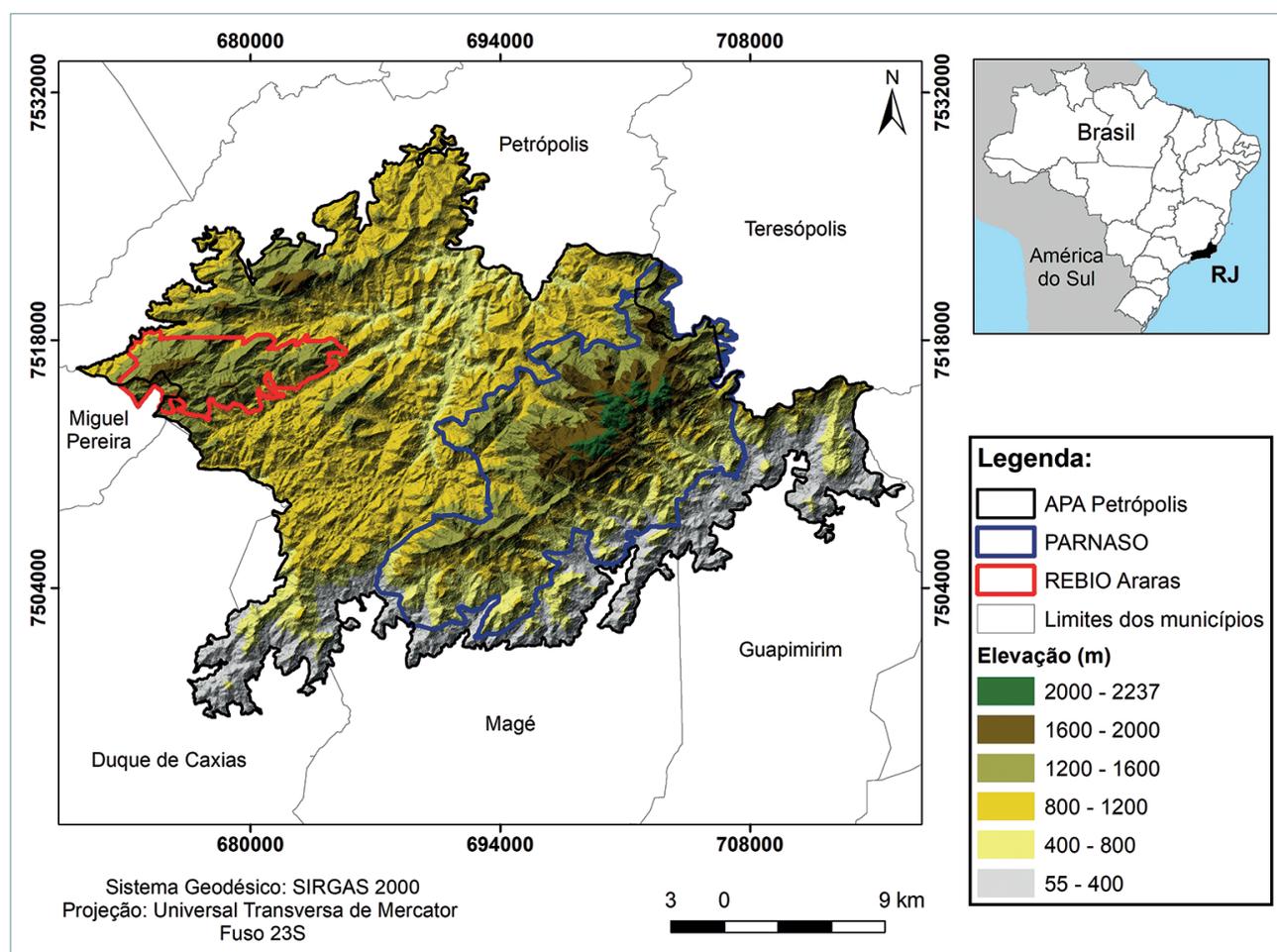


Figura 1 Mapa de localização da área de estudo no estado do Rio de Janeiro.

