



Validação do produto área queimada mensal 1km (MODIS)

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)

Julia Abrantes Rodrigues (UFRJ, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: abrant.julia@gmail.com

Dr. Alberto W. Setzer (INPE, Orientadora)

E-mail: alberto.setzer@cptec.inpe.br

Dra. Renata Libonati dos Santos (IGEO/UFRJ, Orientadora)

E-mail: renata.libonati@igeo.ufrj.br

Junho de 2016

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
1.1 RESUMO DO PLANO DE TRABALHO INICIAL.....	3
1.2 RESUMO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3. DADOS E METODOLOGIA	6
3.1 DESENVOLVIMENTO DE MAPAS DE REFERÊNCIA – ETAPA 1	6
3.1.1 ÁREA DE ESTUDO – ETAPA 1.....	7
3.1.2 DADOS – ETAPA 1.....	8
3.1.3 METODOLOGIA – ETAPA 1.....	11
3.2 VALIDAÇÃO DOS PRODUTOS DE ÁREA QUEIMADA DE BAIXA RESOLUÇÃO: AQM, MCD45A1 E MCD64A1 – ETAPA 2.....	13
3.2.1 ÁREA DE ESTUDO – ETAPA 2.....	14
3.2.2 DADOS – ETAPA 2.....	14
3.2.2.1 PRODUTOS OFICIAIS DE ÁREA QUEIMADA.....	14
3.2.2.2 PRODUTOS DE ÁREA QUEIMADA VIA LANDSAT.....	15
3.2.3 METODOLOGIA – ETAPA 2.....	15
4. RESULTADOS	19
4.1 ETAPA 1	19
4.1.1 ÍNDICE DE SEPARABILIDADE M.....	19
4.1.2 MAPEAMENTO DAS ÁREAS QUEIMADAS.....	21
4.1.3 VALIDAÇÃO MAPEAMENTO DAS ÁREAS QUEIMADAS.....	23
4.2 ETAPA 2	25
5. CONCLUSÕES	29
BIBLIOGRAFIA	31
APÊNDICE A	34
APÊNDICE B	35

1. INTRODUÇÃO

1.1 RESUMO DO PLANO DE TRABALHO INICIAL

A validação em sensoriamento remoto determina de forma quantitativa a habilidade de um produto obtido a partir do espaço em descrever um dado parâmetro geofísico medido por meios independentes. A importância em validar produtos de satélites se deve aos seguintes fatores: 1) informações quantitativas sobre a qualidade do produto são fundamentais para diferentes usuários; 2) informações resultantes do próprio processo de validação ajudam a melhorar a geração dos produtos e 3) utilização crescente de produtos de satélite como suporte para a detecção de eventuais mudanças climáticas.

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 larga extensão e localização remota da maioria das ocorrências, mas também devido à rápida alteração do sinal radiométrico da cicatriz de queimada. Ademais, muitas ocorrências de queimadas localizam-se em propriedades privadas, o que dificulta a sua validação *in situ*. 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 depois da ocorrência do fogo, em locais de livre acesso. Informações com estas características podem ser coletadas através de sobrevôos 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.

Na ausência de dados *in situ*, uma forma possível de solucionar o problema consiste na comparação visual e estatística com informações de satélites de alta resolução espacial, que permitem observar a superfície terrestre com o detalhamento adequado. Outro método de validação comumente utilizado para validar a localização e extensão aproximada da área queimada consiste na comparação com os focos de queimada obtidos por satélites.

No presente projeto, o processo de validação do produto de área queimada desenvolvido no INPE (AQM, Libonati *et al.*, 2015) será conduzido utilizando-se cicatrizes

de áreas queimadas derivadas de dados de média resolução (LANDSAT TM). Além disso, também será realizada a comparação das áreas queimadas com aquelas obtidas pelos dois produtos oficiais de área queimada da NASA, nomeadamente o MCD45A1 (Roy *et al.*, 2005) e o MCD64A1 (Giglio *et al.*, 2006).

1.2 RESUMO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

- a) Aquisição dos dados de área queimada mensais de baixa resolução do sensor MODIS (500m), os produtos MCD64 e MCD45, para o período de 2005 até 2015;
- b) Aquisição dos dados de área queimada mensais, AQM, geradas pelo Grupo de Monitoramento de Queimadas do INPE com o sensor MODIS (1km), para o período de 2005 até 2015;
- c) Aplicação de um mosaico nos dados da NASA, redimensionamento para 1 km e reprojeção (coordenadas geográficas), utilizando-se a ferramenta *Modis Reprojection Tool* (MRT);
- d) Geração de informação de referência (cicatrices de queima com média resolução) para validação dos produtos de baixa resolução:
 - Aquisição das imagens no banco de imagens Landsat-OLI ortorretificadas da USGS/NASA, com até 10% de cobertura de nuvens;
 - Agrupamento de bandas espectrais de cada cena;
 - Cálculo do índice de queimada W para cenas consecutivas;
 - Composição colorida digital do índice espectral;
 - Análise estatística do índice e definição de limiares em cicatrizes de queima;
 - Definição de parâmetros para segmentação;
 - Validação dos resultados por meio de comparações com focos de calor e interpretações visuais.
- e) Análise e definição dos períodos de comparação, levando em consideração as datas disponíveis de cicatrizes de média resolução;
- f) Rasterização dos vetores das cicatrizes de área queimada de média resolução;
- g) Cálculo a priori da percentagem (ou proporção) de pixels queimados dos dados de referências (média resolução, 30 m) que se encontra dentro de cada pixel do produto classificado (1 km);

h) Utilização da técnica estatística de verificação chamada de tabela de contingência para comparar os dados de área queimada de baixa resolução com a referência (média resolução). Cálculo dos erros de omissão e comissão, viés, etc.

i) Análise comparativa do total estimado pelos produtos de baixa resolução e a referência;

j) Análise dos resultados;

k) Publicações e apresentações de artigos científicos:

- RODRIGUES, J. A., LIBONATI, R., PERES, L. F. Mapeamento de áreas queimadas em Unidades de Conservação na Região Serrana do Rio de Janeiro utilizando o satélite Landsat-8. (2015). XXXVII Jornada Giulio Massarani de Iniciação Científica, Tecnológica, Artística e Cultural (JIC);
- RODRIGUES, J. A., LIBONATI, R., PERES, L. F. Mapeamento de áreas queimadas em Unidades de Conservação na Região Serrana do Rio de Janeiro utilizando o satélite Landsat-8. (2015). XIII Encontro de Pesquisadores e VII Encontro de Educação Ambiental do Parque Nacional da Serra dos Órgãos.
- RODRIGUES, J. A., LIBONATI, R., SETZER, A. W. Validação do produto área queimada mensal 1 km (MODIS). (2016). Seminário de Iniciação Científica do INPE, 2016.
- Prêmios e distinções:
 - ◆ Prêmio de melhor trabalho na sessão Meteorologia-2 da Jornada de Iniciação Científica da UFRJ 2015.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A queima de biomassa é reconhecida como um dos fatores críticos que afetam a distribuição de vegetação e a emissão de carbono em todo o mundo (Chuvienco, 2008; Thonicke *et al.*, 2010). Em escala global, modifica a composição química da atmosfera e agrava o efeito estufa; no contexto regional, altera ou até mesmo destrói ecossistemas; e em escala local, produz efeitos tais como a destruição da fauna e da flora, o empobrecimento do solo, a redução da penetração de água no subsolo e, em alguns casos, mortes, acidentes e perda de propriedades (Torrallbo e Benito, 2012). As estimativas são, normalmente, baseadas na quantidade de biomassa consumida, e isso requer mapeamento preciso das áreas queimadas, bem como conhecer a integralidade da combustão e ter o balanço de biomassa

pré-fogo (Palacios-Orueta *et al.*, 2005).

Mapeamento das áreas queimadas em escala global via imagens de satélite é baseado, principalmente, em dados de baixa resolução espacial, tais como dos sensores *Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)* e *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)*. Porém, esses dados não possuem um detalhamento espacial suficiente. O uso de sensores de média/alta resolução tem sido geralmente indicado para estudos em escala local, mas, nos últimos anos, também tem sido utilizado em estudos globais, tanto por causa dos requisitos mais rigorosos, e pela crescente disponibilidade de tais imagens, especialmente após a disponibilidade pública das imagens Landsat (Bastarrika *et al.*, 2011). Os satélites ainda operantes da série Landsat têm sido amplamente utilizados para o mapeamento de áreas queimadas, principalmente em estudos locais e regionais (Chuvienco *et al.*, 2002; Hudak e Brockett, 2004; Smith *et al.*, 2007).

O avanço das cidades sobre a área verde tem efeitos socioeconômicos, bem como efeitos ambientais. A degradação dos biomas brasileiros é mostrada pelas estatísticas. Com o remanescente de Mata Atlântica representando cerca de 22% de sua formação original e a extensão do Cerrado reduzida a mais de 50% por desmatamento e degradação (MMA, sem data e Klink e Machado, 2005), é imprescindível medidas de conservação e preservação dos biomas como, por exemplo, com a criação de unidades de conservação.

3. DADOS E METODOLOGIA

O presente trabalho foi elaborado em duas etapas, a primeira consistiu no desenvolvimento de mapas de referência de cicatrizes de áreas queimadas utilizando dados Landsat (30 m) e a segunda etapa consistiu na validação do produtos de área queimada do sensor MODIS (1 km).

3.1 DESENVOLVIMENTO DE MAPAS DE REFERÊNCIA – ETAPA 1

A primeira etapa do trabalho teve como objetivo fornecer informação de referência para validação de três produtos de área queimada do sensor MODIS. A validação de produtos de área queimada derivados de sensoriamento remoto é crucial para fornecer informações quantitativas sobre a qualidade do produto e identificar e corrigir eventuais falhas de desenvolvimento. A maneira mais comum de realizar uma avaliação do desempenho de um

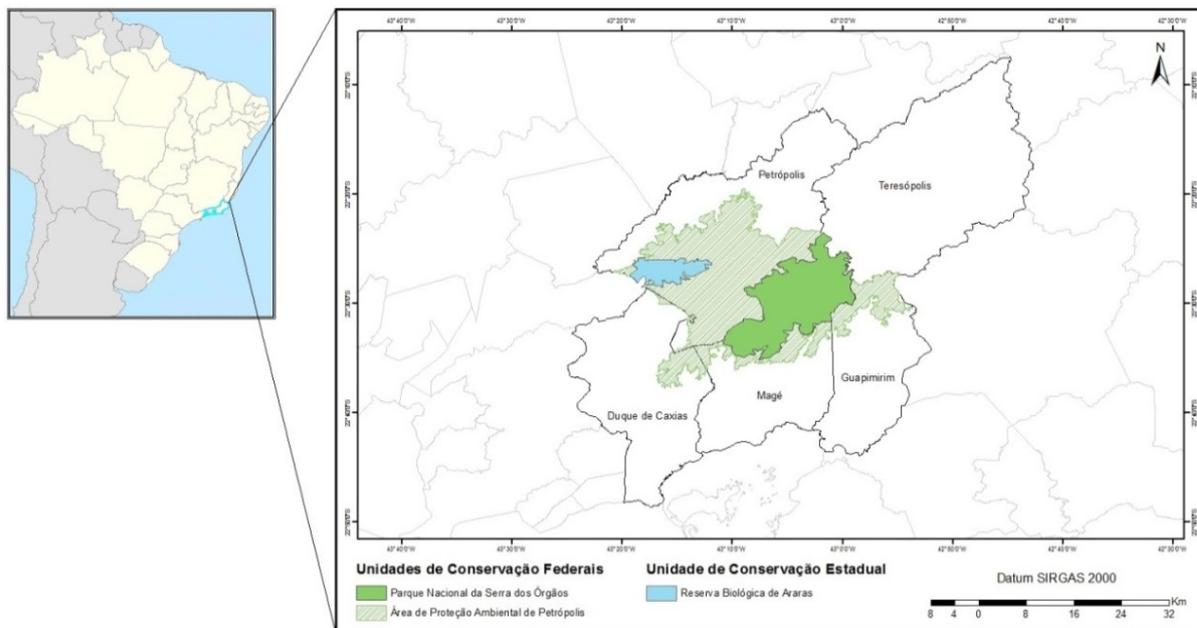
mapa de classificação derivado de sensoriamento remoto é através da comparação com outros mapas (chamados de dados de referência) também derivados de sensoriamento remoto ou de dados *in situ*. A validação de estimativas de área queimada por meio da comparação direta com medidas em campo apresentam dificuldades relacionadas não só com a larga extensão e localização remota da maioria das ocorrências, mas também devido à rápida alteração do sinal radiométrico da cicatriz de queimada. Ademais, muitas ocorrências de queimadas localizam-se em propriedades privadas, o que dificulta a sua validação *in situ*. Na ausência de dados *in situ*, uma forma possível de solucionar o problema consiste na comparação com informações de satélites de alta/média resolução espacial, que permitem observar a superfície terrestre com o detalhamento adequado. Atualmente, as pesquisas existentes de alta/média resolução utilizam mapeamento realizado no bioma Cerrado, inexistindo resultados em outros biomas. Desta forma, a etapa 1 consiste no desenvolvimento de um algoritmo semi-automático para o mapeamento de cicatrizes de áreas queimadas utilizando dados de média resolução (Landsat-8/OLI) para o bioma Mata Atlântica. O mapeamento resultante deste trabalho será utilizado como referência para as validações dos produtos de área queimada gerados com o sensor MODIS.

