



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS  
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**MAPEAMENTO DE ÁREAS QUEIMADAS NO BIOMA CERRADO A PARTIR DE  
DADOS MODIS MCD45A1**

FERNANDO MOREIRA DE ARAÚJO

Goiânia  
2010

FERNANDO MOREIRA DE ARAÚJO

**MAPEAMENTO DE ÁREAS QUEIMADAS NO BIOMA CERRADO A PARTIR DE  
DADOS MODIS MCD45A1**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Área de concentração: Natureza e produção do espaço.

Linha de pesquisa: Dinâmica sócio-espacial: urbana, agrária, regional e ambiental.

Orientador: Dr. Laerte Guimarães Ferreira Jr.

Goiânia  
2010

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
GPT/BC/UFG**

A659m Araújo, Fernando Moreira.  
Monitoramento de áreas queimadas no bioma Cerrado a partir de dados MODIS MCD45A1 [manuscrito] / Fernando Moreira de Araújo. - 2010.  
103 f. : il., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, 2010.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras e tabelas.

Apêndices.

1. Cerrado – Queimada – Monitoramento. 2. Queimada - Monitoramento. I. Título.

CDU: 911.3:504

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS (TEDE) NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

**1. Identificação do material bibliográfico:**       **Dissertação**       **Tese**

**2. Identificação da Tese ou Dissertação**

Autor (a):	Fernando Moreira de Araújo		
E-mail:	fernandomsbl@gmail.com		
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	
Vínculo empregatício do autor	Não Possui		
Agência de fomento:	Cons. Nac. de Desenv. Científico e Tecnológico.	Sigla:	CNPq
País:	Brasil	UF: DF	CNPJ: 37.116.704/0001-34
Título:	Monitoramento de áreas queimadas no bioma Cerrado a partir de dados MODIS MCD45A1		
Palavras-chave:	Cerrado, Queimadas, MODIS, MCD45A1.		
Título em outra língua:	Monitoring burned areas in the Cerrado from the data MODIS MCD45A1		
Palavras-chave em outra língua:	Cerrado, Burned Area, MODIS, MCD45A1		
Área de concentração:	Natureza e Produção do Espaço		
Data defesa: (dd/mm/aaaa)	16/12/2010		
Programa de Pós-Graduação:	Geografia - IESA		
Orientador (a):	Laerte Guimarães Ferreira		
E-mail:	laerte@iesa.ufg.br		

\*Necessita do CPF quando não constar no SisPG

**3. Informações de acesso ao documento:**

Concorda com a liberação total do documento  SIM       NÃO<sup>1</sup>

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

Fernando Moreira de Araújo  
Assinatura do (a) autor (a)

Data: 18 / 09 / 2013

<sup>1</sup> Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

FERNANDO MOREIRA DE ARAÚJO

### **MAPEAMENTO DE ÁREAS QUEIMADAS NO BIOMA CERRADO A PARTIR DE DADOS MODIS MCD45A1**

Dissertação defendida no Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, para a obtenção do título de Mestre em Geografia, aprovada em 16 de Dezembro de 2010, pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:

#### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Jr.  
Presidente da Banca - Orientador

---

Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira  
Membro titular interno (IESA/UFG)

---

Prof. Dr. Ricardo Bomfim Machado  
Membro titular externo (UNB)

---

Prof. Dr. Paulo Sobreira  
Suplente (IESA/UFG)

Goiânia  
2010

## DEDICATÓRIA

Á minha família, sem os quais eu não conseguiria realizar minhas vitórias  
A minha amada e querida Janete, por sempre estar ao meu lado me apoiando.

## AGRADECIMENTOS

Às Instituições que viabilizaram essa pesquisa de Curso de Mestrado: Universidade Federal de Goiás (UFG), Instituto de Estudos Sócio-Ambientais (IESA), Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio através da concessão da bolsa de mestrado.

Agradeço de forma bastante especial ao Dr. Laerte Guimarães Ferreira Jr., orientador desta dissertação. Pela amizade, confiança e incentivo a realização desta pesquisa; pela orientação, aprendizado, discussões produtivas e dedicação nos momentos necessários, contribuindo com suas experiências e conhecimentos; e pela oportunidade de realizar o Curso de Mestrado.

À Janete Rêgo Silva pelo apoio imensurável ao longo desses anos, amizade, carinho e alegria por estarmos sempre juntos.

Aos meus companheiros de LAPIG pela grande amizade, apoio e alegria: Luís Eduardo, Prof. Pedro, Marlon, Genival, Carlos, Fanuel, Arielle, Gitair e Murilo.

Em especial para um grande companheiro e irmão Loro, meu papagaio, obrigado pelos bons momentos que passamos juntos, amizade sincera e carinho, nunca esquecerei das nossas alegrias. Logo nos veremos!!!

*“A disciplina é a parte mais importante do sucesso”*

VIII

## RESUMO

O bioma Cerrado por possuir características favoráveis, como solo, relevo e densa rede hidrográfica, para o desenvolvimento de importantes atividades econômicas, como a agricultura e pecuária, vêm sofrendo alto processo de antropização. Juntamente com as atividades antrópicas, a prática da queimada foi potencializada, principalmente para a prática do manejo de pasto, controle de pragas, limpeza de áreas para o plantio agrícola, etc. As queimadas trazem várias consequências para o bioma Cerrado, dentre elas temos o aumento da temperatura, diminuição das chuvas, empobrecimento genético das espécies naturais, aumenta os riscos de doenças respiratórias, etc. Nessa pesquisa, para o mapeamento de áreas queimadas no bioma Cerrado entre 2002 a 2008 foi utilizado o produto MODIS MCD45A1, o qual faz o mapeamento de cicatrizes de queimadas em escala global. Como resultado, temos que as queimadas ocorrem durante todo o ano no bioma Cerrado, atingindo seu ápice entre julho a setembro, período quente e seco com menor índice de umidade relativa do ar. As áreas queimadas localizam em maior proporção na região centro-norte do Cerrado, principalmente nas regiões de expansão da agricultura, nos estados da Bahia, Piauí, Maranhão, Mato Grosso e Tocantins. Contudo, as queimadas, com base no mapeamento do PROBIO Cerrado, ocorrem em maior proporção nas regiões de cobertura vegetal natural (81,7%), sendo que dentre as fitofisionomias mais afetadas são savana arborizada (34,1%) e savana parque (29,7%). Quanto às regiões hidrográficas, como Amazônica, São Francisco, Parnaíba, Paraná e, sobretudo, Tocantins-Araguaia (46,4% das queimadas entre 2002 e 2008 concentraram nessa bacia) foram as mais atingidas pelo efeito do fogo durante a queima de biomassa (material combustível). As queimadas atingiram extensas áreas das Unidades de Conservação (UCs) localizadas no bioma Cerrado, tais como as de uso sustentável e proteção integral, onde as Áreas de Proteção Ambiental (APA) e Parques Nacionais (PN) foram as mais afetadas. Em relação às áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade do Cerrado, as áreas com prioridade extremamente alta obteve os maiores registros de queimadas em seus limites, já as Terras Indígenas, áreas protegidas, foi severamente atingidas pelas queimadas em relação às demais no mesmo período. Quanto à validação dos dados do produto MODIS MCD45A1 área queimada a partir de imagens do satélite LANDSAT TM se mostraram bastantes satisfatórios para o bioma Cerrado, pois, dos 11.126 polígonos de área queimada (MCD45A1) inspecionados visualmente, todos foram rotulados como queimada.

Palavras-Chave: Cerrado, Queimadas, MODIS, MCD45A1.