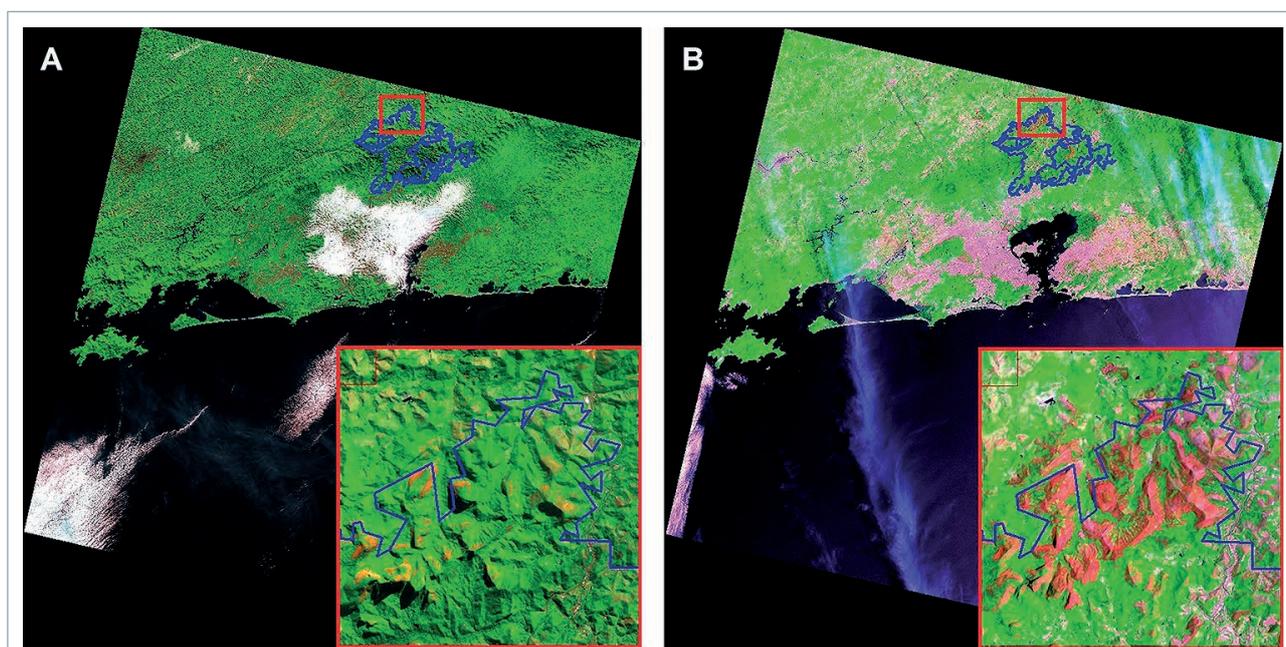


Figura 2 Composição colorida RGB 754 das imagens pré-fogo (A) e pós-fogo (B), órbita/ponto 217/76, com a delimitação das UC em azul.

USGS, 2016). As imagens OLI nível L1T não são corrigidas radiometricamente e, portanto, foi necessária a conversão do número digital (ND) para a reflectância no topo da atmosfera.

2.2.2 Dados de Validação

A validação em SR determina de forma quantitativa a habilidade de um produto obtido a partir do espaço em descrever um dado parâmetro geofísico medido por meios independentes. Usualmente, a validação se baseia em medidas realizadas *in situ* obtidas durante campanhas de campo e consideradas como verdades. Entretanto, a validação de estimativas de área queimada por meio da comparação direta com medidas em campo apresentam dificuldades relacionadas não só com a grande extensão e localização remota da maioria das ocorrências, mas também devido à rápida alteração do sinal radiométrico da cicatriz de queimada. Neste sentido, torna-se necessário que informações *in situ* acerca da extensão e localização das áreas queimadas sejam obtidas simultaneamente, ou no máximo após alguns dias/semanas da ocorrência do fogo, em locais de livre acesso. Informações com estas características podem ser coletadas através de sobrevoos sobre o local com equipamento adequado (e.g. aparelhos de *Global Positioning System* (GPS) e câmeras fotográficas), o que nem sempre está

disponível devido ao alto custo envolvido. A partir do parecer técnico (ICMBio, 2015), realizou-se a comparação entre as estimativas de área queimada do presente mapeamento com o levantamento realizado pela equipe do PARNASO. Este levantamento contou apenas com o que foi possível visualizar e mapear a partir da trilha da travessia, o que não permite avaliar toda a extensão do incêndio. Também foram utilizadas informações obtidas em um sobrevoo realizado logo após o fim do incêndio, porém as condições meteorológicas não permitiram sobrevoar toda a área atingida.

Outro método de validação aproximado comumente utilizado para validar a localização e extensão da área queimada consiste na comparação com os focos de calor obtidos por satélites. Tal procedimento foi adotado neste trabalho com base na comparação espacial com os focos de calor gerados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2016a), por satélites que possuem sensores óticos operando na faixa termal média de 4 μ m: *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), *TERRA*, *AQUA*, *National Polar-orbiting Partnership* (NPP), *Geostationary Satellite Server* (GOES) e *Meteosat Second Generation* (MSG). Os fogos ativos são detectados através da energia emitida pelas chamas e são selecionados os pixels com maior temperatura, em geral saturando o sensor.

2.3 Métodos

2.3.1 Índice de Queimada W

O índice de queimada W foi desenvolvido e testado com êxito por Libonati *et al.* (2010, 2011, 2015), utilizando as bandas 2 (NIR, cerca de 0,8 μm) e 20 (MIR, cerca de 3,9 μm) do sensor *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). O índice W é baseado na transformação do espaço MIR/NIR para um novo espaço espectral que tem como coordenadas os índices η e ξ . Desta forma, tal transformação resultou no espaço η/ξ , em que η é a coordenada baseada na distância a um ponto de convergência no espaço MIR/NIR, representativo de uma superfície totalmente queimada, e ξ é a coordenada baseada em η e na diferença entre os dois pontos de convergência, como seguem as Equações 1, 2 e 3, onde ρ_{MIR} e ρ_{NIR} são as reflectâncias nas bandas MIR e NIR respectivamente, e $\rho_{\text{CQ}_{\text{MIR}}}$ = 0,24 e $\rho_{\text{CQ}_{\text{NIR}}}$ = 0,05 são os valores de reflectância que definem o ponto de convergência no espaço MIR/NIR, representativo de uma superfície totalmente queimada.

$$\eta = \sqrt{(\rho_{\text{MIR}} - \rho_{\text{CQ}_{\text{MIR}}})^2 + (\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{CQ}_{\text{NIR}}})^2} \quad (1)$$

$$\xi = -\frac{2}{\sqrt{2}}\eta + (\rho_{\text{CQ}_{\text{MIR}}} - \rho_{\text{CQ}_{\text{NIR}}}) \quad (2)$$

$$W = \frac{0,38}{\sqrt{6x_0}} \sqrt{\eta^2 + (\xi - \rho_{\text{CQ}_{\text{MIR}}} + \rho_{\text{CQ}_{\text{NIR}}})^2} \quad (3)$$