3.1.1 ÁREA DE ESTUDO – ETAPA 1

Atualmente, as pesquisas existentes utilizam mapeamento realizado no bioma Cerrado, inexistindo informações de boa qualidade em outros biomas. Para esta pesquisa, foi desenvolvido um mapeamento de cicatrizes de áreas queimadas no bioma Mata Atlântica, na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, para um evento ocorrido em outubro de 2014.

A área de estudo compreende as Unidades de Conservação (UCs) nomeadamente: Área de Proteção Ambiental (APA) de Petrópolis, Parque Nacional (PARNA) da Serra dos Órgãos e Reserva Biológica (REBIO) de Araras, que abrangem os municípios de Nova Iguaçu, Petrópolis, Teresópolis, Duque de Caxias, Magé e Guapimirim (Figura 3.1.1.1), sendo as duas primeiras Federais e a última Estadual. As UCs Federais são geridas pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e a UC Estadual é gerida pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA) e todas constituídas pelo bioma Mata Atlântica e por uma diversidade de animais silvestres, inclusive espécies ameaçadas de extinção.

Figura 3.1.1.1 – Localização da área de estudo da ETAPA 1 no estado do Rio de Janeiro.



Fonte: Produção do autor.

A APA ocupa uma área de 68.223,59 hectares e pertence ao grupo de Uso Sustentável, cujo objetivo básico é compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela de seus recursos naturais. A REBIO e o PARNA ocupam uma área de 3.837,81 e 20.020,54 hectares respectivamente, e pertencem ao grupo de Proteção Integral, que tem como objetivo básico preservar a natureza, livrando-a, o quanto possível da interferência humana.

O clima da região varia entre o Tropical Superúmido/Úmido, o Tropical Mesotérmico e o Tropical de Altitude, não sendo comuns períodos de seca. Porém, em 2014, a região enfrentou uma seca atípica que, a partir de uma ação criminosa, desencadeou uma série de queimadas no mês de outubro.

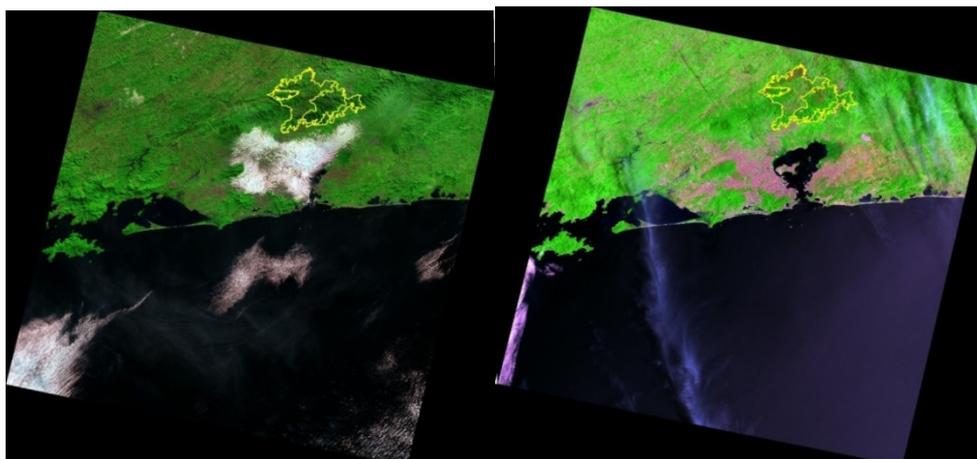
3.1.2 DADOS – ETAPA 1

A organização científica *United States Geological Survey* (USGS) disponibiliza em sua página <http://earthexplorer.usgs.gov/> imagens do satélite Landsat-8, escolhido para este estudo. Foram selecionadas duas imagens 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). Existem apenas duas imagens por mês, visto que o

tempo de revisita do satélite é de 16 dias. A Figura 3.1.2.1 mostra as imagens em composição colorida, com a delimitação das UCs. Nela, é possível visualizar as cicatrizes em consequência do incêndio. A órbita/ponto do satélite que engloba a região é 217/76. As bandas utilizadas pertencem ao sensor *Operacional Land Imager* (OLI).

As imagens possuem pré-processamento *Level 1*, que inclui calibração radiométrica, correção geométrica sistemática, correção de precisão assistida por fichas de controle de solo, bem como a utilização de um modelo digital de elevação para corrigir erro de paralaxe devido ao relevo topográfico local (ROY *et al.*, 2014). Todas as bandas do satélite utilizadas neste trabalho e seus respectivos comprimentos de onda são mostrados na tabela a seguir (Tabela 3.1.2.1).

Figura 3.1.2.1 – Composição colorida das imagens pré-fogo (direita) e pós-fogo (esquerda), órbita / ponto 217 / 76, e a delimitação das UCs em amarelo.



Fonte: Earth Explorer – USGS, 2016, modificada pelo autor.

TABELA 3.1.2.1 – DESCRIÇÃO DAS BANDAS UTILIZADAS DO LANDSAT-8.

Banda	Comprimento de onda (μm)	Resolução espacial (m)
1 – azul	0,43 – 0,45	30
2 – azul	0,45 – 0,51	30
3 – verde	0,53 – 0,59	30
4 – vermelho	0,64 – 0,67	30
5 – infravermelho próximo	0,85 – 0,88	30
6 – infravermelho de ondas curtas	1,57 – 1,65	30
7 – infravermelho de ondas curtas	2,11 – 2,29	30

Fonte: USGS, 2016.

O fogo produz quatro tipos de sinais observáveis do espaço, são eles: radiação direta pelas chamas (calor e luz), aerossóis (fumaça), resíduos sólidos (carvão e cinza) e estrutura vegetal alterada (cicatriz) (Pereira, 2007). A distribuição espacial e a quantificação dos focos de incêndio servem como base para elaboração de estudos sobre áreas queimadas.

Estes dados são disponibilizados gratuitamente no Banco de Dados de Queimadas (INPE, 2016) de forma quantitativa e espacial, inclusive os focos em unidades de conservação. A Figura 3.1.2.2 mostra o total de focos de calor nas unidades de conservação federal e estadual do estado do RJ para o período das imagens, 04 de julho a 27 de dezembro de 2014. Observa-se um total de 461 focos, sendo 228 nas unidades estudadas. Em comparação ao mesmo período do ano anterior, 2013, observa-se um total de 25 focos (sendo registrados apenas 2 na APA Petrópolis), o que representa um aumento de quase 2.000% (Figura 3.1.2.3).

Figura 3.1.2.2 – Distribuição dos focos de calor nas UCs do RJ no período de 04 de julho a 27 de dezembro de 2014.

Distribuição dos 461 focos de 2014-07-04 a 2014-12-27 RJ	
1) Parna da Serra dos Orquãos (Federal/RJ)	(171)
2) Rebio do Tinguá (Federal/RJ)	(78)
3) APA Petrópolis (Federal/RJ)	(57)
4) AREA DE PROTECAO AMBIENTAL GUANDU (Estadual/RJ)	(30)
5) AREA DE PROTECAO AMBIENTAL DOS FRADES (Estadual/RJ)	(22)
6) APA da Bacia do Rio São João/Mico-Leão-Dourado (Federal/RJ)	(18)
7) Rebio de Poço das Antas (Federal/RJ)	(16)
8) Parna da Serra da Bocaina (Federal/RJ)	(16)
9) APA da Serra da Mantiqueira (Federal/RJ)	(14)
10) AREA DE PROTECAO AMBIENTAL DO GERICINO-MENDANHA (Estadual/RJ)	(6)
11) PARQUE ESTADUAL DA PEDRA BRANCA (Estadual/RJ)	(6)
12) AREA DE PROTECAO AMBIENTAL DA BACIA DO RIO MACACU (Estadual/RJ)	(5)
13) Rebio União (Federal/RJ)	(3)
14) PARQUE ESTADUAL DA COSTA DO SOL (Estadual/RJ)	(3)
15) PARQUE ESTADUAL DOS TRES PICOS (Estadual/RJ)	(3)
16) AREA DE PROTECAO AMBIENTAL DE MASSAMBABA (Estadual/RJ)	(2)
17) PARQUE ESTADUAL CUNHAMBEBE (Estadual/RJ)	(2)
18) Parna Itatiaia (Federal/RJ)	(1)
19) Esec da Guanabara (Federal/RJ)	(1)
20) AREA DE PROTECAO AMBIENTAL DE TAMOIOS (Estadual/RJ)	(1)
21) Parna da Tijuca (Federal/RJ)	(1)
22) Parna da Restinga de Jurubatiba (Federal/RJ)	(1)
23) AREA DE PROTECAO AMBIENTAL DE MANGARATIBA (Estadual/RJ)	(1)
24) AREA DE PROTECAO AMBIENTAL DE MACAE DE CIMA (Estadual/RJ)	(1)
25) Arie Floresta da Cicuta (Federal/RJ)	(1)
26) RESERVA BIOLOGICA ESTADUAL DE GUARATIBA (Estadual/RJ)	(1)

Fonte: Banco de dados de queimadas – INPE.

Figura 3.1.2.3 – Distribuição dos focos de calor nas unidades de conservação do RJ no período de 04 de julho a 27 de dezembro de 2013.

Distribuição dos 25 focos de 2013-07-04 a 2013-12-27 RJ		
Número	1) Rebio de Poço das Antas (Federal/RJ)	(9)
	2) APA da Bacia do Rio São João/Mico-Leão-Dourado (Federal/RJ)	(3)
	3) Rebio do Tinguá (Federal/RJ)	(3)
	4) APA Petrópolis (Federal/RJ)	(2)
	5) Esec da Guanabara (Federal/RJ)	(2)
	6) APA da Serra da Mantiqueira (Federal/RJ)	(2)
	7) Rebio União (Federal/RJ)	(1)
	8) Parna da Serra da Bocaina (Federal/RJ)	(1)
	9) ESTACAO ECOLOGICA ESTADUAL DE GUAXINDIBA (Estadual/RJ)	(1)
	10) PES da Pedra Branca (PES) (Estadual/RJ)	(1)

Fonte: Banco de dados de queimadas – INPE.