## ABSTRACT

The Cerrado biome has many favorable characteristics, like soil, relief, and dense hydrography, for the development of mainly economic activity, as agriculture and pasture, this biome has suffered high human disturbance process. Along with human activities, the practice of burning was increased, particularly for the practice of grazing management, pest control, cleaning of areas for agricultural planting and others. The fires have several consequences for the biome, amongst them have increasing of temperature, decreasing rainfall, genetic impoverishment of natural species, increases the risk of respiratory diseases. In this research, for mapping burned areas in the Cerrado biome between 2002 to 2008 was used MCD45A1 MODIS product, which makes the mapping of burn scars globally scale. The result is that fires occur during the year in the Cerrado, reaching its peak between July to September, warm and dry period with the lowest relative humidity. The burned areas are located in larger amounts in the north-central part of the Cerrado, mainly in the expansion of agriculture in the states of Bahia, Piauí, Maranhão, Mato Grosso and Tocantins. However, the fires, based on mapping of the PROBIO Cerrado, occur in greater proportions in regions of natural vegetation cover (81.7%), and among vegetation types most affected are the wooded savanna (34.1%) and savanna parkland (29.7%). As for the river watershed, such as Amazon, San Francisco, Parnaíba, Paraná, and especially Tocantins-Araguaia (46.4% of fires between 2002 and 2008 were concentrated in the watershed) were the hardest hit by the effects of fire during the burning of biomass (combustible material). The fires hit large of Protected Areas (PAs) located in the biome, such as the sustainable use and integral protected areas, where the Environmental Protection Areas (APA) and National Parks (NP) were most affected. In relation to priority areas for conservation of biodiversity in the Cerrado biome the areas with extremely high priority received the greatest records of fires within its limits, as indigenous lands, protected areas, and was severely affected by fires in relation to others in the same period. As for the validation of the data MCD45A1 MODIS product, burned area from LANDSAT TM, satellite images, were quite satisfactory for the Cerrado, because of the area burned 11,126 polygons (MCD45A1) visually inspected, all were labeled as burnt

Key-words: Cerrado, Burned, MODIS, MCD45A1.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Ordenamento da bacia Tocantins-Araguaia (4 em três níveis de Ottobacias (1, 2 e 3 da esquerda para a direita respectivamente).....	24
Figura 2	Discriminação de áreas queimadas através de imagem LANDSAT TM utilizando as bandas 4 (NIR), 5 (MIR) e 3 (RED).....	35
Figura 3	Localização do Bioma Cerrado no território brasileiro.....	36
Figura 4	Localização das cenas MODIS para o território brasileiro e bioma Cerrado.....	42
Figura 5	Tela inicial do MODIS Reprojection Tools (MRT).....	43
Figura 6	Filtragem dos pixels de queimadas ( <i>burndate</i> - A) do produto MCD45A1 com o subproduto <i>ba_qa</i> (B) de confiabilidade alta (1).....	44
Figura 7	Localização das imagens LANDSAT TM utilizadas para validação do dado de área queimada MODIS MCD45A1.....	47
Figura 8	Validação e classificação da ocorrência de área queimada (polígono) discriminada pelo MCD45A1 no bioma Cerrado.....	48
Figura 9	Área desmatada no bioma Cerrado entre 2002 a 2009, segundo a divisão municipal.....	50
Figura 10	Classes de uso da terra e cobertura natural para o bioma Cerrado.....	54
Figura 11	Localização das principais regiões hidrográficas do Brasil e das Ottobacias nível 6 na região do bioma Cerrado.....	55
Figura 12	Distribuição da área queimada (MCD45A1) conforme os principais tipos de cobertura e uso da terra para o bioma Cerrado.....	59
Figura 13	Espacialização da área queimada (MCD45A1) validada no bioma Cerrado correspondente a cena LANDSAT TM 220/74 (órbita/ponto).....	60
Figura 14	Espacialização da área queimada (MCD45A1) validada no bioma Cerrado correspondente a cena LANDSAT TM 221/64 (órbita/ponto).....	61
Figura 15	Espacialização da área queimada (MCD45A1) validada no bioma Cerrado correspondente a cena LANDSAT TM 223/68 (órbita/ponto).....	62
Figura 16	Espacialização da área queimada (MCD45A1) validada no bioma Cerrado correspondente a cena LANDSAT TM 226/70 (órbita/ponto).....	63
Figura 17	Comparação do dado MCD45A1 com área queimada discriminada através de imagem LANDSAT TM.....	64
Figura 18	Correlação da área queimada discriminada através de imagem LANDSAT TM e produto MCD45A1.....	65

Figura 19	Relação entre os alertas de desmatamentos (dados SIAD Cerrado) e área queimada (dados MCD45A1) entre 2002 a 2008 para o bioma Cerrado.....	66
Figura 20	Proporção dos alertas de desmatamentos (SIAD) intersectados com a área queimada e situados até 1 km de uma cicatriz de queimada (MCD45A1) para o período entre 2002 a 2008.....	67
Figura 21	Intersecção de focos de calor total (MOD14 + MYD14) com as cicatrizes de queimada (MCD45A1) e em relação à um buffer de 1 Km em torno das cicatrizes mapeadas para o período entre 2002 a 2008.....	69
Figura 22	Espacialização as áreas queimadas (em vermelho) ocorridas na totalidade do bioma Cerrado, entre 2002 a 2008.....	70
Figura 23	Distribuição da área queimada (MCD45A1), para o período de 2002 a 2008, segundo os Estados brasileiros contidos no Bioma Cerrado.....	71
Figura 24	Distribuição da área queimada total entre 2002 a 2008 por Unidade Federativa inserida no bioma Cerrado.....	72
Figura 25	Área queimada total por município entre 2002 a 2008 no bioma Cerrado.....	73
Figura 26	Proporção de área queimada (em 2002) em relação às regiões de vegetação natural e uso antrópico no bioma Cerrado.....	75
Figura 27	Área queimada total (2002 a 2008) segundo as regiões hidrográficas do Brasil.....	76
Figura 28	Distribuição da área queimada (2002 a 2008) entre as porções das regiões hidrográficas presentes no bioma Cerrado.....	77
Figura 29	Distribuição das áreas queimadas (2002 a 2008) conforme as bacia hidrográficas (Ottobacia nível 6) do bioma Cerrado.....	78
Figura 30	Distribuição da área queimada (dados MCD45A1) entre as áreas de proteção integral e de uso sustentável no bioma Cerrado, no período entre 2002 a 2008.....	79
Figura 31	Distribuição da área queimada (2002 a 2008) em relação às unidades de Proteção Integral no bioma Cerrado.....	80
Figura 32	Espacialização da área queimada total (2002 a 2008) em UCs de Proteção integral localizadas no bioma Cerrado.....	80
Figura 33	Distribuição da área queimada (2002 – 2008) para as unidades de Uso Sustentável no bioma Cerrado.....	81
Figura 34	Espacialização da área queimada total (2002 – 2008) em UCs de Uso Sustentável localizadas no bioma Cerrado.....	82
Figura 35	Distribuição da área queimada (dados MCD45A1) entre as áreas prioritárias e protegidas no bioma Cerrado (2002 a 2008).....	83
Figura 36	Espacialização da área queimada total (2002 a 2008) conforme as Áreas Prioritárias localizadas no bioma Cerrado.....	84