Embora este índice tenha sido, primeiramente, concebido para características do sensor MODIS, Teixeira (2016) desenvolveu uma adaptação do índice de queimadas W para o sensor *Thematic Mapper* (TM) a bordo do satélite Landsat-5, utilizando as bandas do NIR (banda 5) e do SWIR 2 (banda 7). Considerando os resultados obtidos por Teixeira (2016) com o sensor TM/Landsat, neste trabalho é proposta a utilização do índice W para imagens do sensor OLI/Landsat-8. A fim de verificar a eficácia das bandas do sensor OLI no mapeamento de áreas queimadas, aplicou-se o índice de separabilidade M (Kaufman & Remer, 1994), que permite analisar o grau de discriminação entre classes (neste caso, vegetação e queimada). O índice M é um teste estatístico que calcula a diferença entre as médias dos valores de reflectância dos pixels das duas classes, normalizada pela soma dos desvios padrão. Para tal, foram coletadas amostras digitais para as classes vegetação e queimada com, aproximadamente, 300 pixels para cada classe, com base na visualização das imagens Landsat em composição colorida RGB 754.

2.3.2 Algoritmo para Detecção da Área Queimada

Para o mapeamento automático das áreas afetadas pelo fogo, aplicou-se o índice W adaptado ao sensor OLI, conforme descrito na sessão anterior, em ambas as imagens, pré-fogo ($W_{\text{pré}}$) e pós-fogo ($W_{\text{pós}}$). Os seguintes limiares foram estabelecidos: i) Limiar do índice ($W_{\text{pós}}$); ii) Limiar temporal (Dif) = $W_{\text{pré}} - W_{\text{pós}}$; e iii) Limiar de separação entre as classes queimada e urbana ($RED_{\text{pós}}$) utilizando a banda 4. O limiar do índice é classificatório, detecta pixels com características espectrais de queimada. O limiar temporal determina que a queimada ocorreu no período entre as imagens, eliminando a detecção de áreas queimadas fora do período de estudo. O terceiro limiar, o de separação, foi especialmente necessário neste estudo, pois há o predomínio de área urbana na APA Petrópolis, e houve confusão espectral entre as classes de área urbana e área queimada. O parâmetro utilizado para tal separação foi a reflectância na banda 4 na imagem pós-fogo ($RED_{\text{pós}}$), descrito por Jensen (2009) como uma das faixas espectrais adequadas para discriminar alvos urbanos utilizando sensores com resolução espacial de 30 metros.

Como a área de estudo está situada sobre relevo acidentado, foi necessário o cálculo de área em superfície modelada (real), que leva em consideração o relevo. Um dos mecanismos para este cálculo se dá através do uso de um MDE *raster* como base, quando não se dispõe de dados de cartas topográficas, como curvas de nível e pontos cotados. Um MDE é definido como uma representação matemática contínua da distribuição espacial das variações de altitude numa área, ou seja, cada pixel simboliza a elevação em metros do ponto central desse pixel (Jenness, 2004). Existem diversos estudos direcionados ao uso de superfície modelada (Fernandes, 2004; Pace *et al.*, 2008; Miceli *et al.*, 2015), mostrando que o não uso deste mecanismo afeta os resultados de estudos espaciais, principalmente em áreas com grande variação altimétrica, acarretando uma suavização (subestimação) da magnitude do impacto em casos ambientais. Laeta *et al.* (2013) mostraram que o cálculo de área em superfície planimétrica através de *software* pode omitir de 30% a 50% da área real dependendo da forma da superfície. Para os cálculos das áreas em superfície modelada, utilizou-se o MDE *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução de 30 metros, fornecido pela *Processes Distributed Active Archive Center* (LP DAAC) da USGS.

3 Resultados e Discussão

3.1 Ocorrência de Focos de Calor

Devido ao prolongado período de estiagem, o total de focos ativos detectados aumentou 176% em 2014 em relação a 2013 em todo o estado do RJ; e 568% em outubro de 2014 em relação a outubro de 2013 no RJ (INPE, 2016b). Registrou-se, em 2014, um total de 461 focos em UC federais e estaduais do RJ no período entre as imagens pré e pós-fogo, sendo 228 nas unidades estudadas. Em comparação ao mesmo período do ano anterior, 2013, observou-se um total de 25 focos (sendo registrados apenas dois na APA Petrópolis), o que representa um aumento de quase 2000%.

Uma análise anual de extremos dos focos de calor, considerando o período de 2000 a 2014 nas UC federais e estaduais do RJ, utilizando a técnica estatística de anomalia padronizada (Wilks, 2005), indica que o ano de 2014 foi o único ano da série temporal que apresentou anomalia padronizada superior a um desvio padrão, especificamente no valor de 3,25 desvios padrão acima da média do período.

3.2 Índice de Separabilidade M

O índice M se trata do estimador da razão sinal/ruído, ou seja, consiste na diferença absoluta entre os valores médios das duas classes que representam o sinal (associado à variabilidade entre grupo) e a soma dos desvios padrão representam o ruído. Sendo assim, valores de $M < 1$ indicam que as duas classes não apresentam diferenças espectrais entre si e, portanto, não são distinguíveis, enquanto que valores de $M > 1$ indicam que as respostas espectrais das duas classes são diferentes e, portanto, as classes podem ser identificadas sem ambiguidades. A partir dos resultados de separabilidade de cada banda entre as classes vegetação e queimada, observa-se que as bandas 4, 5 e 7 são eficazes em discriminar estas classes, com valores de $M > 2$. Observa-se que as bandas 1 ($M=1$), 2 ($M=1$), 3 ($M=1$) e 6 ($M=1$) têm os valores de reflectância de suas classes praticamente sobrepostos, enquanto que as bandas 4 ($M=3$), 5 ($M=3$) e 7 ($M=3$) apresentam um afastamento nos valores médios das classes.