3.1.3 METODOLOGIA – ETAPA 1

As imagens vêm registradas em número digital (ND). A radiação eletromagnética que é refletida pelo alvo e armazenada no sensor varia com a intensidade de radiação solar que foi incidida, com as condições atmosféricas e com o comprimento de onda. Com isso, faz-se necessária a conversão do ND para reflectância no topo da atmosfera (ρ_{λ}') para ambas as imagens, que é mostrada na Equação 3.1.3.1. Para valores mais precisos da ρ_{λ}' , calcula-se, também, a reflectância com correção para o ângulo solar (ρ_{λ}) (Equação 3.1.3.2) (USGS, 2015). Os coeficientes são fornecidos no arquivo de metadados de cada imagem.

$$\rho_{\lambda}' = M_p * Q_{cal} + A_p \quad (3.1.3.1)$$

Onde:

M_p = fator multiplicativo de redimensionamento de banda específica;

A_p = fator aditivo de redimensionamento de banda específica;

Q_{cal} = valores de pixel (ND) do produto padrão quantizados e calibrados.

$$\rho_{\lambda} = \rho_{\lambda}' / \text{sen}(\theta_{SE}) \quad (3.1.3.2)$$

Onde:

θ_{SE} = ângulo local de elevação do sol, em graus.

Primeiramente, para verificar a eficácia da combinação RGB 754 no mapeamento de queimadas, coletaram-se amostras de vegetação verde (186 pixels) e queimada (265 pixels), e calculou-se o Índice de Separabilidade M (Kaufan e Remer, 1994) para cada banda a partir

dessas amostras. A análise de separabilidade determina quanto o processamento foi capaz de discriminar as classes de interesse: queimada e não queimada (Equação 3.1.3.3). Esse teste representa a sobreposição dos histogramas das classes analisadas. Valor de $M < 1$ corresponde a uma baixa separabilidade entre as classes; valor de $M > 1$, uma alta separabilidade.

$$M = |\mu_{nq} - \mu_q| / [\sigma_{nq} + \sigma_q] \quad (3.1.3.3)$$

Onde:

μ_{nq} = média dos valores do conjunto de pixels não queimados;

μ_q = média dos valores do conjunto de pixels queimados;

σ_{nq} = desvio padrão dos valores do conjunto de pixels não queimados;

σ_q = desvio padrão dos valores do conjunto de pixels queimados.

Para a realização do mapeamento das áreas queimadas, utilizamos o Índice de queimadas W (Libonati *et al.*, 2011), o qual mostrou resultados satisfatórios em estudos anteriores, por ter a capacidade de separação quase constante entre queimadas e não-queimadas. Neste estudo, também apresentou resultado do teste M maior que 1. O índice W foi primeiramente concebido para características do sensor MODIS, nomeadamente os canais 2 (infravermelho próximo - NIR, cerca de 0,8 μm) e 20 (infravermelho médio - MIR, cerca de 3,9 μm). Os autores, no entanto, têm enfatizado que embora testados com o sensor MODIS, os índices propostos podem ser adaptados a outros sensores e a outra combinação de faixas do espectro eletromagnético, tais como as do Landsat-8, que cobrem outras faixas do espectro, principalmente na do infravermelho de ondas curtas (SWIR), como em 1,6 μm e 2,1 μm , já que estas regiões do espectro podem substituir a região do MIR. Esta adaptação permite a utilização de sistemas sensores que não operam na faixa do infravermelho médio. Um teste para imagens Landsat-8 será feito neste trabalho. O índice W adaptado ao sensor Landsat-8 é mostrado na Equação 3.1.3.4:

$$W = (\varepsilon - \varepsilon_A)^2 + (\gamma)^2 \quad (3.1.3.4)$$

Onde:

$\varepsilon = \rho_{\text{SWIRL}} - \rho_{\text{NIR}}$;

$\varepsilon_A = \rho_{\text{SWIRL0}} - \rho_{\text{NIR0}}$;

$\gamma = \sqrt{\rho_{\text{SWIRL}} - \rho_{\text{SWIRL0}}^2 + \rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{NIR0}}^2}$;

$\text{SWIRL} = \text{banda 7}$ e $\text{NIR} = \text{banda 5}$;

$\rho_{\text{SWIRL0}} = 0.24$ e $\rho_{\text{NIR0}} = 0.05$.

Para o mapeamento das queimadas, foram aplicados os 3 limiares abaixo. O pixel que obedecer aos 3 limiares, será classificado como queimada:

- $Dif = W_{pré} - W_{pós} > 0.08$: limiar temporal;
- $W_{pós} < 0.23$: limiar do índice W;
- $RED_{pós} < 0.08$: limiar de separação entre queimada e urbanização; valor de refletância de transição entre áreas queimadas e áreas urbanas na faixa do vermelho-visível, pois essas se confundem.

Para o cálculo da área total queimada, foi levado em consideração o relevo, sendo calculada a área em superfície modelada. No software ArcGis 10.1: → extrair curvas de nível a partir de um Modelo Digital de Elevação do projeto TOPODATA, folha 22S435, disponível em <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php> → gerar um TIN (*Triangulated Irregular Network*), aonde ocorre a interpolação dos valores de altitude por meio da criação de triângulos entre uma linha e outra e cria um modelo matemático com valores de altitude → calcular a área em superfície modelada através da ferramenta *Polygon Volume*.

3.2 VALIDAÇÃO DOS PRODUTOS DE ÁREA QUEIMADA DE BAIXA RESOLUÇÃO: AQM, MCD45A1 E MCD64A1 – ETAPA 2

O processo de validação dos produtos de área queimada AQM, MCD45A1 e MCD64A1 1 km foi realizado com resultados de mapeamento via Landsat de duas localizações distintas: para a região de Cerrado no Jalapão/TO e para a região de Mata Atlântica em Unidades de Conservação (UCs) da Região Serrana/RJ, conforme ETAPA 1. Informações sobre as áreas mensais mapeadas na Tabela 3.2.1.

Tabela 3.2.1 – Informações sobre as áreas mensais mapeadas via Landsat.

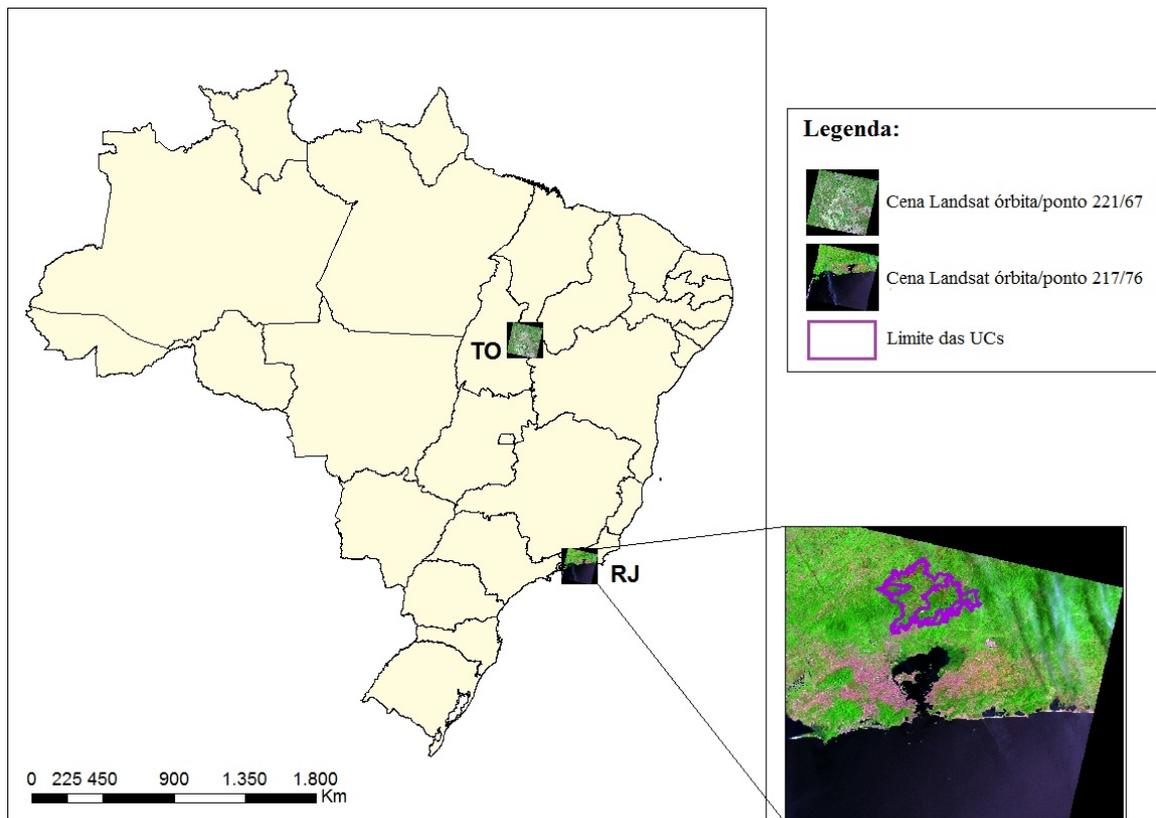
Região de estudo	Órbita/ponto	Satélite	Mês	Ano	Bioma
Jalapão/TO	221/67	Landsat 8	Julho	2013 e 2014	Cerrado
		Landsat 5 e 8	Agosto	2011, 2013 e 2014	
		Landsat 5 e 8	Setembro	2011 e 2014	
		Landsat 5	Outubro	2011	
UCs Região Serrana/RJ	217/76	Landsat 8	Outubro	2014	Mata Atlântica

Fonte: Produção do autor.

3.2.1 ÁREA DE ESTUDO – ETAPA 2

A primeira área de estudo compreende as UCs na Região Serrana do RJ, conforme descrito na ETAPA 1. A segunda área é referente ao Jalapão, na porção nordeste do Brasil central, que compreende as maiores e mais importantes áreas de conservação do bioma Cerrado. O clima na região é quente semi-úmido, com uma estação seca pronunciada. Chuvas se concentram de outubro a abril, a chamada temporada de verão, com até 600 mm de precipitação média no trimestre mais chuvoso, enquanto no inverno, de maio a setembro, pode acumular apenas 25 mm (Melchiori *et al*, 2015). A localização da área de estudo é mostrada na Figura 3.2.1.1.

Figura 3.2.1.1 – Localização das áreas de estudo da ETAPA 2 no Brasil.



Fonte: Produção do autor.

3.2.2 DADOS – ETAPA 2

3.2.2.1 PRODUTOS OFICIAIS DE ÁREA QUEIMADA

Os produtos oficiais globais de área queimada da NASA, o MCD45A1 e o MCD64A1,

e o produto nacional do INPE, o AQM, são obtidos a partir de imagens do sensor MODIS 500m e MODIS 1km respectivamente, para os anos 2011, 2013 e 2014. Estas informações são mensais e os pixels queimados são identificados. Tais dados da NASA foram baixados gratuitamente em formato HDF através do endereço eletrônico <https://reverb.echo.nasa.gov/> e da Universidade de Maryland: <ftp://fuoco.geog.umd.edu/db/MCD64A1/>; os do INPE foram disponibilizados pelo Grupo de Monitoramento de Queimadas. Os dados NASA foram redimensionados para 1km para ficarem compatíveis com os dados do INPE e reprojctados da projeção Sinusoidal Global para coordenadas geográficas.

3.2.2.2 PRODUTOS DE ÁREA QUEIMADA VIA LANDSAT

Os produtos do mapeamento de área queimada no Jalapão utilizaram tanto o satélite Landsat-5 (sensor TM), quanto o Landsat-8 (sensor OLI) devido ao ano de operação do 8 (a partir de 2014), e foram cedidos pelo Grupo de Monitoramento de Queimadas do Inpe.

Já o mapeamento realizado nas UCs, somente fez uso do Landsat-8, escolhido pelas suas características modernizadas, como as bandas espectralmente mais estreitas do que suas correspondentes nos satélites anteriores da série, a fim de melhorar as respostas espectrais dos alvos.