Figura 37	Distribuição da Área queimada total (2002 a 2008) em relação às áreas prioritárias no bioma Cerrado, conforme o grau de prioridade (i.e. alta, extremamente alta e muito alta).....	85
Figura 38	Espacialização da área queimada total (2002 a 2008) conforme as Áreas Protegidas localizadas no bioma Cerrado.....	86
Figura 39	Distribuição da Área queimada total (2002 a 2008) em relação às áreas protegidas no bioma Cerrado.....	87

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Classificação de magnitude das bacias hidrográficas do território Brasileiro segundo Otto Pfafstetter.....	23
Tabela 2	Principais sistemas orbitais para detecção e monitoramento de ocorrência de incêndios.....	29
Tabela 3	Produtos MODIS para aplicações terrestres.....	32
Tabela 4	Imagens LANDSAT TM utilizadas para validação das áreas queimadas registradas pelo MCD45A1 no bioma Cerrado.....	46
Tabela 5	Quantidade de focos de calor registrados pelo MODIS Active Fire entre 2002 a 2008 no bioma Cerrado.....	52
Tabela 6	Unidades de áreas protegidas localizadas no bioma Cerrado.....	57
Tabela 7	Proporção de áreas queimadas por classes de uso e cobertura da terra, conforme as cenas LANDSAT TM utilizadas na validação do produto MCD45A1.....	58
Tabela 8	Municípios com maior discriminação de alertas de desmatamentos (SIAD Cerrado) e de áreas queimadas (MCD45A1) no bioma Cerrado entre 2002 a 2008.....	66
Tabela 9	Intersecção dos dados de focos de calor <i>MODIS Active Fire</i> (MOD14 e MYD14) com a área queimada mapeada pelo produto MCD45A1 entre 2002 a 2008 no bioma Cerrado.....	68
Tabela 10	Área queimada (produto MCD45A1) em todos os biomas brasileiros, entre 2002 a 2008.....	70
Tabela 11	Distribuição da área queimada (dados MCD45A1 - ano 2002) em relação às principais classes de uso da terra e cobertura vegetal natural encontradas no bioma.....	74

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE TABELAS.....	XIV
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>19</b>
2.1- Bacia Hidrográfica – Categoria de Análise.....	19
2.2 – Ottobacias.....	22
2.3 – Queimadas e consequências.....	25
2.4 – Sensoriamento remoto para mapeamento de queimadas.....	28
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>36</b>
3.1 - Descrição e localização da área de estudo.....	36
3.2 – MATERIAIS.....	38
3.2.1 - Produtos orbitais.....	38
3.2.2 - Dados Cartográficos e Temáticos.....	38
3.2.3 - Aplicativos computacionais.....	39
3.3 - MÉTODOS.....	39
3.4 – Metodologia.....	41
3.4.1 - 1º Procedimento.....	41
3.4.2 - 2º Procedimento.....	45
3.4.2.1 - 1ª etapa da Validação MCD45A1.....	45
3.4.2.2 - 2ª etapa da Validação MCD45A1.....	48
3.4.2.2.1 – Sistema Integrado de Alerta de Desmatamento (SIAD).....	49
3.4.2.2.2 – Produtos de Anomalias Termiais (MOD14 e MYD14). ....	51
3.4.3 - 3º Procedimento.....	53
3.4.3.1 – Mapa de uso terra e cobertura vegetal natural do PROBIO Cerrado.....	53
3.4.3.2 – Bacias hidrográficas (Ottobacias Nível 6).....	54
3.4.3.3 – Unidades de conservação.....	56
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>58</b>
4.1. Validação dos dados MCD45A1.....	58
4.1.1. SIAD Cerrado.....	65
4.1.2. Produto de Anomalias Termiais (MOD14 e MYD14).....	68
4.2. Espacialização da área queimada no bioma Cerrado.....	69
4.3. Mapa de uso terra e cobertura vegetal natural do PROBIO Cerrado.....	74
4.4. Bacias hidrográficas (Ottobacias Nível 6).....	75
4.5. Unidades de conservação (UCs).....	78
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>87</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>89</b>

**Apêndice A** - Comparação entre os dados mcd45a1 e “área queimada GIGLIO” ..... 98

**Apêndice B** - Espacialização da área queimada total (2002 a 2008) conforme as áreas prioritárias localizadas no bioma cerrado..... 103

## 1. INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado possui uma área de 2.039.387 km<sup>2</sup>, localizando-se latitudinalmente e longitudinalmente entre as coordenadas 2°34' e 24°68'S e 41°52' e 60°10'W, respectivamente. O seu limite abrange 12 estados do território brasileiro e faz zona de transição com quatro importantes biomas (Amazônia, Caatinga, Mata Atlântica e Pantanal). Esse importante bioma está entre os 34 *hotspots* de biodiversidade no mundo (MYERS ET AL., 2000), tanto por seus aspectos naturais, quanto pela intensa ocupação agropastoril que o transformou na principal fronteira de expansão agrícola brasileira (MIZIARA & FERREIRA, 2008).

A modernização e expansão das atividades agropecuárias na região central do Brasil, através de políticas públicas do governo federal para ocupação dessa região, como o Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados (PRODECER) (GOMES et al., 2004), tiveram várias conseqüências, tais como, o desenvolvimento econômico e social da população. Aliado a esse desenvolvimento, as práticas antrópicas de uso da terra se alavancaram em detrimento da diminuição da cobertura vegetal natural, uma vez que, 39,5% da área total do Cerrado já foram integralmente convertidos (MMA, 2007; SANO et al., 2008), e que as áreas de agricultura e a pastagem ocupam, respectivamente, 10,5% e 26,5% da área total do Cerrado (MMA, 2007; SANO et al., 2008).

Dentre as práticas de manejo e uso da terra no Cerrado está à queimada. No bioma Cerrado, a ocorrência de queimadas vem ocorrendo de forma mais intensificada desde o desenvolvimento da agropecuária, sendo principalmente atribuídas as práticas antrópicas, como o manejo do pasto para criação de bovinos, controle de pragas e de pragas e expansão agrícola (COUTINHO, 1990 apud RIVEIRA-LOMBARDI, 2003; RIVEIRA-LOMBARDI, 2003).

Antes da ocupação antrópica, o relâmpago (raio) era a principal forma natural para a ocorrência de fogo no Cerrado (FRANÇA, 2001a). Contudo, parte da vegetação do Cerrado está adaptada e dependente das queimadas (FRANÇA, 2001b), já que muitas plantas necessitam do fogo para brotar, florescer e propagar, ou seja, desenvolver as sementes, contribuindo de forma decisiva para a manutenção desse ciclo (FRANÇA, 2001a).

Com a queimada, um dos principais efeitos é o aumento significativo da temperatura ambiente, já que a sua intensidade está relacionada à quantidade da massa vegetal

combustível disponível no ambiente (GUIMARÃES, 2000). Das diferentes fitofisionomias que compõe o Cerrado, a vegetação do estrato herbáceo é a mais afetada, representando mais de 90% do combustível consumido (MIRANDA et al., 2004). As regiões atingidas por queimadas ficam suscetíveis a processos erosivos, compactação do solo e invasão de espécies vegetais invasoras (*Melinis minutiflora* ou capim-gordura, *Hyparrhenia rufa* ou capim-jaraguá, etc.).

A estação das queimadas nesse importante bioma inicia-se em maio (final do período chuvoso) e se intensifica entre os meses de agosto e setembro (final da seca), período o qual se registra os menores valores de umidade do ar (< 20%) (FRANÇA, 2001a; RIVEIRA-LOMBARDI, 2003).