3.3 Mapeamento das Áreas Queimadas

A partir dos valores do índice W da imagem pós-fogo, da diferença entre a imagem pré-fogo e pós-fogo e da reflectância na banda 4, os limiares

definidos foram: i) $W_{pós} < 0,23$; ii) $Dif > 0,08$; e iii) $RED_{pós} < 0,08$. Os pixels que obedeceram a todos os limiares foram classificados como queimada; os demais foram classificados como não queimados.

A Figura 3 mostra o mapeamento total para as três UC e a Figura 4 o mapeamento local detalhado, nas quais os polígonos amarelos indicam as áreas queimadas identificadas. Percebe-se uma grande concordância das áreas queimadas obtidas pelo índice com as áreas queimadas na imagem de satélite em composição colorida, porém houve uma subestimação no tamanho das cicatrizes a sudoeste da REBIO e uma superestimação em porções de afloramento rochoso no centro-norte e a leste desta UC. Também houve superestimação na região central e na ponta norte do PARNASO, e na região central da APA, mesmo sendo utilizado um limiar temporal. Na APA, o limiar de separação eliminou grande parte da área urbana mapeada à priori, porém ainda houve superestimação com pequenos fragmentos, que foram eliminados manualmente. Este comportamento pode estar relacionado com a defasagem entre a data das imagens, obtidas em estações do ano diferentes e, conseqüentemente, com diferentes condições de luminosidade e da atmosfera, que influenciam no comportamento espectral dos objetos, ainda mais em área urbana onde há muita mistura de materiais em um pixel.

Os resultados do mapeamento automático de área queimada no período de julho a dezembro de 2014 na APA Petrópolis, PARNASO e REBIO Araras indicam um total de 3904 ha de área queimada. A APA Petrópolis foi a unidade mais afetada, seguida do PARNASO e da REBIO (Tabela 1). Considerando a área afetada relativa ao tamanho de cada UC, observa-se que a APA e a REBIO tiveram praticamente a mesma proporção, e o PARNASO foi o menos afetado. Estes valores foram obtidos com base no método que considera a superfície real. Considerando a superfície como um plano, o total de área queimada é reduzido em 23%.

UC (Área (ha))	AQM Superfície Planimétrica (ha)	AQM Superfície Real (ha)	AQM Relativa (%)
APA Petrópolis (51628)	2192	2819	6
PARNASO (24270)	623	850	4
REBIO Araras (4377)	204	236	6
Total (80273)	3018	3904	5

Tabela 1 Áreas queimadas (AQM) identificadas.