3.2.3 METODOLOGIA – ETAPA 2

A tabela de contingência é uma técnica estatística que relaciona variáveis, utilizada em Meteorologia para verificação de erros e acertos das observações com relação ao que foi previsto, e a partir da qual se derivam os cálculos dos erros de omissão e comissão, viés, etc (Tabela 3.2.3.1). Indica a confiabilidade dos produtos de queimada de baixa resolução (observado) com o produto de referência (média resolução - previsto). Neste estudo, a tabela é um caso binário, onde só há dois tipos de evento: queimou e não queimou

Tabela 3.2.3.1 – Tabela de contingência 2x2 para verificação da ocorrência ou não de queimadas com referência a produtos de média resolução.

		OBSERVAÇÕES		
		S	N	Subtotal
PREVISÕES	S	a	b	a+b
	N	c	d	c+d
	Subtotal	a+c	b+d	a+b+c+d = n

		OBSERVAÇÕES		
		S	N	Subtotal
PREVISÕES	S	Acerto queimada	Falso Alarme (comissão)	Previsão sim
	N	Omissão	Acerto não queimada	Previsão não
	Subtotal	Observação sim	Observação não	TOTAL

Fonte: Produção do autor.

De acordo com a tabela, várias medidas de acurácia podem ser derivadas. A seguir serão listadas as medidas de acurácia mais utilizadas na literatura para validação de área queimada (Chuvienco *et al.*, 2008; Roy *et al.*, 2009; Boschetti *et al.*, 2004):

- Acerto global (AG):

$$AG = p_{11} + p_{22} \quad (3.2.3.1)$$

- Erro de comissão da classe queimada (EC):

$$Ce = p_{12} / (p_{11} + p_{12}) \quad (3.2.3.2)$$

- Erro de omissão da classe queimada (EO):

$$Oe = p_{21} / (p_{11} + p_{21}) \quad (3.2.3.3)$$

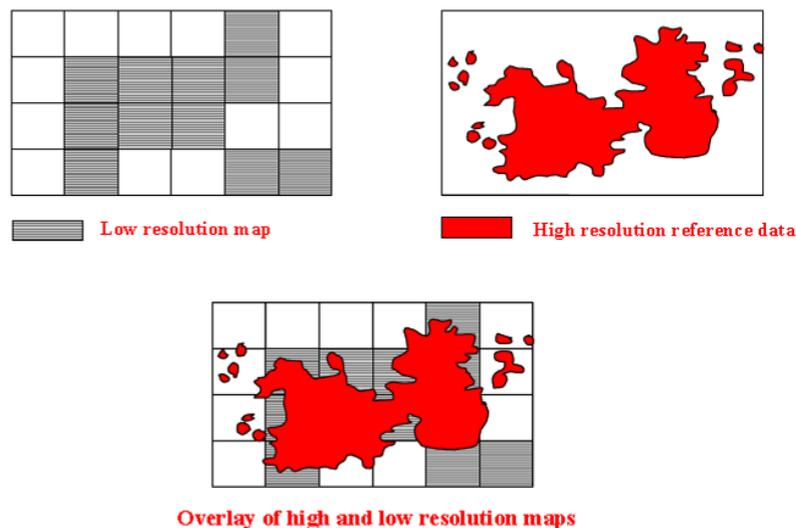
- Bias:

$$Bias = (p_{11} + p_{12}) / (p_{11} + p_{21}) \quad (3.2.3.4)$$

onde p_{11} é a posição “a”, p_{12} é a posição “b”, p_{21} é a posição “c” e p_{22} é a posição “d” da tabela de contingência.

Entretanto, a teoria acima descrita não leva em consideração que existe uma diferença de resolução entre o sensor utilizado para a classificação e o sensor utilizado para gerar os dados de referência. A Figura 3.2.3.1 exemplifica o problema. Dois mapas dicotômicos, cobrindo a mesma área, o primeiro derivado de um sensor de baixa resolução (painel superior esquerdo) e o outro derivado de um sensor de alta resolução (painel superior direito). O mapa feito com o sensor de baixa resolução possui pixels que cobrem áreas mistas (queimadas e não queimadas – painel inferior). Conseqüentemente, dependendo da classe a qual este pixel será classificado, levará a erros de omissão ou comissão. Isso porque, a tabela de contingência tradicional como mostrada anteriormente, dá pesos iguais a cada pixel, independente da proporção de cada classe presente neste pixel.

Figura 3.2.3.1. – Dois mapas dicotômicos, cobrindo a mesma área. Painel superior esquerdo: derivado de um sensor de baixa resolução. Painel superior direito: derivado de um sensor de alta resolução. Painel inferior: mapa feito com o sensor de baixa resolução possui pixels que cobrem áreas mistas (queimadas e não queimadas).



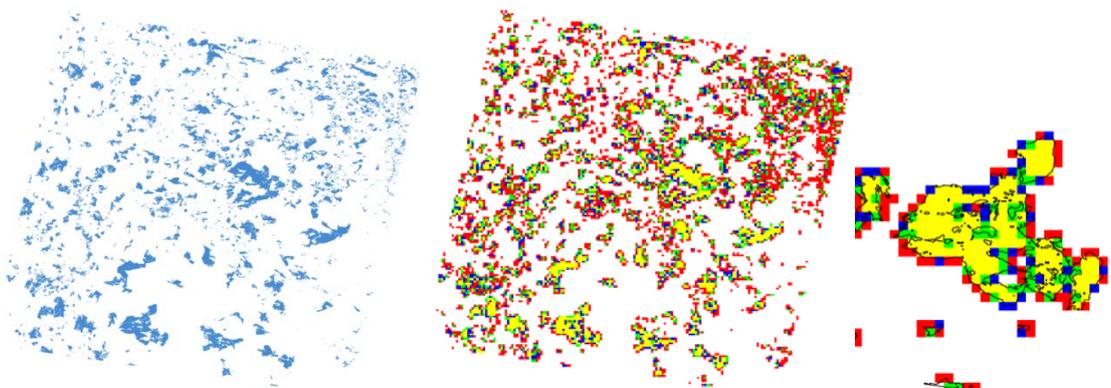
Fonte: Adaptado de Boschetti *et al.*, 2004.

Desta forma, as medidas de acurácia descritas acima (Equações 3.2.3.1 a 3.2.3.3) foram calculadas de acordo com os estudos de técnicas *fuzzy* desenvolvidos por Binaghi *et al.* (1999). Neste caso, a concordância-discordância entre os dados de referência (alta resolução) e os dados classificados (baixa resolução) é calculada levando em consideração a proporção de área queimada/não queimada dos dados de referência que se encontra em cada pixel dos dados classificados. Por exemplo, se um píxel é classificado como queimado e de acordo com os dados de referência possui 60% de sua área como queimada, então este píxel terá uma

proporção de 0.6 como acerto de queimada e uma proporção de 0.4 como erro de comissão. No caso tradicional, este pixel seria totalmente classificado como acerto de queimada (proporção 1), sem nenhum erro de comissão (proporção 0). Por outro lado, se um pixel é classificado como não queimado, porém possui 20% de área queimada de acordo com o dado de referência, então este pixel terá uma proporção de 0.8 de acerto de não queimada e apenas 0.2 de erro de omissão. Este tipo de abordagem permite um cálculo mais justo acerca da acurácia do classificador do que a técnica tradicional, pois leva em consideração a proporção real de área queimada dentro de um pixel de acordo com os dados de referência.

A abordagem acima descrita exige que seja calculada *a priori* a percentagem (ou proporção) de pixels queimados dos dados de referências que se encontra dentro de cada pixel do produto classificado (AQM). Especificamente para o caso em estudo, calculou-se a percentagem de pixels de 30 m (Landsat) queimados que se encontram dentro de cada pixel MODIS de 1 km. A ideia é apresentada na Figura 3.2.3.2, onde o painel da esquerda apresenta as cicatrizes de referência obtidas com Landsat (30 m) e o painel central representa as respectivas percentagens de pixels queimados em cada pixel MODIS (1 km). O painel da direita apresenta uma ampliação da figura do painel central, superposta às cicatrizes Landsat (curvas pretas). Pixels vermelhos indicam percentagens menores que 25%, pixels azuis indicam percentagens entre 25-50%, pixels verdes indicam percentagens entre 50-75% e pixels amarelos indicam percentagens entre 75-100%.

Figura 3.2.3.2 – Esquerda: cicatrizes de referência (Landsat, 30 m), em azul. Central: respectivas percentagens de pixels queimados em cada pixel MODIS de 1 km, pixels vermelhos indicam percentagens menores que 25%, pixels azuis indicam percentagens entre 25-50%, pixels verdes indicam percentagens entre 50-75% e pixels amarelos indicam percentagens entre 75-100%. Direita: ampliação da figura do painel central, superposta às cicatrizes Landsat (curvas pretas).



Fonte: Produção do autor.

Para cada dado de referência da Tabela 3.2.3.1, foram calculadas as respectivas percentagens de pixels queimados Landsat em cada pixel MODIS, conforme descrito no parágrafo anterior.

4. RESULTADOS

4.1 ETAPA 1

4.1.1 ÍNDICE DE SEPARABILIDADE M

A partir dos resultados de separabilidade de cada banda para as classes estudadas (Tabela 4.1.1.1), observa-se que as bandas 4, 5 e 7 são eficazes em discriminar as classes queimada e vegetação, com valores de M maiores que 2. As demais bandas revelaram M inferiores a 1. Certifica-se que as bandas do visível-vermelho (4), do infravermelho próximo (5) e do infravermelho de ondas curtas (7) são as indicadas para o mapeamento das queimadas.

Tabela 4.1.1.1 – Resultado do Índice de Separabilidade M para as bandas 1 a 7 do Landsat-8, entre pixels de queimada e vegetação.

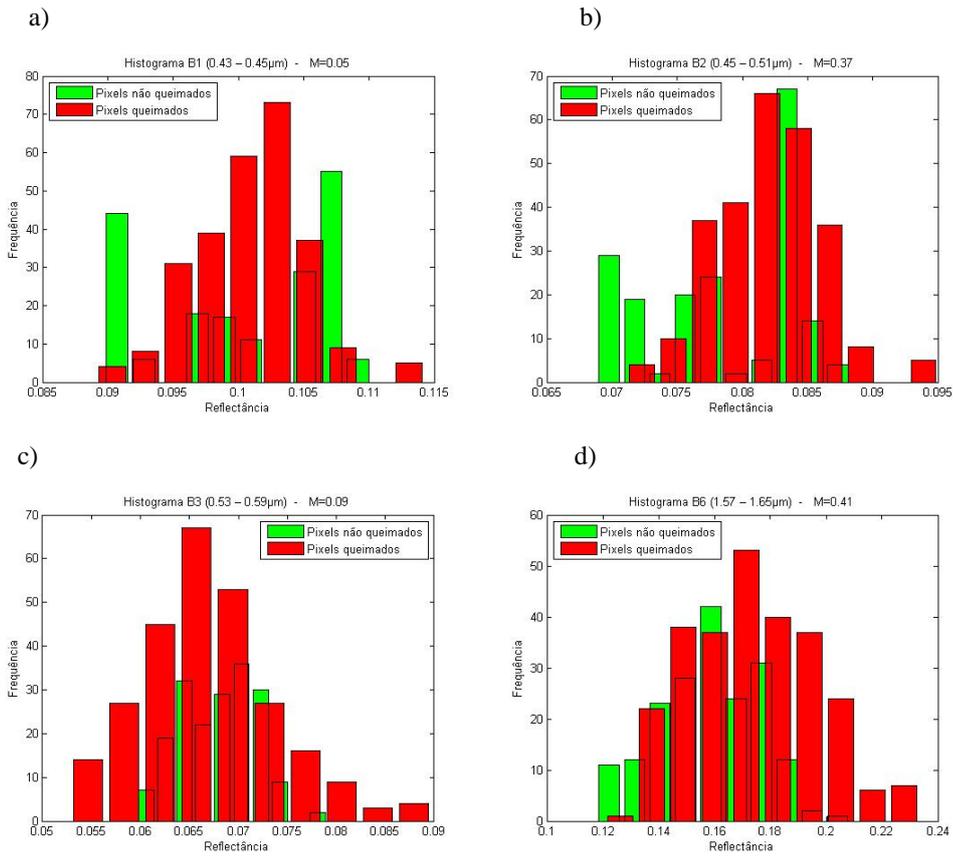
Banda	M
1	0.053
2	0.367
3	0.092
4	2.219
5	2.607
6	0.407
7	2.047

Fonte: Produção do autor.