Para a análise da ocorrência e quantificação das áreas de queimadas, destaca-se o uso do sensoriamento remoto orbital, o qual permite realizar estudo temporal e espacial da distribuição e do impacto dos incêndios no ambiente. Entre os vários sensores utilizados para a detecção de focos de calor e áreas queimadas (ex. AVHRR, TM, etc), ressalta-se o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), desenvolvido para diferentes análises, dentre elas a detecção de focos e cicatrizes de fogo no território através dos produtos MOD14 e MCD45A1 (área queimada).

Foram desenvolvidos inúmeros estudos para identificação e quantificação de áreas queimadas utilizando e validando os dados MODIS. Para a detecção dessas cicatrizes de queimada é utilizado as bandas do infravermelho próximo, situadas entre 1.24 e 2.13  $\mu\text{m}$ , sensíveis às mudanças da superfície induzidas pelo fogo e pouco afetadas pela fumaça (LI et al, 2004), as quais operam à resolução espacial de 500m. Em relação à detecção de focos de calor, os produtos MOD14 (com base no sensor MODIS a bordo do satélite Terra) e MYD14 (com base no sensor MODIS a bordo do satélite Aqua) utilizam as faixas do espectro centradas em 3.9  $\mu\text{m}$  e 11  $\mu\text{m}$ .

Com o intuito de mapear as áreas de queimadas, o produto MODIS MCD45A1 (dados da coleção 5 - com maior acuidade e precisão radiométrica) apresenta dois subprodutos, *Burndate* e o *Burn quality assessment*. O produto *Burndate* está relacionado à detecção e delimitação das áreas queimadas, enquanto o *Burn quality assessment* valida a qualidade das áreas geradas pelo *burndate*, variando entre 1 a 4, onde 1 valida a área do pixel como queimada, enquanto valores de 2 a 4 indicam pixels de área queimada de menor confiabilidade (ROY et al, 2008). Trabalho recente de Boschetti et al. (2008) indica que os dados gerados pelo MCD45A1 apresentam boa acuidade. Para validação das áreas de

queimadas detectadas pelo sensor MODIS utiliza-se imagens de média resolução espacial, como ASTER (MORISSETE et al, 2005) e/ou LANDSAT (SCHROEDER et al, 2008; LI et al, 2004). Essas duas imagens têm suas vantagens, já que possuem uma resolução espacial de 30m, fácil aquisição e são disponibilizadas gratuitamente.

Especificamente, o objetivo principal dessa dissertação é avaliar a distribuição espacial e temporal das áreas queimadas sobre todo o bioma Cerrado, no período entre 2002 e 2008, conforme identificadas pelo produto MCD45A1, bem como validar estes dados com base em imagens LANDSAT TM, dados de anomalias termais (MOD14 e MYD14) e alertas de desmatamentos gerados através do Sistema Integrado de Alerta de Desmatamentos para o bioma Cerrado (SIAD Cerrado) (Ferreira et al., 2007; Rocha et al., 2010).

## **2 - REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1- Bacia Hidrográfica – Categoria de Análise**

A bacia hidrográfica, no atual contexto mundial voltado para a preservação da vegetação natural e dos recursos hídricos, é de fundamental importância, uma vez que, os processos humanos (dinâmica) e naturais ocorrem nessa unidade de análise. Em uma bacia hidrográfica podemos verificar a ocorrência de vários processos, tais como: erosivos, desmatamentos, poluição dos canais fluviais e freáticos por atividades industriais e agrícolas, entre outros.

A partir da premissa de interação do ser humano com a dinâmica e qualidade fluvial (superficial) dos corpos hídricos temos vários conceitos que levam o caráter físico como preponderante. Segundo Rodrigues & Adami (2005), a bacia hidrográfica é um sistema que abrange um volume de materiais (sólidos e líquidos), delimitada interna e externamente por processos que intervêm no fluxo de matéria e de energia de uma rede de canais fluviais ou rio. Para Silveira (2000), a bacia hidrográfica é uma área de captação natural de água (canal principal e seus tributários), que juntamente com os aspectos naturais do relevo (vertentes [declividade], redes de drenagem e solos), convergem os escoamentos para o exutório.

Silveira (2000) relaciona a bacia hidrográfica como um sistema físico composto pela água precipitada (entrada) e escoada (saída) pelo exutório, levando em consideração fatores como evaporação, transpiração e infiltração, gerando perdas do volume total precipitado na bacia. Entretanto, como uma bacia apresenta ao longo de seu perímetro áreas com

capacidades de infiltração (tipos de solos, cobertura vegetal e declividade), umidades distintas e magnitude de escoamento superficial diferentes ao longo dos seus canais, o volume total do rio principal é influenciado de forma considerável (SILVEIRA, 2000; BESKOW et al., 2009).

Os fatores físicos que atuam diretamente no comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica são: topografia, geologia, geomorfologia, pedologia, temperatura e cobertura da terra (GARCEZ & ALVAREZ, 1999; CHRISTOFOLETTI, 1979, 1999). Como a bacia hidrográfica é um sistema aberto (subsistemas), composta pela interação dos fatores físicos, biológicos e socioeconômicos, os sistemas principais são as vertentes, os canais fluviais (rede de drenagem) e a planície de inundação (RODRIGUES & ADAMI, 2005).

Em relação ao ordenamento das drenagens e magnitude de uma bacia hidrográfica, a metodologia mais conhecida é a de Strahler, proposta no ano de 1952 em um estudo sobre análise hipsométrica de topografia erosional. O método de Strahler, por sua vez, foi baseado na metodologia de Horton (1945, *apud* BORSATO & MARTONI, 2004), pioneiro no ordenamento da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica. O ordenamento de Strahler consiste em classificar cada tributário e o canal principal da bacia da rede de drenagem.

Os afluentes que não recebem nenhuma contribuição hídrica, geralmente as nascentes, são atribuídos o valor um; em seguida, classifica-se uma drenagem em nível dois quando há a confluência de dois canais de nível um; já uma drenagem com ordem três é caracterizada quando dois canais de ordenamento dois se confluem em um único canal (JIANG, 2008). Para classificar os canais em ordem quatro, cinco e assim por diante, segue-se a mesma metodologia, até se definir a ordem do canal principal e conseqüentemente da bacia hidrográfica.

Entre os dois métodos de ordenamento, Strahler e Horton, há uma diferença. Enquanto Horton propõe que o canal principal da rede de drenagem possua a mesma ordem por toda a sua extensão (nascente – exutório), precisando ainda refazer o ordenamento da numeração toda vez que o rio principal confluir com outro rio de ordem superior, enquanto, o ordenamento de Strahler assume que o rio principal e seus afluentes possuem ordenamentos diferentes ao longo de suas extensões (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Além dos aspectos físicos, a bacia hidrográfica sofre influência direta das atividades humanas (agricultura, indústrias, etc), que agem diretamente na qualidade e dinâmica das águas superficiais e subsuperficial (aquíferos) (BONNET et al., 2006, 2008), podendo levar à poluição do sistema hídrico através de práticas de manejo e de uso incorreto do solo,

aumentando, desse modo, à demanda hídrica de qualidade nos centros urbanos, principalmente.

Entretanto, o manejo correto e integrado dos vários fatores que compõe a bacia hidrográfica tem o objetivo de compatibilizar o desenvolvimento/produção juntamente com a preservação ambiental, buscando adequar as práticas antrópicas em relação às características biofísicas das unidades naturais presentes na bacia hídrica, que juntas, sob a forma de gestão integrada e participativa da sociedade, buscam a minimização dos impactos ambientais e desenvolvimento integrado (SOUZA & FERNANDES, 2000).