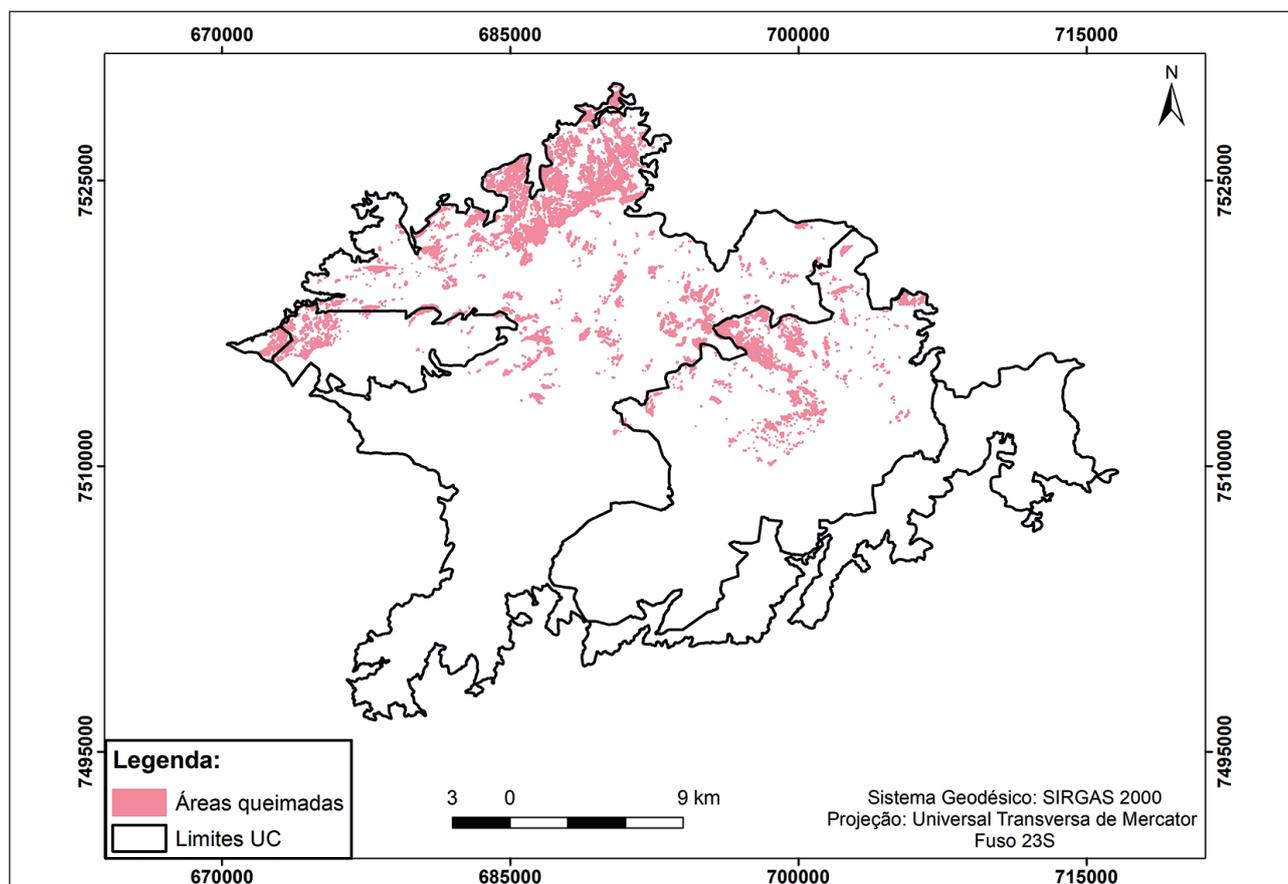


Figura 3 Mapa do total de áreas queimadas identificadas na APA Petrópolis, PARNASO e REBIO Araras de julho a dezembro de 2014.

3.4 Validação dos Resultados

A Figura 5 apresenta a comparação entre os resultados do algoritmo proposto e a estimativa final de área queimada realizada em campo pelo órgão gestor do PARNASO, através da sobreposição dos respectivos polígonos das cicatrizes. Nenhum teste estatístico foi realizado para quantificar a acurácia entre as estimativas, visto que o levantamento oficial não reflete a realidade, além de ter sido realizado um mês após a data da imagem pós-fogo, em janeiro de 2015, sem sobrevoo marcando com GPS a totalidade da área atingida. Desta forma, a validação dos resultados do algoritmo proposto foi baseada na coerência espacial das cicatrizes mapeadas em campo.

A quantidade de focos de calor não pode ser utilizada para quantificar a área queimada, pois um foco ativo se refere a um horário específico de passagem do satélite e, portanto está sujeita a perda de informações em períodos do dia sem a ocorrência de passagens do satélite; além disso, a energia de uma combustão de poucas dezenas de m² costuma saturar todo o pixel com um ou mais km².

Apesar dos focos ativos não serem indicadores diretos da extensão de área queimada, estes podem ser utilizados como indicativo da localização espacial e temporal destas áreas (Giglio *et al.*, 1999). A coerência espacial entre a localização dos focos de calor e as áreas queimadas mapeadas pelo presente estudo pode ser observada na Figura 6. Nesta figura, estão representados os focos de calor obtidos com os satélites TERRA, AQUA, NOAA, GOES, MSG e NPP segundo o Banco de Dados de Queimadas do INPE. Em geral, ocorre uma boa concordância na distribuição espacial das áreas queimadas e dos focos de calor.

Vale destacar que a cicatriz mapeada a nordeste do PARNASO por ambos os trabalhos, como mostrado na Figura 6, não foi corroborada por nenhum foco de calor, indicando que este método também tem suas limitações. A partir do exposto e com o conhecimento necessário da região, a base da validação foi a análise visual das cicatrizes mapeadas sobrepostas à imagem pós-fogo em composição RGB, que destaca cada elemento da superfície.

Mapeamento de Áreas Queimadas em Unidades de Conservação da Região Serrana do Rio de Janeiro Utilizando o Satélite Landsat-8 Durante a Seca de 2014
 Julia Abrantes Rodrigues; Renata Libonati; Leonardo de Faria Peres & Alberto Setzer