O histograma é um importante indicador da distribuição de dados. É uma representação gráfica que nos permite uma noção instantânea sobre as classes da imagem. A forma do histograma fornece informações de grande importância no caso das imagens de sensoriamento remoto, tais como intensidade média e frequência dos valores de reflectância. As Figuras 4.1.1.1 e 4.1.1.2 complementam a tabela acima e mostram os histogramas para as bandas com resultado $M < 1$ e $M > 1$ respectivamente. As barras em verde representam os pixels

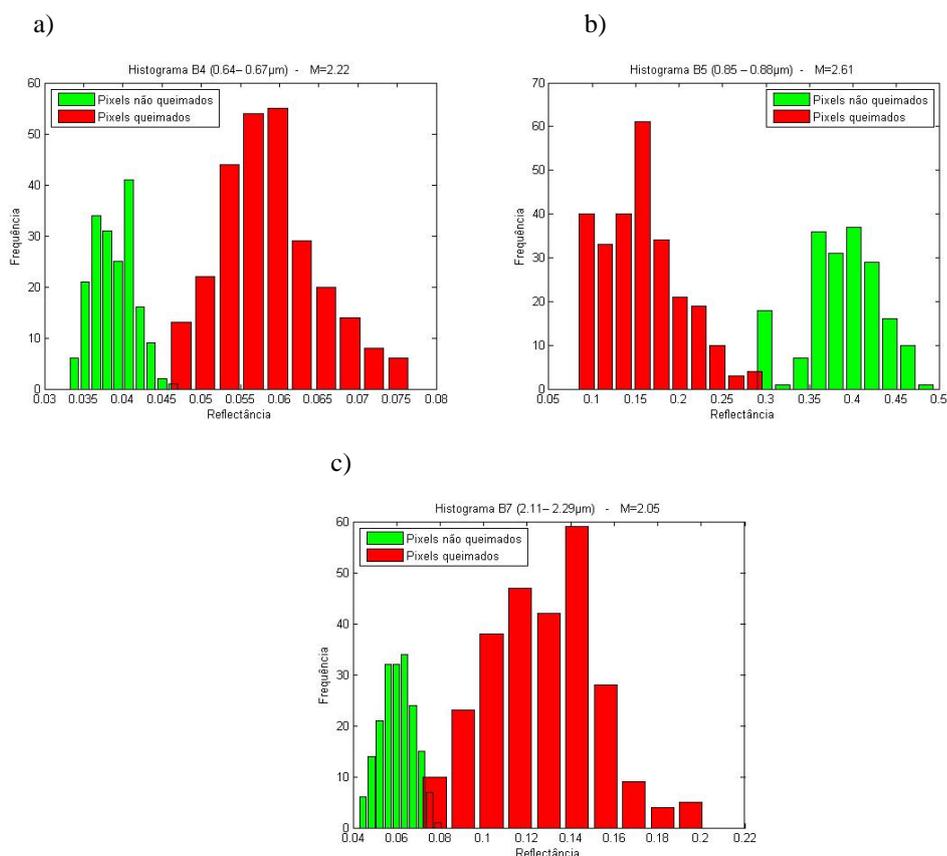
amostrados não queimados, e as barras vermelhas representam os pixels amostrados queimados. Observa-se que as bandas 1, 2, 3 e 6 têm os valores de reflectância de suas classes praticamente sobrepostos, enquanto que as bandas 4, 5 e 7 apresentam um afastamento nos valores das classes.

Fig. 4.1.1.1 – Histogramas de reflectância das bandas com $M < 1$ a) banda 1, b) banda 2, c) banda 3 e d) banda 6.



Fonte: Produção do autor.

Figura 4.1.1.2 – Histogramas de reflectância das bandas com $M > 1$ a) banda 4, b) banda 5 e c) banda 7.



Fonte: Produção do autor.

4.1.2 MAPEAMENTO DAS ÁREAS QUEIMADAS

Os resultados do mapeamento semi-automático de área queimada no período de julho a dezembro de 2014 na APA Petrópolis, REBIO de Araras e PARNASO estimam um total de 3671,97 hectares de área queimada. A APA foi a unidade mais afetada com 2655,71 hectares queimados, seguida do PARNASO com 789,94 hectares e da REBIO com 226,32 hectares (Tabela 4.1.2.1). Estes valores foram obtidos com base no método que considera a superfície real. Considerando a superfície como um plano, o total é reduzido a 3017,93 hectares, significando uma subestimação de 654,04 hectares.

As Figuras 4.1.2.1 a 4.1.2.3 apresentam o mapeamento local detalhado. Os polígonos azuis indicam o perímetro da área queimada. Percebe-se uma harmoniosa sobreposição da área queimada calculada pelo índice com a área queimada na imagem de satélite. Já a Figura 4.1.2.4 mostra o mapeamento total para as três UCs, representado pelos polígonos roxos.

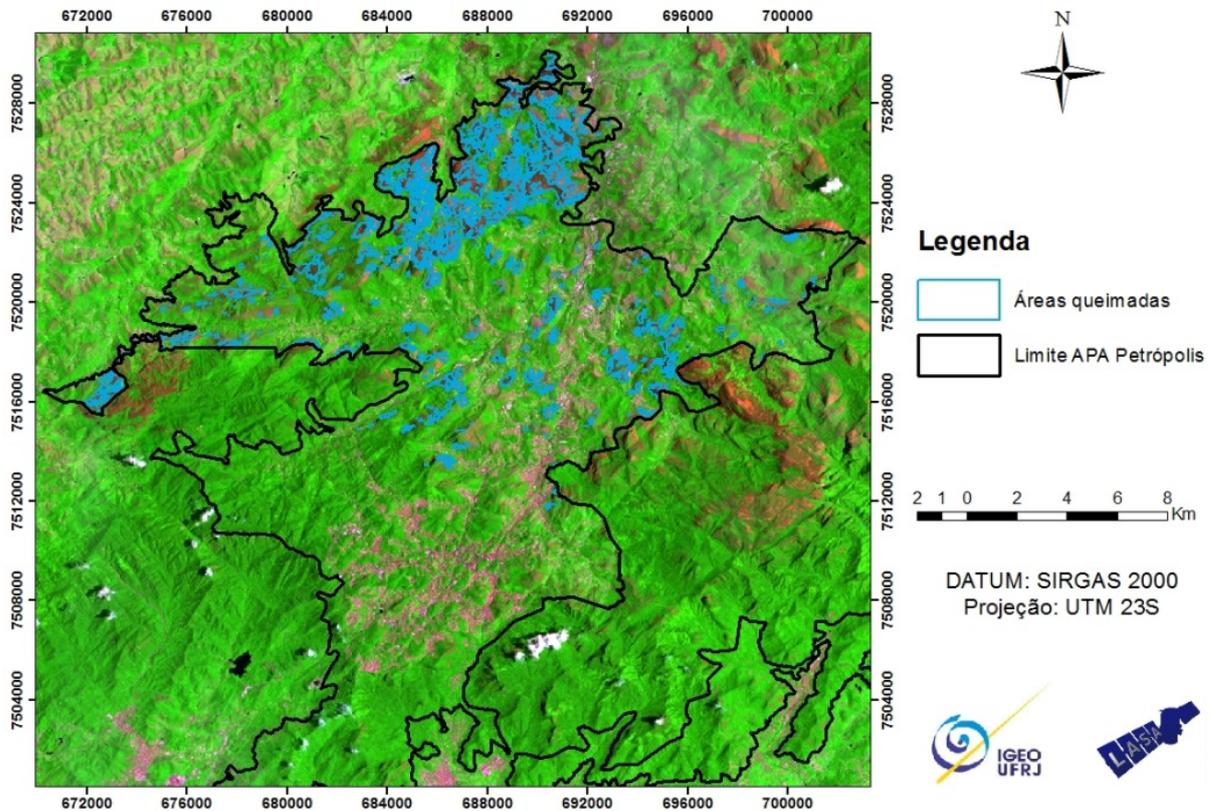
Tabela 4.1.2.1 – Total de áreas queimadas identificadas

Unidade de Conservação	Área queimada em superfície planimétrica (ha)	Área queimada em superfície real (ha)
APA de Petrópolis	2191,53	2655,71
REBIO de Araras	203,51	226,32
PARNASO	622,89	789,94
Total	3017,93	3671,97

Fonte: Produção do autor.

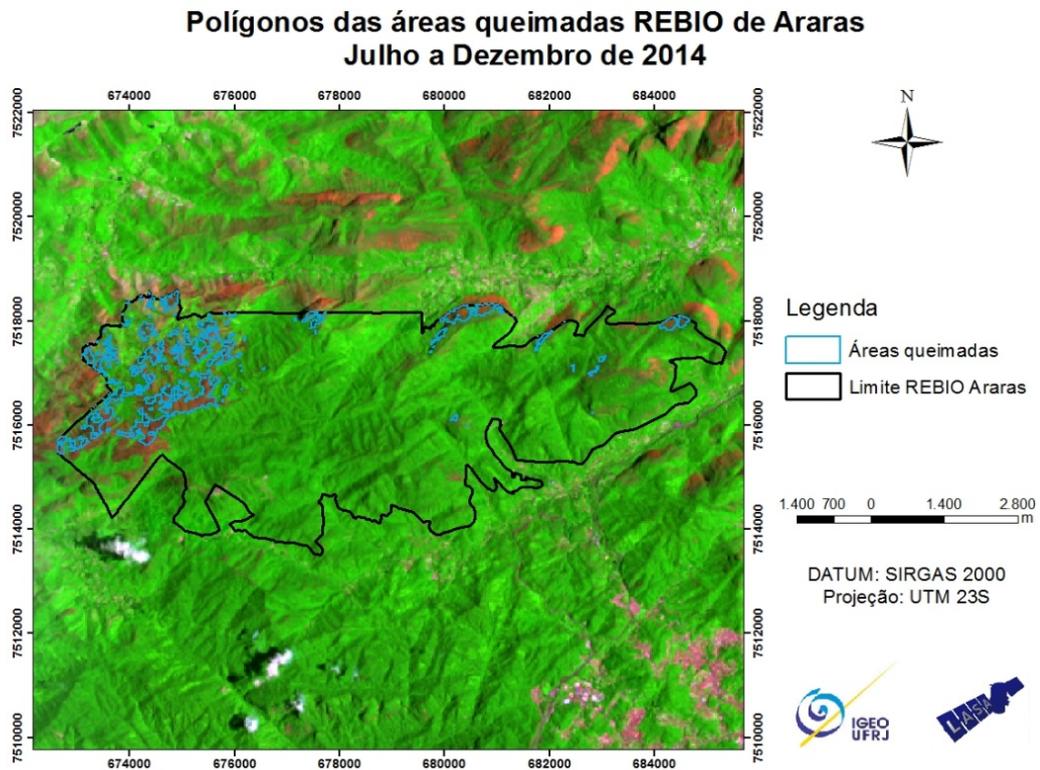
Figura 4.1.2.1 – Áreas queimadas identificadas na APA Petrópolis de julho a dezembro de 2014.