As ações antrópicas sobre os sistemas hídricos se dão de várias formas (urbanização, desmatamento, reflorestamento, impermeabilização, etc), sendo que uma de suas principais conseqüências são a alteração do escoamento superficial e capacidade de percolação da água, que impacta no comportamento das vazões mínimas e médias dos rios, como também nas condições ambientais a montante e a jusante da bacia hidrográfica (TUCCI, 2002). Segundo Tucci (2002), as alterações de uso e manejo do solo que ocorrem na bacia hidrográfica podem ser classificadas sob três formas: tipo de mudança (desmatamento, reflorestamento e impermeabilização); tipo de uso da superfície (urbanização, etc.) e forma de desmatamento (queimada, manual e equipamentos).

Dentre os tipos de uso da superfície, a urbanização, principalmente quando se faz de forma desordenada, altera os elementos que compõe do ciclo hidrológico, já que com a retirada da cobertura vegetal natural, parte desse solo é impermeabilizado pelas edificações e pavimentos, medidas as quais reduz a infiltração da água no solo, aumentando o escoamento superficial e diminuindo o escoamento subterrâneo, bem como a redução da evapotranspiração (TUCCI, 2002).

Desse modo, fica claro o quanto é importante à compatibilização do planejamento e gestão dos recursos hídricos através do uso e manejo correto dos recursos naturais e das práticas antrópicas que compõe a bacia hidrográfica, mesmo porque, os problemas ambientais ocorrem localmente nesse limite natural. Portanto, as bacias hidrográficas integram de forma conjunta as condições naturais e as atividades humanas exercidas em cada região da bacia (sub-bacias), pois qualquer mudança significativa pode alterar e/ou impactar a jusante, seja na qualidade, disponibilidade, escoamento superficial, percolação e/ou descarga da água, entre outros impactos (GUERRA, 2006).

Partindo dessa premissa juntamente com as diretrizes da Agência Nacional das Águas (ANA) e a Lei Federal nº 9.433 (1997), e com a Política Nacional de Recursos Hídricos

(PNRH), que institucionalizaram a bacia hidrográfica como unidade principal da gestão dos recursos hídricos no Brasil para o planejamento ambiental e territorial (BRASIL, 1997), aliando-se com os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) regionais e locais, o gerenciamento dos recursos hídricos se fará presente de forma integrada entre as esferas federais e estaduais nos limites municipais, pois é o município que tem a competência de ordenar o uso e ocupação do solo (NASCIMENTO & VILAÇA, 2008; VILAÇA, 2009).

Segundo NASCIMENTO & VILAÇA (2008), a bacia hidrográfica é aceita mundialmente como unidade de planejamento, gerenciamento, otimização dos múltiplos usos do solo e de desenvolvimento sustentável, constituindo um sistema natural com delimitação geográfica concisa.

## 2.2 – Ottobacias

O engenheiro Otto Pfafstetter apresentou, em 1989, um método de classificação e ordenamento para bacias hidrográficas, no qual foi proposto o limite das principais bacias com as suas respectivas redes de drenagem para o território brasileiro e América do sul, sendo que essa mesma metodologia foi utilizada para o ordenamento das principais bacias a nível mundial.

No Brasil, a Agência Nacional das águas (ANA) utiliza o método de Ottobacias proposto por Otto Pfafstetter, a qual desenvolveu a metodologia para construção da base ottocodificada para suporte a gestão em seus processos internos. A base elaborada é ajustada para compatibilização com outros bancos de dados geográficos existentes no Brasil, tais como a do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (ANA, 2006; TEIXEIRA et al., 2007). A ANA, atualmente, disponibiliza em sua página web<sup>1</sup>, em formato vetorial (shapefile), seis níveis de Ottobacias codificadas para todo território brasileiro, sendo que no primeiro nível são apresentadas as 12 grandes regiões hidrográficas do Brasil e no sexto nível, temos as bacias hidrográficas a nível local ou municipal.

A metodologia empregada por Otto Pfafstetter permite hierarquizar as bacias hidrográficas e a rede hidrográfica em relação ao grau de importância. Para tanto, foi utilizado sistema decimal para a realização desse ordenamento (ANA, 2006), o qual consiste na divisão entre os números pares e ímpares, onde, os números 2, 4, 6 e 8 estão reservados a rios de maior importância dentro de determinado nível de ramificação, enquanto os números 1, 3, 5, 7

---

<sup>1</sup> <http://www2.ana.gov.br>

e 9 determinam as interbacias (menor importância), já que essa classificação é realizada da jusante para a montante da bacia em análise (PFAFSTETTER, 1989).

Com base nessa metodologia para hierarquizar a magnitude e importância dos afluentes de uma bacia hidrográfica, Pfafstetter (1989) delimitou as principais bacias e interbacias para a América do Sul e para o território brasileiro (Tabela 1), sendo elas: Amazonas, Tocantins-Araguaia, São Francisco e Paraná.

Tabela 1 – Classificação de magnitude das bacias hidrográficas do território Brasileiro segundo Otto Pfafstetter.

<b>Bacias Principais</b>	
<b>Ordem</b>	<b>Bacia Hidrográfica</b>
2	Amazonas
4	Tocantins-Araguaia
6	São Francisco
8	Paraná
<b>Interbacias</b>	
1	Atlântico Norte
3	Atlântico da Ilha de Marajó
5	Atlântico Nordeste
7	Atlântico Leste
9	Atlântico sul

Para definir a importância hídrica de cada tributário da bacia, Pfafstetter (1989) propõe identificar a área de abrangência de cada canal, para então definir as quatro maiores bacias, já que geralmente quanto maior a área da bacia, maior é o deflúvio (escoamento superficial). No entanto, o método correto para identificar as bacias de maior importância dentro de um determinado nível seria medir a carga fluvial anual, o que inviabilizaria a classificação, já que são milhares de canais fluviais que compõem o território brasileiro.

A partir da identificação das quatro principais bacias hidrográficas e com os seus respectivos rios principais, é atribuído novamente os números 2, 4, 6 e 8 de jusante para montante, independente do nível de classificação, definindo assim, os afluentes principais do canal principal através da bifurcação fluvial, onde, o canal principal possui uma maior área de drenagem, enquanto o afluente uma menor área de contribuição (PFAFSTETTER, 1989) (Figura 1).

No entanto, todos os afluentes de menor contribuição de um rio principal, serão agrupados em cinco classes de interbacias, as quais serão numeradas da jusante (exutório) para a montante (nascente) na seguinte ordem de números ímpares: 1, 3, 5, 7 e 9 (PFAFSTETTER, 1989). A delimitação e divisão das bacias principais (algarismos pares) com as interbacias (algarismos ímpares) ocorre por meio dos divisores de água, sendo que as bacias parciais que se encontram na cabeceira das bacias hidrográficas serão uma interbacia de algarismo nove, pois se encontra depois do último afluente de importância (8) da bacia em estudo.