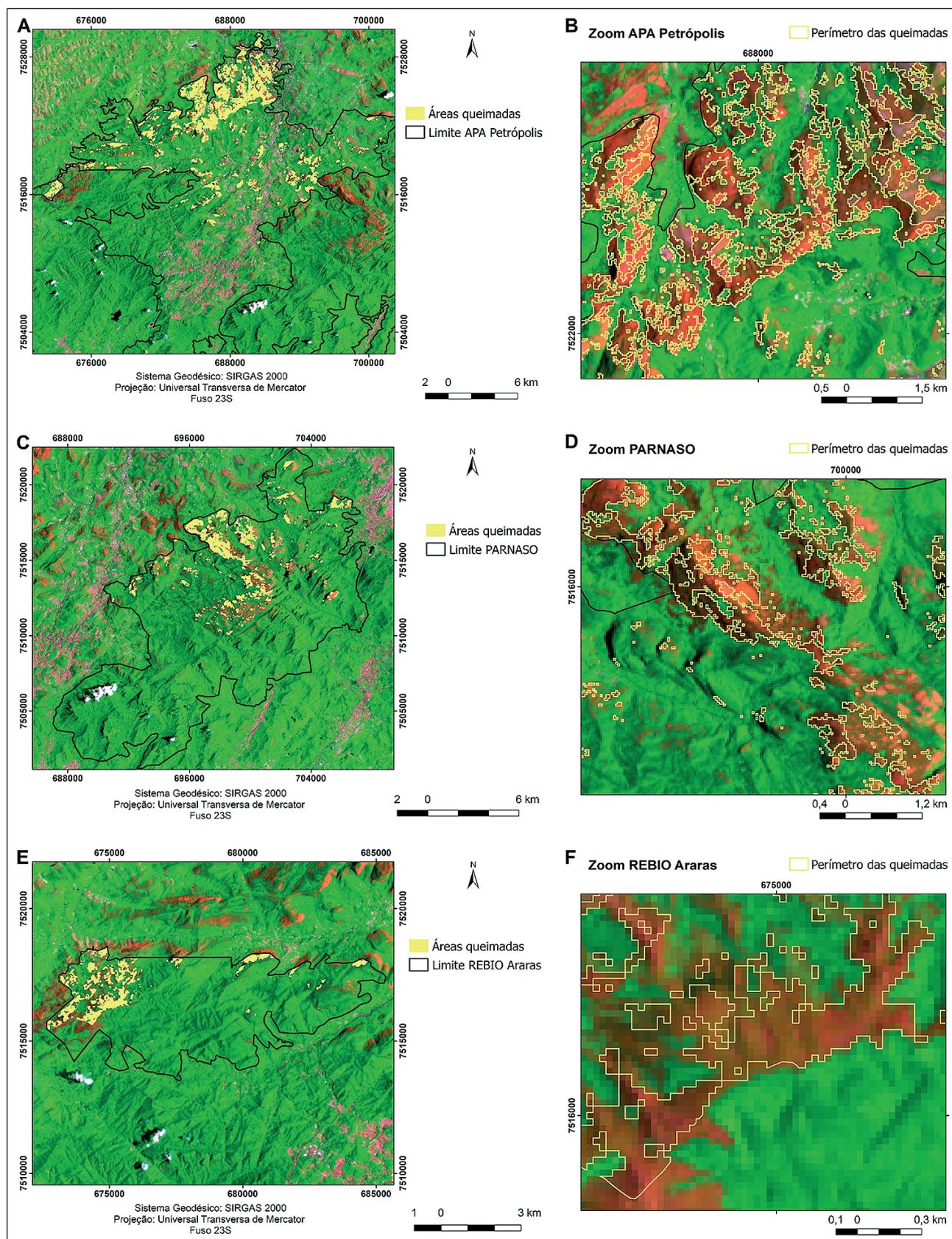


Figura 4 Mapa das áreas queimadas identificadas na APA Petrópolis (A), PARNASO (C) e REBIO Araras (E) de julho a dezembro de 2014 e respectivos zoom em uma região queimada (B, D, F).

Mapeamento de Áreas Queimadas em Unidades de Conservação da Região Serrana do Rio de Janeiro Utilizando o Satélite Landsat-8 Durante a Seca de 2014
Julia Abrantes Rodrigues; Renata Libonati; Leonardo de Faria Peres & Alberto Setzer

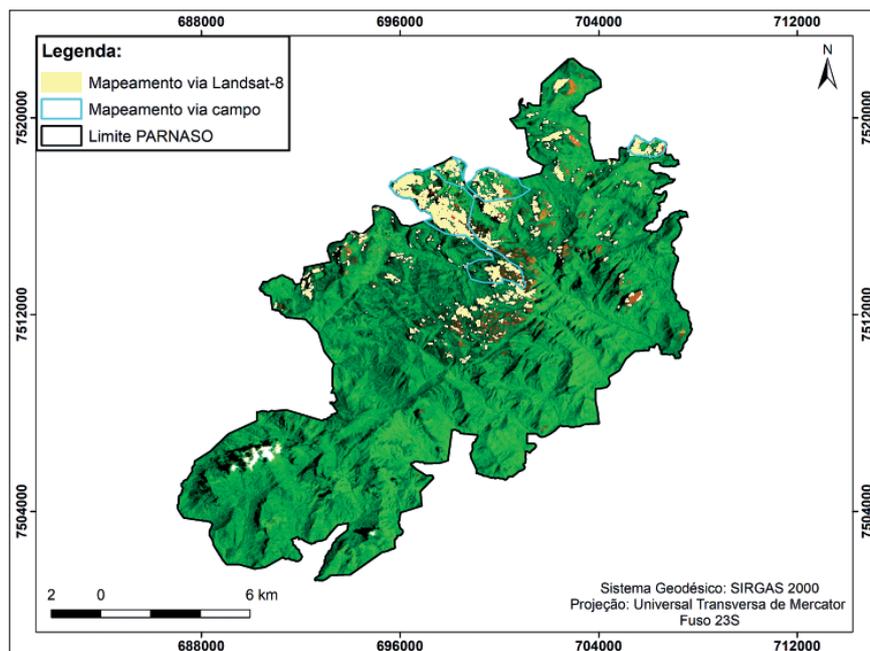


Figura 5 Mapa da comparação entre o mapeamento das áreas queimadas realizado no PARNASO utilizando o índice W adaptado ao sensor OLI e o levantamento de campo final realizado pela UC após o incêndio em outubro de 2014.