Polígonos das áreas queimadas APA Petrópolis Julho a Dezembro de 2014



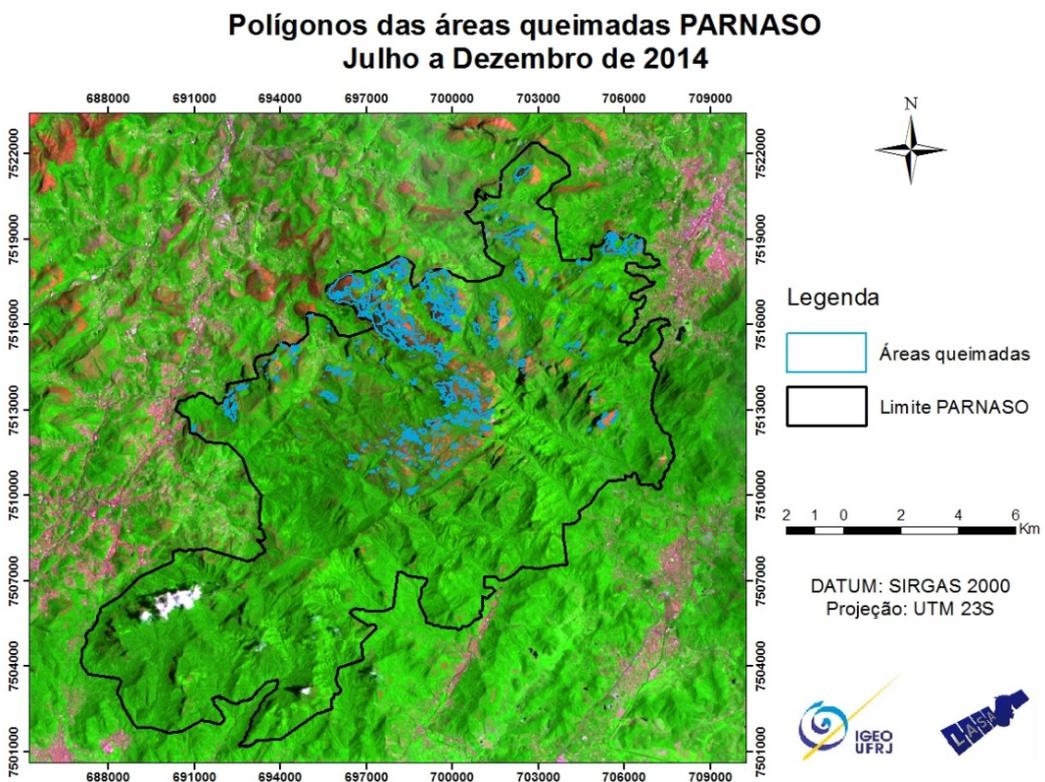
Fonte: Produção do autor.

Figura 4.1.2.2 – Áreas queimadas identificadas na REBIO de Araras de julho a dezembro de 2014.



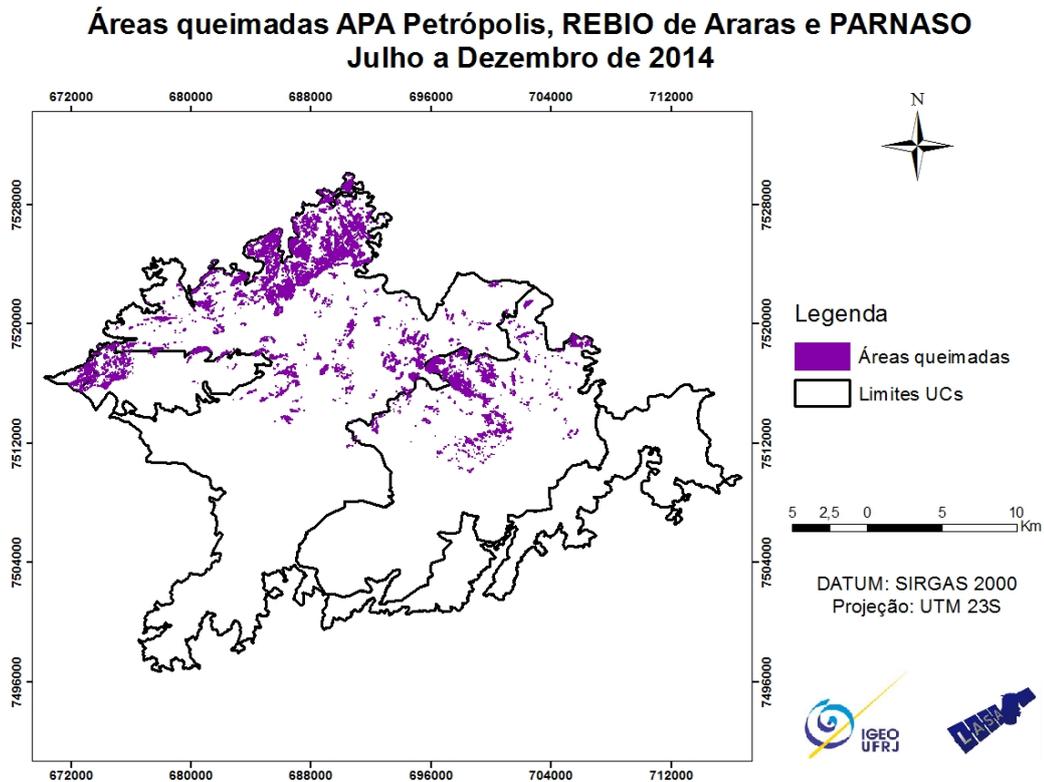
Fonte: Produção do autor.

Figura 4.1.2.3 – Áreas queimadas identificadas no PARNASO de julho a dezembro de 2014.



Fonte: Produção do autor.

Figura 4.1.2.4 – Áreas queimadas totais identificadas na APA Petrópolis, REBIO de Araras e PARNASO de julho a dezembro de 2014.

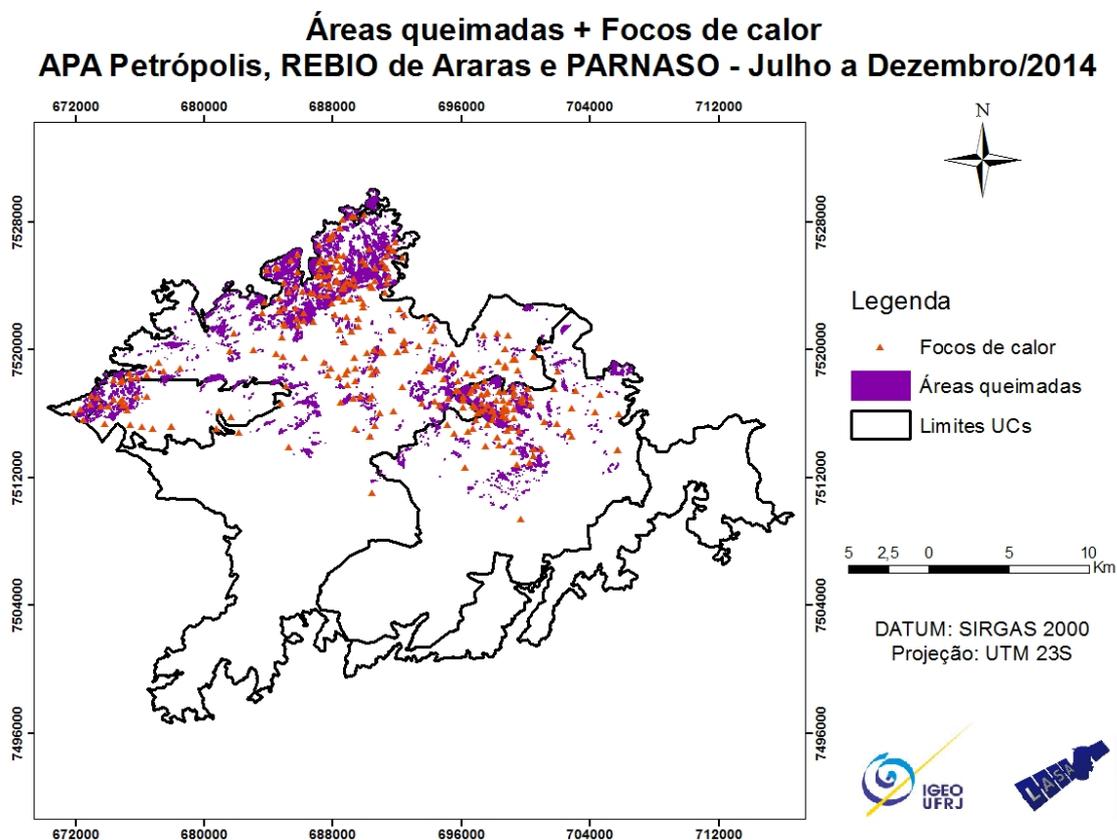


4.1.3 VALIDAÇÃO MAPEAMENTO DAS ÁREAS QUEIMADAS

Um 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 INPE, com os satélites TERRA e AQUA, NOAA, GOES e MSG (Figura 4.1.3.1). Os polígonos roxos representam as áreas queimadas identificadas, e os triângulos laranja representam os focos de calor. Observa-se uma boa coerência espacial entre a localização dos focos de calor e a área queimada.

Observa-se que o índice identificou satisfatoriamente as áreas incendiadas, porém houve uma superestimação destas áreas em porções de solo à leste da REBIO, na região central do PARNASO e na APA, e subestimação em uma pequena região da REBIO. Na APA, também houve superestimação em pequenas porções de área urbana.

Figura 4.1.3.1 – Mapeamento das áreas queimadas na APA Petrópolis, REBIO de Araras e PARNASO de Julho a Dezembro de 2014, corroborado pelos focos de calor.



4.2 ETAPA 2

Os resultados da Etapa 2 consistem na utilização de dados de referência, nomeadamente cicatrizes de área queimada derivadas de imagens de média resolução Landsat para validação dos produtos de área queimada de baixa resolução AQM, MCD64 e MCD45.

A Tabela 4.2.1 apresenta as medidas de acurácia AO, CE, OE e Bias para a comparação entre os dados de referência (Landsat) e os três produtos de área queimada para a área do Jalapão, para os anos de 2011, 2013 e 2014 enquanto que a Tabela 4.2.2 apresenta os mesmos resultados para as regiões de validação da Mata Atlântica (2014). Pela indisponibilidade dos dados MCD64 para os anos de 2013 e 2014, não foram feitas validações nestes casos.

Tabela 4.2.1 – Métricas de verificação para o Jalapão

2011	OA	CE	OE	Bias
MCD45	0,81	0,05	0,71	0,30
MCD64	0,82	0,03	0,71	0,29
AQM	0,82	0,23	0,35	0,85
2013	AO	CE	OE	Bias
MCD45	0,91	0,09	0,63	0,39
AQM	0,86	0,41	0,24	1,29
2014	OA	CE	OE	Bias
MCD45	0,83	0,06	0,67	0,34
AQM	0,80	0,31	0,17	1,19

Fonte: Produção do autor.