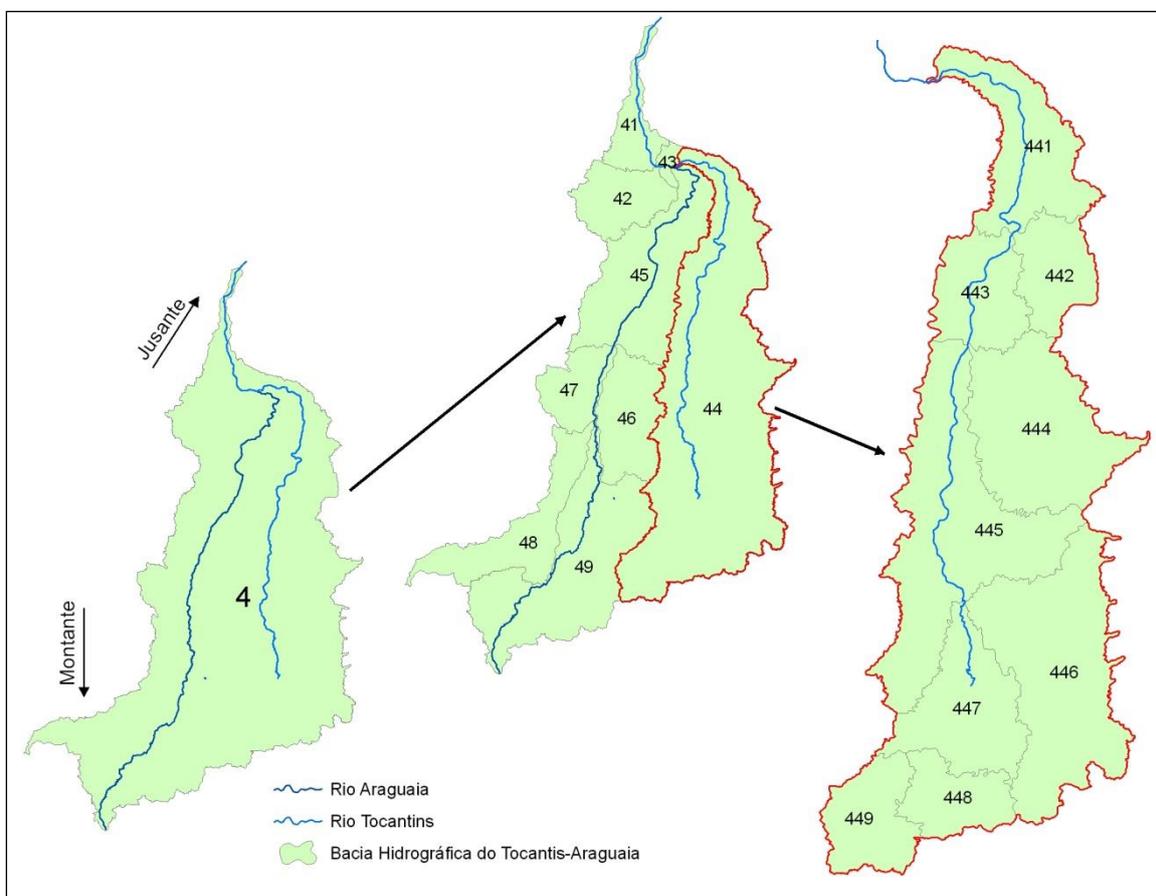


Figura 1 – Ordenamento da bacia Tocantins-Araguaia (4 em três níveis de Ottobacias (1, 2 e 3 da esquerda para a direita respectivamente)).

Além dos nove algarismos apresentados para designar a magnitude dos afluentes, acrescenta-se o número zero à direita do primeiro numeral para representar uma bacia hidrográfica global, independentemente do nível de classificação de análise. Assim, uma bacia ou uma interbacia que apresente número zero no seu ordenamento caracteriza que a drenagem superficial estará escoando para o mar.

### 2.3 – Queimadas e consequências

A utilização do fogo no manejo das práticas antrópicas está bastante consolidada, principalmente quando se trata de atividades agrícolas e de pecuária para abertura e/ou consolidação de novas áreas desmatadas. No entanto, a prática de uso do fogo para auxílio em determinadas atividades do ser humano é antiga, uma vez que a utilização das queimadas na região central do território brasileiro é de aproximadamente 32.000 anos através do homem primitivo, conforme Guidon e Delibrias, 1986, citado por Riveira-Lombardi (2003).

Trabalhos como o de Coutinho (1981) e Berger & Libby (1966), conforme Coutinho (1994), evidenciam que a prática das queimadas na região do Cerrado brasileiro é bastante antiga. Datações, através do método do C<sub>14</sub>, indicam amostras de carvões vegetais com idade de 8.600 anos na região do Parque das Emas.

Na região do Brasil central, a ocorrência de fogo/queimadas vem ocorrendo de forma mais intensificada desde o desenvolvimento da agropecuária nas três últimas décadas do século XX, sendo principalmente vinculadas às práticas antrópicas (RIVEIRA-LOMBARDI, 2003), e de manejo do pasto para criação de bovinos (COUTINHO, 1990 apud RIVEIRA-LOMBARDI, 2003). Em relação ao manejo e renovação de pastagens na região do Cerrado durante período seco, a queimada é utilizada para estimular a rebrota da forragem, pois é mais fresca e palatável para o gado (COUTINHO, 1980; KRUG, 2004; PIVELLO, 1992; 1996; PIVELLO & COUTINHO, 1996; RAMOS-NETO & PIVELLO, 2000)

Coutinho (1990) conforme Riveira-Lombardi (2003), coloca que a expansão agrícola é outra importante atividade causadora de queimadas, já que é uma atividade controlada e incorporada ao sistema de produção. A utilização das queimadas no sistema agrícola ocorre, sobretudo, vinculada à retirada de resíduos de colheitas, como é o caso da palha da cana-de-açúcar (MIRANDA et al., 1993). Dentre outros eminentes problemas que as queimadas através de manejos incorretos podem trazer ao meio ambiente, referente ao meio físico e biótico, são as erosões, compactação do solo e invasão de espécies vegetais invasoras (ZANINI & DINIZ, 2006).

O solo sem a cobertura vegetal (gramíneas, etc) fica vulnerável a ação da chuva, favorecendo, desse modo, o escoamento superficial, diminuição da percolação da água, e a degradação de pastagens através de queimadas sucessivas em curto espaço temporal (anualmente) e diminuição da matéria orgânica (ZANINI & DINIZ, 2006). Em relação às espécies invasoras que ganham espaço em relação às herbáceas nativas, Pivello (2006) coloca

que as principais espécies exóticas no Cerrado são gramíneas de origem africana, sendo a *Melinis minutiflora* (capim-gordura), *Hyparrhenia rufa* (capim-jaraguá), *Panicum maximum* (capim-colonião) e *Brachiaria* spp. (braquiárias).

O fator preocupante da substituição de gramíneas naturais por espécies invasoras no Cerrado, especialmente nas unidades de conservação, se deve pela intensidade do fogo durante a queimada, já que essas produzem grande quantidade de biomassa bastante inflamável, aumentando consideravelmente os riscos de incêndios durante a estação seca (PIVELLO, 1999a; 1999b; 2006; 2008). As espécies exóticas mais comuns na região do Cerrado são *Melinis minutiflora* (capim-gordura) e *Brachiaria decumbens*, as quais são bastante resistentes aos efeitos do fogo e altamente prejudiciais ao desenvolvimento e disseminação das herbáceas naturais (PIVELLO, 1999a; 1999b; 2006; 2008)

Boa parte da vegetação do Cerrado está adaptada e dependente das queimadas (FRANÇA, 2001b), já que muitas plantas necessitam do fogo para brotar, florescer e propagar, ou seja, desenvolver as sementes, contribuindo de forma decisiva para a manutenção desse ciclo (FRANÇA, 2001a; CASTRO-NEVES, 2007; COUTINHO, 1978). A dinâmica de nutrientes para as plantas do Cerrado é altamente influenciada pelo fogo, já que as queimadas com intervalos sucessivos de três anos são adequadas para promover a reciclagem dos nutrientes sem empobrecimento dos macronutrientes (PIVELLO, 1992; PIVELLO, 1996; WALTER, 2006;).