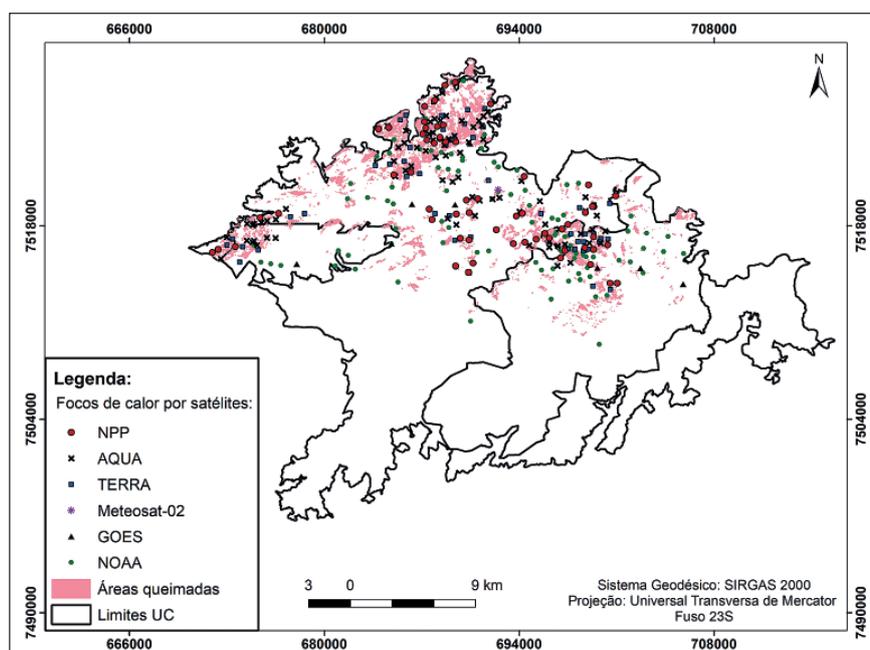


Figura 6 Mapa do total de áreas queimadas identificadas na APA Petrópolis, PARNASO e REBIO Araras de julho a dezembro de 2014, corroboradas pelos focos de calor.

4 Conclusões

A disponibilidade de informações detalhadas e atualizadas sobre as distribuições espaciais (localização e extensão) e temporais das áreas queimadas é atualmente crucial, não só para a melhor gestão dos recursos naturais, mas também para estudos de química da atmosfera e de mudanças climáticas. Recentemente, três UC localizadas na RSRJ foram afetadas por incêndios de grandes proporções, considerados entre os maiores da história. Entretanto, inexistem levantamentos espaciais e temporais do impacto do fogo nestas áreas, apesar da degradação ambiental generalizada

deste bioma. Este trabalho apresenta os resultados da estimativa automática de área queimada nesta região para o evento ocorrido em outubro de 2014, através de informações do sensor OLI a bordo do satélite Landsat-8. Devido à baixa frequência temporal das imagens Landsat-8 (16 dias) e à frequente presença de alta nebulosidade na região, somente foi possível mapear as áreas queimadas após dois meses do evento. Os resultados quantitativos indicam um total de aproximadamente 4000 ha de área queimada nestas UC. É importante considerar a superfície modelada (real) para estimar valores de área com maior precisão, principalmente em regiões onde o relevo é bastante acidentado. Caso contrário, haveria

uma subestimação dos valores em 886 ha ou 23%. A APA foi a unidade mais afetada em extensão com 2819 ha queimados, seguida do PARNASO com 850 ha e da REBIO com 236 ha. Estes valores representam 6%, 4% e 6% do tamanho total de cada UC respectivamente. Por fim, os resultados das áreas queimadas foram corroborados qualitativamente pela localização espacial dos focos de calor detectados pelo INPE e pelo resultado de campo.

Recentemente, mais especificamente em junho de 2015, foi lançado o satélite Sentinel-2A de alta resolução espacial (bandas com 10, 20 ou 30 metros) e temporal (5 dias), que opera nas regiões do visível e do infravermelho do espectro eletromagnético, também com informações livres aos usuários. Suas imagens vêm complementar a série Landsat, e aumentarão as possibilidades de aplicação na mesma temática em trabalhos futuros, melhorando a identificação espacial e temporal de áreas queimadas.

5 Agradecimentos

Este trabalho foi realizado no âmbito do Projeto FAPESP/FCT *Brazilian Fire-Land-Atmosphere System* (BrFLAS) (FAPESP/1389/2014). O primeiro autor agradece a bolsa PIBIC/CNPq – INPE.