Tabela 4.2.2 – Métricas de verificação para o Rio de Janeiro

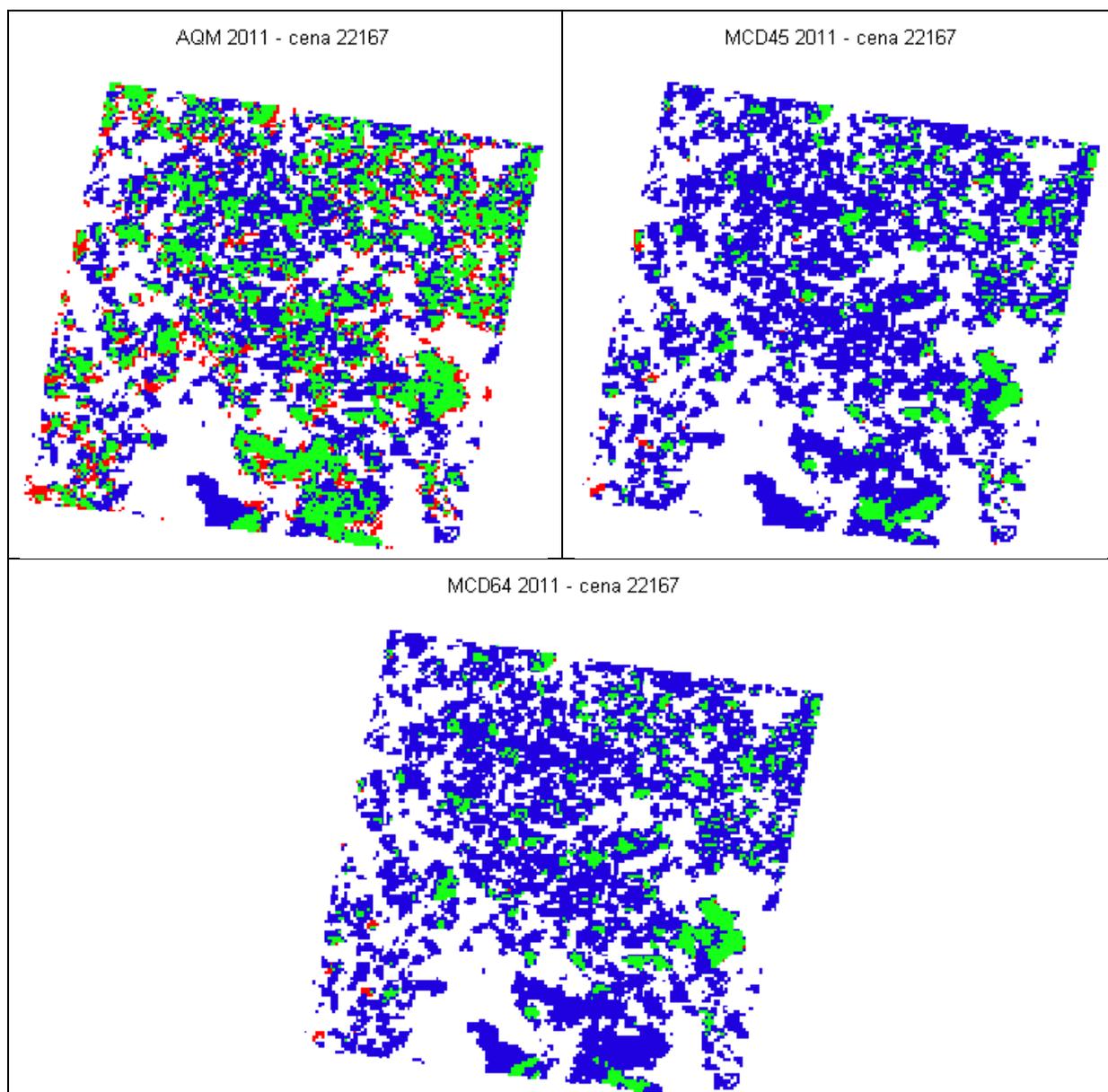
2014	OA	CE	OE	Bias
MCD45	0,95	0,03	0,31	0,68
AQM	0,95	0,21	0,15	1,06

Fonte: Produção do autor.

Nota-se que os produtos oficiais da NASA apresentam erros de comissão (CE) bastante baixos, isto é, fornecem relativamente poucos falsos alarmes de queimada. Esta característica, porém, é alcançada pelo sacrifício de se cometer grandes omissões de queimadas (OE). O produto AQM, por outro lado, apresenta um balanço entre falsos alarmes e omissões. A comparação entre erros de omissão e comissão dos diferentes produtos pode ser mais bem compreendida ao analisarmos os mapas de ocorrência destes erros, conforme as Figuras a seguir. Nestas apresentam-se pixels onde ocorre acerto de área queimada (verde), omissão (azul) e comissão (vermelho) para cada produto e ano. Aqui é possível visualizar que o produto MCD64 e MCD45, apesar de apresentar pouquíssimos falsos alarmes, é pouco eficaz para detectar a maior parte das cicatrizes de queimada. Por outro lado, o produto AQM, mostra-se mais eficiente na detecção da maior parte das cicatrizes, apesar de oferecer um número maior de comissões. Entretanto, é importante mencionar que todos os casos de comissão do algoritmo AQM encontram-se nas bordas das cicatrizes de queimadas. Nenhum caso de comissão é encontrado isoladamente, portanto, as comissões do algoritmo AQM não são necessariamente falsos alarmes, mas sim uma forma de sobrestimativa do tamanho das cicatrizes. Ressalta-se que omissões e comissões também podem ocorrer devido a erros de georeferenciamento. Como utilizamos compostos temporais, basta que uma imagem esteja georeferenciada incorretamente para que o composto também esteja. Isso poderia explicar os erros de omissão e comissão nas bordas das cicatrizes.

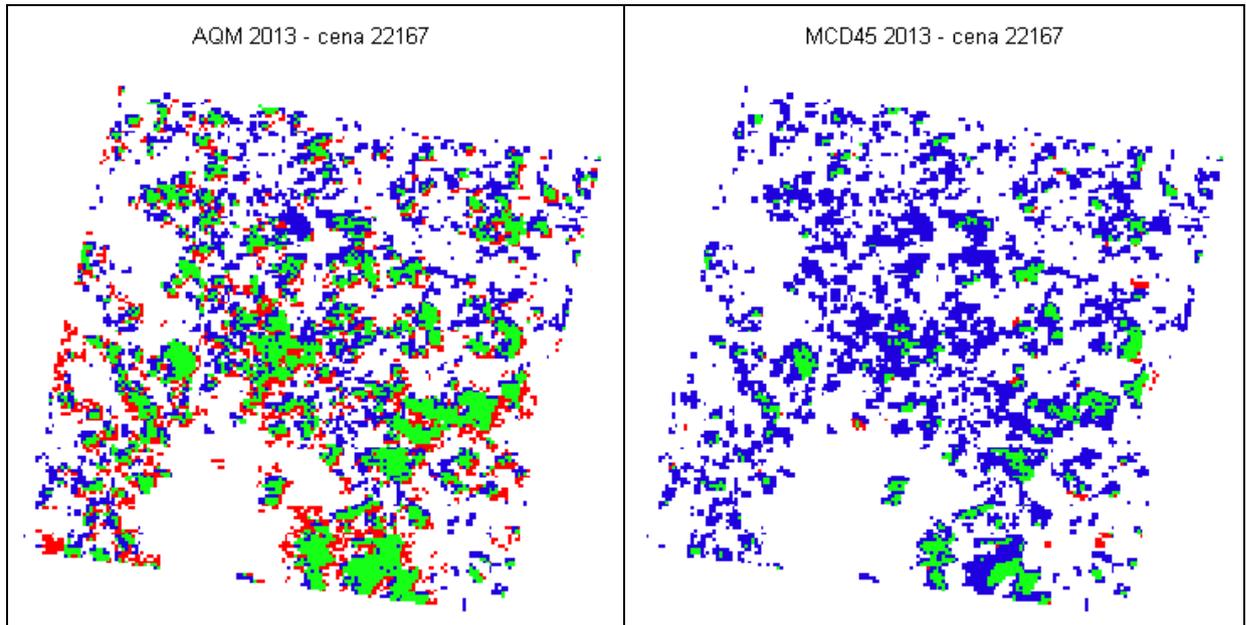
Na região serrana do Rio de Janeiro, todos os produtos foram ineficazes na detecção das áreas queimadas, o que se deve ao fato de se tratar de uma região com topografia elevada.

Figura 4.2.1 – Mapas mostrando pixels onde ocorre acerto de área queimada (verde), omissão (azul) e comissão (vermelho) para AQM (esquerda), MCD45(direita) e MCD64 (centro) para 2011 na região do Jalapão.



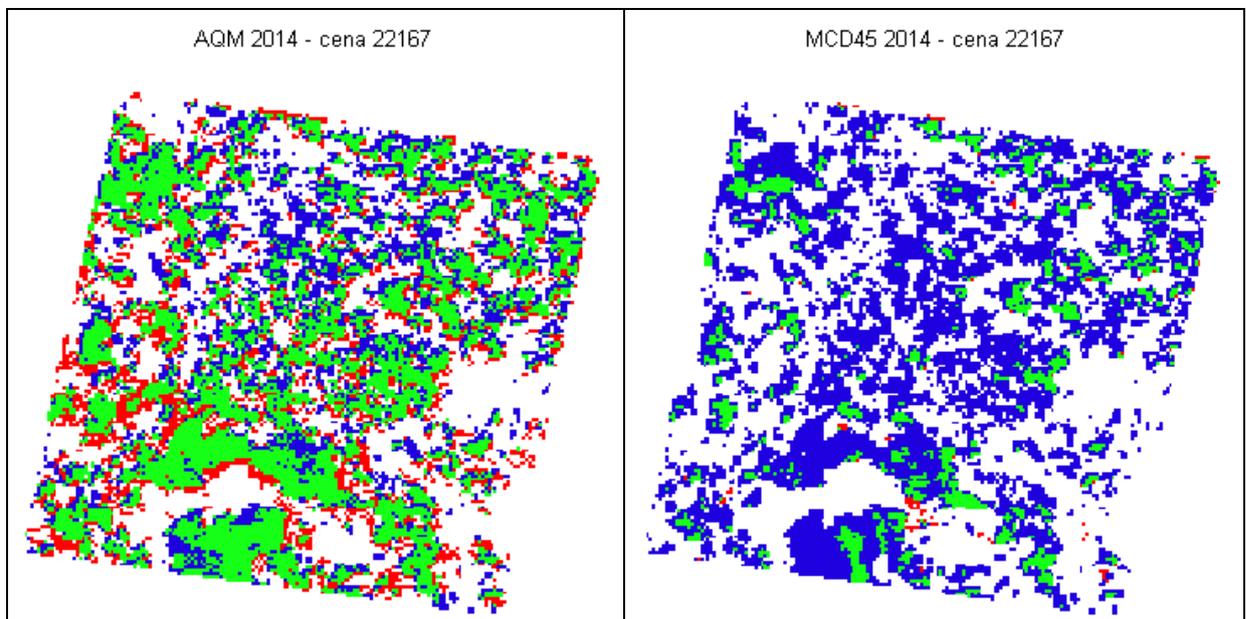
Fonte: Produção do autor.

Figura 4.2.2 – Mapas mostrando pixels onde ocorre acerto de área queimada (verde), omissão (azul) e comissão (vermelho) para AQM (esquerda), MCD45(direita) para 2013 na região do Jalapão.



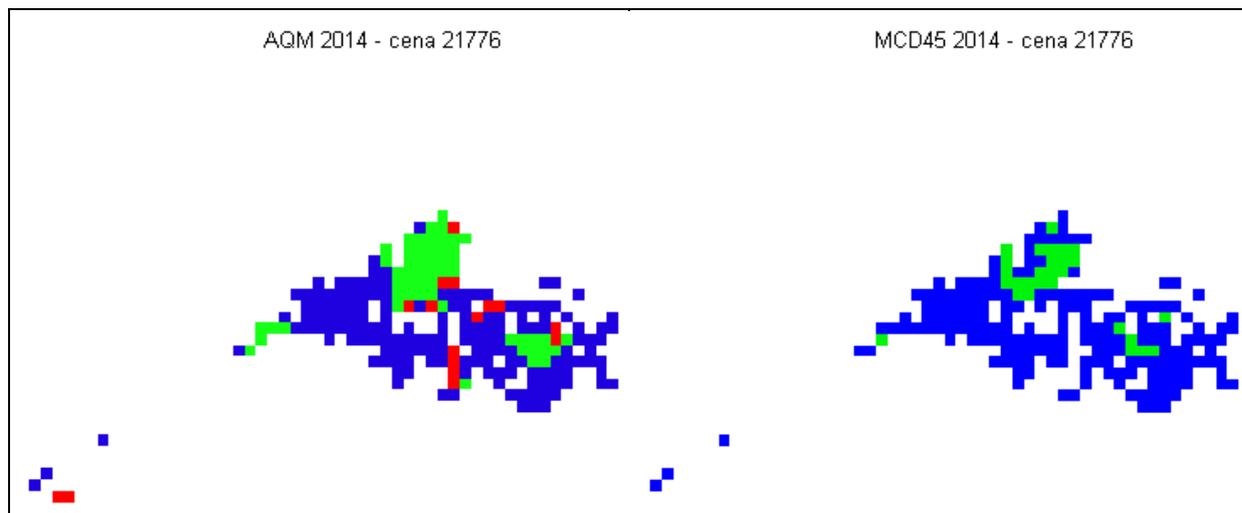
Fonte: Produção do autor.