Com a queimada, um dos principais efeitos é o aumento significativo da temperatura, já que a sua intensidade depende da quantidade da massa vegetal combustível (GUIMARÃES, 2000). Das diferentes fitofisionomias que compõe o Cerrado, a vegetação do estrato herbáceo é a mais afetada, representando mais de 90% do combustível consumido (MIRANDA et al., 2004).

A estação de focos de calor/queimadas nesse importante bioma inicia-se em maio (final do período chuvoso) e se intensifica entre os meses de agosto e setembro (final da seca), período o qual se registra os menores valores de umidade do ar (< 20%) (FRANÇA, 2001a; RIVEIRA-LOMBARDI, 2003; EITEN, 1994). Dados levantados através da página do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC – INPE), o qual levanta a partir das imagens termais dados de focos de calor<sup>2</sup>, informam que entre maio/2008 e maio/2009 foram detectados pelo sensor MODIS cerca de 32.001 focos no Cerrado, e os meses de agosto

---

<sup>2</sup> Dados disponibilizados gratuitamente em: <http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/>.

(6.749 focos) e setembro (9.808 focos) atingiram os maiores picos de incidência, com 75,6% dos focos registrados em áreas de vegetação remanescente (NASCIMENTO et al., 2009).

Com grande concentração de focos de calor (princípio de extensas áreas queimadas) na região central do Brasil, sobretudo nos limites do Cerrado, a saúde pública e o meio ambiente ficam bastante comprometidos, já que a concentração de queimadas ocorre justamente no período mais seco e quente do ano (junho a setembro). As queimadas apresentam diferentes efeitos deletérios à saúde e meio ambiente devido às distintas propriedades da biomassa (massa total, densidade, umidade, velocidade do vento, etc) durante a queima, desse modo, as emissões de gases e partículas são bastante variadas de lugar para lugar (YAMASOE *et al.*, 2000; RIBEIRO & ASSUNÇÃO, 2002).

As emissões e efeitos da queima de biomassa entre os biomas brasileiros são distintas, sendo que na região do Cerrado, dependendo da fase da combustão e do tipo da fitofisionomia, têm-se modelos definidos de emissões. Por outro lado, em regiões de florestas tropicais, como a Amazônica, devido à diversidade e porte das espécies vegetais (árvores grossas, folhas e galhos finos, etc.), que exigem maior tempo para queimarem, fator que está relacionado ao período de secagem (umidade) e queima (intensidade), torna-se complexo definir padrões de emissão (YAMASOE *et al.*, 2000; RIBEIRO & ASSUNÇÃO, 2002).

Durante a queimada ocorre a formação de vários poluentes nocivos à saúde humana, tais como material particulado em suspensão no ar (partículas finas e grossas); ácidos inorgânicos (monóxido de carbono ozônio, dióxido de nitrogênio, etc); hidrocarbonetos (benzeno), e outros (ARBEX et al., 2004). Os efeitos da queima de biomassa podem ser analisados sob duas formas, ambiente fechado e aberto, sendo que nesse último, devido às grandes extensões (área) e intensidade de ocorrência, efeitos adversos a saúde podem ser potencializados, como a redução de fotossíntese (diminuição da cultura agrícola), e/ou bloqueio dos raios ultravioletas A e B, potencializando aumento das larvas de mosquitos transmissores de doenças (ARBEX et al., 2004; MIMS, 1997).

De fato, os sintomas respiratórios (doenças cardiorrespiratórias como asma, laringite, sinusite, etc.), durante o período seco e quente, potencializada com a ocorrência de queimadas devido ao aumento da temperatura e de partículas suspensas no ar, são agravados, atingindo, sobretudo, asmáticos, crianças e idosos, aumentando consideravelmente os serviços de saúde (MASCARENHAS, 2008; ARBEX et al., 2004; RIBEIRO, 2008).

Os efeitos das queimadas na saúde humana atingem principalmente as populações residentes próximas da região da queima de biomassa. No Brasil, áreas de plantio de cana-de-

açúcar, como na região de São Paulo (maior produtor de cana), onde a safra da cana se situa entre maio a novembro, justamente o período com menor índice de chuva em detrimento do aumento do ar seco e quente, é justamente o período com maiores índices de internações hospitalares por doenças respiratórias, chegando a aumentar as internações em três vezes em comparação ao período chuvoso (LOPES & RIBEIRO, 2006; CANÇADO, 2003; RIBEIRO, 2008).

#### **2.4 – Sensoriamento remoto para mapeamento de queimadas**

O sensoriamento remoto é uma importante ferramenta que nos permite analisar e monitorar sistematicamente mudanças ambientais ao longo de uma série histórica (recorte temporal), permitindo, de fato, acompanhar a evolução de determinados fenômenos. Sendo assim, com auxílio do sensoriamento remoto foram desenvolvidas várias linhas de pesquisas, tal como o monitoramento de uso e cobertura vegetal nos mais variados ecossistemas do mundo, sendo que a sua utilização operacional e sistemática pela sociedade civil ocorreu somente a partir da década de 1970 com imagens de satélite, tais como LANDSAT (JENSEN, 2009).

Juntamente com o desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), que estão ligados aos princípios da cartografia, o sensoriamento remoto possui um papel fundamental no mapeamento dos fenômenos geográficos, devido a sua possibilidade de análise de séries temporais consistentes e acuidade dos dados obtidos.

Com o avanço tecnológico dos sensores orbitais, aliado com as geotecnologias, tornou-se possível verificar como as ações humanas moldam o meio ambiente ao seu redor e, concomitantemente, embasar melhor a tomada de decisões públicas, as quais dependem do levantamento e análise de dados (cobertura vegetal, ocupação antrópica, etc.) para auxílio na formulação de mitigações.

Em relação às queimadas, o monitoramento sistemático se torna imprescindível para ações de prevenção e combate à incêndios, assim como, traçar metas no planejamento para controle e gerenciamento eficiente nos anos seguintes (PIROMAL et al., 2008).

Há vários sistemas orbitais que fazem a detecção de focos de calor, tais como NOAA-AVHRR, MODIS, LANDSAT-TM, GOES, etc. Cada um destes sistemas possui distintas características, como resolução espacial, temporal, espectral e radiométrica, as quais, por sua vez, interferem decisivamente na qualidade do dado para a detecção, podendo levar a

superestimar (erro de comissão) ou subestimar (erro de omissão) a área queimada mapeada. Na tabela 2 temos as diferentes características (resolução temporal, espacial, bandas no visível e infravermelho-médio, e infravermelho termal) dos principais sistemas orbitais para detecção e monitoramento de focos de calor e cicatrizes de queimada no mundo.

Tabela 2 – principais sistemas orbitais para detecção e monitoramento de ocorrência de incêndios.