6 Referências

- Coelho, C.A.S.; Cardoso, D.H.F. & Firpo, M.A.F. 2015. Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 125: 769 - 784.
- Coelho, C.A.S.; Oliveira, C.P.; Ambrizzi, T. & Reboita, M.S. 2016. The 2014 Southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. *Climate Dynamics*, 46: 3737 - 3752.
- Fernandes, M.C. 2004. Desenvolvimento de Rotina de Obtenção de Observações em Superfície Real: Uma Aplicação em Análises Geocológicas. Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 263p.
- Flannigan, M.D.; Stocks, B.J. & Wotton, B.M. 2000. Climate change and forest fires. *Science of the Total Environment*, 262: 221 - 229.
- Giglio, L.; Kendall, J.D. & Justice, C.O. 1999. Evaluation of global fire detection algorithms using simulated AVHRR infrared data. *International Journal of Remote Sensing*, 20: 1947 - 1985.
- Giglio, L.; Loboda, T.; Roy, D.P.; Quayle, B. & Justice, C.O. 2009. An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor. *Remote Sensing of Environment*, 113(2): 408 - 420.
- ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2015. *Parecer Técnico nº 02/2015-PARNASO*, 16p.
- INEA – Instituto Estadual do Ambiente. 2010. Plano de Manejo Reserva Biológica de Araras. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zzew/mde5/~edisp/inea0019767.pdf>. Acessado em: 10 nov2015.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2016a. Banco de Dados do Programa de Monitoramento de Queimadas e Incêndios. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>. Acessado em: 17 jan2016.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2016b. Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas/estatisticas.php>. Acessado em: 17 jan2016.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Disponível em: http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_FrontCover.pdf. Acessado em: 09mar2016.
- Jenness, J. 2004. Calculating landscape surface area from digital elevation models. *Wildlife Society Bulletin*, 32: 829 - 839.
- Jensen, J.R. 2009. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. São José dos Campos, Parêntese. 604 p.
- Kaufman, Y. J. & Remer, L. A. 1994. Detection of forests using mid-IR reflectance: an application for aerosol studies. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32(3): 672 - 683.
- Kunkel, K.E. 2001. Surface energy budget and fuel moisture. In: JOHNSON, E.A. & MIYANISHI, K. (eds.). *Forest Fires: Behavior and Ecological Effects*. Academic Press, p. 303-350.
- Laeta, T.; Araujo, R.S. & Fernandes, M.C. 2013. Análise do comportamento de modelagem 3D. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16, Foz do Iguaçu, 2013. *Resumos expandidos*, São José dos Campos, INPE, p. 5139-5146.
- Libonati, R.; DaCamara, C.C.; Pereira, J.M.C. & Peres, L.F. 2010. Retrieving middle-infrared reflectance for burned area mapping in tropical environments using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 114: 831 - 843.
- Libonati, R.; DaCamara, C.C.; Pereira, J.M.C. & Peres, L.F. 2011. On a new coordinate system for improved discrimination of vegetation and burned areas using MIR/NIR information. *Remote Sensing of Environment*, 115: 1464 - 1477.
- Libonati, R.; DaCamara, C.; Setzer, A.; Morelli, F. & Melchiori, A. 2015. An Algorithm for Burned Area Detection in the Brazilian Cerrado Using 4 µm MODIS Imagery. *Remote Sensing*, 7: 15782 - 15803.
- Miceli, B.S.; Fernandes, M.C. & Estrada, A.F.D. 2015. Análise temporal da cobertura e uso da terra através de observações em superfície modelada na APA Petrópolis, Rio de Janeiro. *Revista Geo UERJ*, 26: 211 - 225.
- Otto, F.E.L.; Coelho, C.A.S.; King, A.; Perez, E.C.; Wada, Y.; van Oldenborgh, G.J.; Haarsma, R.; Haustein, K.; Uhe, P.; van Aalst, M.; Aravequia, J.A.; Almeida, W. & Cullen, H. 2015. Factors other than climate change, main drivers of 2014/15 water shortage in Southeast Brazil. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(12): S35 - S39.
- Pace, F.T.; Silva, B.B.; Silva, V.P.R. & Silva, S.T.A. 2008. Mapeamento do Saldo de Radiação à Superfície com Imagens TM-Landsat 5 e Modelo de Elevação Digital. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12: 385 - 392.
- Pereira, J.M.C. 1999. A Comparative Evaluation of NOAA/AVHRR Vegetation Indexes for Burned Surface Detection and Mapping. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(1): 217 - 226.
- Pereira, M.G.; Malamud, B.D.; Trigo, R.M. & Alves, P.I. 2011. The history and characteristics of the 1980–2005 Portuguese rural fire database. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11: 3343 - 3358.
- Pereira, M.G.; Trigo, R.M.; DaCamara, C.C.; Pereira, J.M.C. & Leite, S.M. 2005. Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal. *Agricultural and Forest Meteorology*, 129: 11 - 25.
- Pyne, S.J.; Andrews, P.L. & Laven, R.D. 1996. *Introduction to wildland fire*. Nova Iorque, Wiley, 808 p.
- Roy, D.P.; Boschetti, L.; Justice, C.O. & Ju, J. 2008. The Collection 5 MODIS burned area product: Global evaluation by comparison with the MODIS active fire product. *Remote Sensing of Environment*, 112(9): 3690 - 3707.
- Roy, D.P.; Wulder, M.A.; Loveland, T.R.; Woodcock, C.E.; Allen, R.G.; Anderson, M.C.; Helder, D.; Irons, J.R.; Johnson, D.M.; Kennedy, R.; Scambos, T.A.; Schaaf, C.B.; Schott, J.R.; Sheng, Y.; Vermote, E.F.; Belward, A.S.; Bindaschadler, R.; Cohen, W.B.; Gao, F.; Hipple, J.D.; Hostert, P.; Huntington, J.; Justice, C.O.; Kilic, A.; Kovalskyy, V.; Lee, Z.P.; Lyburner, L.; Masek, J.G.; McCorkel, J.; Shuai, Y.; Trezza, R.; Vogelmann, J.; Wynne, R.H. & Zhu, Z. 2014. Landsat-8: Science and Product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, 145: 154 - 172.
- Silva, P.; Bastos, A.; DaCamara, C.C. & Libonati, R. 2016. Future Projections of Fire Occurrence in Brazil Using EC-Earth Climate Model. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31(3): 288 - 297.
- Skinner, W.R.; Flannigan, M.D.; Stocks, B.J.; Martell, D.L.; Wotton, J.B.; Todd, J.B.; Mason, J.A.; Logan, K.A. & Bosch, E.M. 2002. A 500 hPa synoptic wildland fire climatology for large Canadian forest fires, 1959–1996. *Theoretical and Applied Climatology*, 71: 157 - 169.
- Tansey, K.; Gregoire, J.M.; Defourny, P.; Leigh, R.; Pekel, J.F.O.; van Bogaert, E. & Bartholome, E. 2008. A new, global, multi-annual (2000–2007) burnt area product at 1 km resolution. *Geophysical Research Letters*, 35(1).
- Teixeira, F.R. 2016. *Adaptação dos Índices de Queimada (V, W) para os dados Landsat utilizando informações no NIR e SWIR*. Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 78 p.
- USGS – United States Geological Survey. 2016. *Landsat Processing Details*. Disponível em: http://landsat.usgs.gov/Landsat_Processing_Details.php. Acessado em: 12abr2016.
- Wilks, D.S. 2005. *Statistical methods in the atmospheric sciences* – 2nd Edition. Cambridge, Academic Press, 648 p.