Figura 4.2.3 – Mapas mostrando pixels onde ocorre acerto de área queimada (verde), omissão (azul) e comissão (vermelho) para AQM (esquerda), MCD45(direita) para 2014 na região do Jalapão.



Fonte: Produção do autor.

Figura 4.2.4 – Mapas mostrando pixels onde ocorre acerto de área queimada (verde), omissão (azul) e comissão (vermelho) para AQM (esquerda), MCD45(direita) para 2014 na região do Rio de Janeiro.



Fonte: Produção do autor.

5. CONCLUSÕES

Considerando o objetivo inicial, de validação de algoritmos automáticos para identificação de áreas queimadas no Brasil, este trabalho alcançou praticamente todas as expectativas.

Etapa 1

Recentemente, três UCs localizadas na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro foram afetadas por um incêndio de grandes proporções, considerado um dos maiores da história. Entretanto, inexistem levantamentos espaciais e temporais do impacto do fogo nestas áreas, apesar da degradação ambiental generalizada deste bioma.

Dentre uma das colaborações dos produtos de área queimada de média resolução, está a realização de validação de produtos de baixa resolução, uma alternativa à ausência de medidas de campo após as ocorrências de fogo.

Os resultados da ETAPA 1 deste trabalho mostram uma estimativa de área queimada nesta região para o evento ocorrido em outubro de 2014. Devido à disponibilidade das imagens Landsat-8 e à presença de alta nebulosidade na região, somente foi possível mapear as áreas queimadas após dois meses do evento.

O uso de índices espectrais em imagens de satélite constitui-se em um importante mecanismo para identificação e mensuração de áreas queimadas. Através dos perímetros queimados obtidos e de suas sobreposições às imagens de satélite em composição RGB 754, pode-se concluir que o Índice de queimadas W adaptado ao sensor OLI, em que a faixa

espectral do MIR é substituída pela faixa do SWIR2, foi capaz de identificar com boa precisão os limites entre a vegetação e a área queimada e com inferior precisão distinguir as áreas queimadas das áreas urbanizadas e de solo.

Os resultados quantitativos indicam um total de quase 3700 hectares de área queimada nestas UCs. É importante considerar a superfície modelada (real) para estimar valores de área com mais precisão, principalmente em regiões onde o relevo é bastante acidentado. Caso contrário, haveria uma subestimação dos valores em 654 hectares ou 18 %.

Por fim, nesta etapa, os resultados das áreas queimadas foram corroborados pela localização espacial dos focos de calor detectados pelo INPE, visto que o levantamento de campo realizado pelas UCs não foi preciso, realizado após 3 meses do evento e sem sobrevoo marcando com GPS a totalidade da área atingida. Todo mapeamento deve ser acompanhado de trabalho de campo, minimizando as estimativas para mais ou para menos.

Etapa 2

Nota-se que os produtos oficiais da NASA apresentam erros de comissão baixos, isto é, fornecem relativamente poucos falsos alarmes de queimada. Esta característica, porém, é alcançada pelo sacrifício de se cometer erros com omissões de queimadas (entre 30 e 70%). O produto AQM, por outro lado, apresenta um balanço entre falsos alarmes e erros de omissão. O produto AQM, mostra-se mais eficiente na detecção da maior parte das cicatrizes, apesar de oferecer um número maior (20 a 40%) de erros de comissões.

Os resultados da avaliação local dependem não só do algoritmo classificador, mas também dos dados utilizados como referência. Por isso é fundamental que os dados de referência sejam confiáveis e englobem o mesmo período de estudo. Além disso, os resultados da avaliação local também são dependentes do regime de fogo. Tendo em conta a resolução espacial de 1 km do produto de área queimada deste projeto, os resultados dos mapas de estimativa de área queimada são limitados a queimadas com extensão próxima ou superior a 1 km². Portanto, num regime de fogo com grandes áreas contíguas queimadas, esperam-se resultados mais confiáveis. Por outro lado, se o regime de fogo tiver muitas áreas pequenas e fragmentadas então as incertezas serão maiores.

Os resultados apresentados neste trabalho servirão para refinamento do algoritmo AQM desenvolvido no INPE, e conseqüentemente para a melhoria das estimativas de área queimada a nível nacional.

BIBLIOGRAFIA

Banco de dados de queimadas – INPE. Queimadas – Monitoramento de Focos. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/bduc.php?LANGUAGE=PT>. Acesso em: janeiro 2015.

BASTARRIKA, A. ; CHUVIECO, E. ; NARTÍN, M. P. (2011). Mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors. *Remote Sensing of Environment* 115, 1003–1012.

BINAGHI, E.; BRIVIO, P.A.; GHEZZI, P.; RAMPINI, A. (1999). A fuzzy set-based accuracy assessment of soft classification. *Pattern Recognit. Lett.* 1999, 20, 935–948.

CHUVIECO, E. (2008). Satellite observation of biomass burning: implications in global change research. In E. Chuvieco (Ed.), *Earth Observation and Global Change* (pp. 109–142). New York: Springer.

CHUVIECO, E. ; MARTÍN, M. P. ; PALACIOS, A. (2002). Assessment of different spectra indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discriminations. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 5103–5110.

CHUVIECO, E.; ENGLEFIELD, P.; TRISCHENKO, A.; LIO, Y. (2008). Generation of long time series of burn area maps of the boreal forest from NOAA-AVHRR composite data. *Int. J. Remote Sens.* 2008, 23, 5103–5110.

Earth Explorer – USGS. (2016). Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso: junho 2016.

GIGLIO, L. ; VAN DER WERF, G. R. ; RANDERSON, J. T. ; COLLATZ, G. J. ; KASIBHATLA, P. S. (2006). Global estimation of burned area using MODIS active fire observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6, 957–974.

HUDAK, A. T. ; BROCKETT, B. H. (2004). Mapping fire scars in a southern african savannah using landsat imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 3231–3243.

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, PP. 672–683.

KLINK, C. AND MACHADO, R.B. (2005). Conservation of the brazilian Cerrado. *Conservation Biology*, 19 (3), 707-713, 2005.

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*, 114, 831–843.

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*, V. 7, P. 15782-15803.

MELCHIORI, A.E. ; CÂNDIDO, P.A. ; LIBONATI, R. ; MORELLI, F. ; SETZER, A.W. ; JESUS, S.C. ; FONSECA, L.M.G. ; KÖRTING, T.S. (2015). Spectral indices and multi-temporal change image detection algorithms for burned area extraction in the Brazilian Cerrado. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil*.

(MMA) Ministério do Meio Ambiente. Mata Atlântica. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atlantica>. Acesso em abril 2016.

PALACIOS-ORUETA, A., CHUVIECO, E., PARRA, A., & CARMONA-MORENO, C. (2005). Biomass burning emissions: a review of models using remote-sensing data. *Environmental Monitoring and Assessment*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 104, 189–209.

PEREIRA, J. M. C. (2007). Sensoriamento remoto de áreas queimadas. Instituto Superior de Agronomia - Universidade Técnica de Lisboa.

ROY, D.P. ; JIN, Y. ; LEWIS, P.E. ; JUSTICE, C.O. (2005). Prototyping a global algorithm for systematic fire-affected area mapping using MODIS time series data. *Remote Sens. Environ.*, 97(2), 137–162.

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. ; BINDSCHADLER, R. ; COHEN, W.B. ; GAO, F. ; HIPPLE, J.D. ; HOSTERT, P. ; HUNTINGTON, J. ; JUSTICE, C.O. ; KILIC, A. ; KOVALSSKY, V. ; LEE, Z.P. ; LYMBURNER, 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.

Smith, A. M. S. ; Drake, N. A. ; Wooster, M. J. ; Hudak, A. T. ; Holden, Z. A. ; Gibbons, C. J. (2007). Production of Landsat ETM+ reference imagery of burned areas within Southern African savannahs: comparison of methods and application to MODIS. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 2753–2775.

THONICKE, K. ; SPESSA, A. ; PRENTICE, I. C. ; HARRISON, S. P. ; DONG, L. ; CARMONA-MORENO, C. (2010). The influence of vegetation, fire spread and fire behaviour on biomass burning and trace gas emissions: Results from a process-based model. *Biogeosciences*, 7, 697–743.

TORRALBO, A.F. ; BENITO, P.M. (2012). Landsat and MODIS Images for Burned Areas Mapping in Galicia, Spain. 93 p. (TRITA-GIT EX 12-006). Master's of Science Thesis in Geoinformatics - Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden.

(USGS) United States Geological Survey. (2015). Using the USGS Landsat 8 Product. Disponível em: http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php. Acesso em: janeiro 2016.

(USGS) United States Geological Survey. (2016). Landsat processing details. Disponível em: http://landsat.usgs.gov/landsat_processing_details.php. Acesso em: abril 2016.

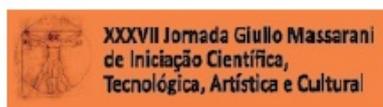
APÊNDICE A – CERTIFICADO DE MELHOR TRABALHO DE SESSÃO JIC/UFRJ/2015

O trabalho intitulado “Mapeamento de áreas queimadas em Unidades de Conservação da Região Serrana do Rio de Janeiro utilizando o satélite Landsat-8” ganhou como melhor trabalho da sessão Meteoro-02 na XXXVII Jornada Giulio Massarani Técnico, Científica, Artística e Cultura (JIC) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em 2015.

Figura A.1 – Certificado de melhor trabalho da sessão Meteoro-02 na JIC/UFRJ/2015



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO



CERTIFICADO DE MELHOR TRABALHO DE SESSÃO

Certificamos que o trabalho “MAPEAMENTO DE ÁREAS QUEIMADAS EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NA REGIÃO SERRANA DO RIO DE JANEIRO UTILIZANDO O SATÉLITE LANDSAT-8” (cod. 1570), de autoria de Julia Abrantes Rodrigues orientado pelos(as) Prof. Leonardo de Faria Peres, Renata Libonati dos Santos, foi escolhido como o melhor trabalho da sessão Meteoro-02, na XXXVII Jornada Giulio Massarani de Iniciação Científica, Tecnológica, Artística e Cultural da Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ em 2015.

Rio de Janeiro, 25 de Novembro de 2015.

Profª Érica Polycarpo
Coordenação JICTAC2015 CCMN



Centro de Ciências
Matemáticas e
da Natureza

APÊNDICE B – CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO DE POSTER

O trabalho intitulado “Mapeamento de áreas queimadas em Unidades de Conservação da Região Serrana do Rio de Janeiro utilizando o satélite Landsat-8” foi apresentado em forma de poster no XIII Encontro de Pesquisadores e VII Encontro de Educação Ambiental do Parque Nacional da Serra dos Órgãos/Teresópolis-RJ em 2015.

Figura B.1 – Certificado de apresentação de poster no XIII Encontro de Pesquisadores e VII Encontro de Educação Ambiental do Parque Nacional da Serra dos Órgãos em 2015