<b>Sistemas (e informações adicionais)</b>	<b>Resolução Temporal</b>	<b>Resolução Espacial (km)</b>	<b>Bandas VIS-MIR (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Bandas TIR (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
<i>Advanced Along Track Scanning Radiometer</i> <a href="http://www.le.ac.uk/ph/research/eos/aatst/">http://www.le.ac.uk/ph/research/eos/aatst/</a>	2 days	1.00	0.56, 0.66, 0.86, 1.6	3.7, 11, 12
<i>Advanced Land Imager</i> <a href="http://eo1.gsfc.nasa.gov/Technology/ALHome1.htm">http://eo1.gsfc.nasa.gov/Technology/ALHome1.htm</a>	16 days	0.010–0.09	0.44, 0.48, 0.56, 0.64, 0.79, 0.87, 1.25, 1.65, 2.23	
<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer</i> <a href="http://asterweb.jpl.nasa.gov/">http://asterweb.jpl.nasa.gov/</a>	16 days	0.015–0.09	0.56, 0.66, 0.82, 1.65, 2.17, 2.21, 2.26, 2.33, 2.34	8.3, 8.65, 9.1, 10.6, 11.3
<i>Along Track Scanning Radiometer</i> <a href="http://www.atsr.rl.ac.uk/">http://www.atsr.rl.ac.uk/</a>	3 days	1.00	0.55, 0.67, 0.87, 1.6	3.7, 10.8, 12
<i>Advanced Very High Resolution Radiometer</i> <a href="http://www.nesdis.noaa.gov/">http://www.nesdis.noaa.gov/</a>	4 daily	1.10	0.63, 0.91, 1.61	3.74, 11, 12
<i>Hot Spot Recognition Sensor System</i> <a href="http://www.itc.nl/research/products/sensordb/getsen.aspx?name=HSRS">http://www.itc.nl/research/products/sensordb/getsen.aspx?name=HSRS</a>		0.37		3.8, 8.9
<i>Hyperion</i> <a href="http://eo1.gsfc.nasa.gov/technology/hyperion.html">http://eo1.gsfc.nasa.gov/technology/hyperion.html</a>	16 days	0.03	[220 bands: 0.38–2.5 $\mu\text{m}$ ]	
<i>IKONOS</i> <a href="http://www.spaceimaging.com/">http://www.spaceimaging.com/</a>	3 days	0.001–0.004	0.48, 0.55, 0.67, 0.81	
<i>Indian Remote Sensing-1A,B</i> <a href="http://www.isro.org/">http://www.isro.org/</a>	22 days	0.036–0.072	0.55, 0.65, 0.83	
<i>Indian Remote Sensing-1B,C</i> <a href="http://www.isro.org/">http://www.isro.org/</a>	24 days	0.023–0.188		
<i>Landsat 5, 7</i> <a href="http://landsat.gsfc.nasa.gov/">http://landsat.gsfc.nasa.gov/</a>	16 days	0.015–0.09	0.48, 0.56, 0.66, 0.85, 1.65, 2.17	11.5
<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i> <a href="http://modis.gsfc.nasa.gov/">http://modis.gsfc.nasa.gov/</a>	4 daily	0.25–1.0	19 bands	16 bands
<i>Quickbird</i> <a href="http://directory.eoportal.org/pres_QUICKBIRD2.html">http://directory.eoportal.org/pres_QUICKBIRD2.html</a>	1–5 days	0.001–0.004	0.48, 0.56, 0.66, 0.83	

<b>Sistemas (e informações adicionais)</b>	<b>Resolução Temporal</b>	<b>Resolução Espacial (km)</b>	<b>Bandas VIS-MIR (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>TIR bands (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
<i>VEGETATION</i> <a href="http://www.spot-vegetation.com/">http://www.spot-vegetation.com/</a>	1 daily	1.15	0.55, 0.65, 0.84, 1.62	

Fonte: LENTILE et al., 2006.

Os dados da tabela 2 nos mostram diferenças e semelhanças entre os diferentes sensores orbitais, mas nos dados do campo bandas VIS-MIR (visível e infravermelho médio) temos bastantes semelhanças nos comprimentos de ondas para detecção de fogo ou cicatriz de queimada entre os sensores, ainda que o número de bandas disponíveis para tal mapeamento varie. Como exemplo, temos o *Quickbird* com alta resolução espacial utilizando comprimentos de onda semelhante ao *LANDSAT 5 e 7* (alta resolução espacial) e *IKONOS* (alta resolução espacial).

Como as queimadas ocorrem de forma bastante distribuída longitudinalmente no território e em lugares de difícil acesso, a utilização de imagens de sensores com resolução espacial moderada e alta resolução temporal, são amplamente utilizadas em relação a imagens de satélite de alta resolução espacial, haja vista que a pequena área mapeada (alta diferenciação dos alvos) demanda maior quantidade de imagens para compor o mosaico da paisagem a ser analisada, alto custo financeiro de aquisição dependendo da imagem. Da mesma forma, a baixa resolução temporal aumenta a probabilidade de incidência de nuvens, como no caso da imagem *LANDSAT* (resolução temporal de 16 dias) (RIVERA-LOMBARDI, 2009).

Por outro lado, imagens com resolução moderada à pequena, como é o caso daquelas obtidas através dos sensores Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (*MODIS*) e Advanced Very High Resolution Radiometer (*AVHRR*), além de serem gratuitas, possuem alta resolução temporal (1 a 4 dias) e boa resolução radiométrica, possibilitando mapeamentos rápidos e confiáveis para monitoramento e elaboração de estratégias e diretrizes de mitigação, como é o caso das queimadas, que ocorrem exponencialmente durante a estação seca (baixos níveis de umidade) e quente em relação ao período chuvoso, principalmente na região do Cerrado que está localizado no Brasil central.

França & Seltzer (2001) utilizaram os dados do *AVHRR*, com resolução espacial de 1.1 Km, para monitoramento de cicatrizes de queimada no Parque Nacional das Emas, onde usaram as bandas 1 (0.6  $\mu\text{m}$ ), 2 (0.9  $\mu\text{m}$ ) e 3 (3.7 $\mu\text{m}$ ), posteriormente comparadas com

imagens LANSAT TM (resolução espacial de 30 m). Nessa análise, França & Seltzer (2001) notaram que mesmo com uma grande diferença de resolução espacial entre os dois sensores, o AVHRR subestimou a cicatriz de fogo em apenas 15.7% em relação à imagem LANDSAT TM, e que a banda 3 (3.7 $\mu$ m) é a melhor para detecção de cicatrizes em comparação com as outras faixas espectrais analisadas.

Em outra análise utilizando dados AVHRR/NOAA-14, França (2001) quantificou a área queimada no Cerrado a partir do número de focos de calor obtidos pelo NOAA-12 através de algoritmo que utiliza dados da banda 3 (3,55 – 3,93  $\mu$ m) e do IVDN (Índice de Vegetação de Diferença Normalizada). Com base nas imagens LANDSAT TM, utilizadas para a validação dos dados, França (2001) obteve resultados satisfatórios, pois conseguiu estimar a área queimada no Cerrado com o dado do AVHRR com erro inferior a 15% e identificar 94% das queimadas no período analisado.

Além da utilização dos dados do AVHRR-NOAA para monitoramento de queimada, temos pesquisas consistentes utilizando informações de outros sensores em diferentes lugares da terra, como o SPOT Vegetation, o qual foi utilizado em estudos na região da Austrália (STROPPIANA et al., 2003a; STROPPIANA et al., 2003b), florestas boreais (FRASER et al., 2000; FRASER & LI, 2002; GERARD et al., 2003.) e em escala mundial, quantificando a cicatriz de queimada sobre os diferentes tipos de uso antrópico e de vegetação natural de todos continentes. Segundo TANSEY et al. (2004), a área queimada no ano 2000 chega a estimativa de 3.5 milhões Km<sup>2</sup>, com 80% concentrados em regiões arbustivas, 17% em áreas de pastagens e agricultura e 3% em áreas florestais. Outro ponto interessante desse trabalho é a utilização dos dados UMD (University of Maryland) com resolução espacial de 1 km, confrontando-os com dados SPOT Vegetation, os quais foram validados com base em imagens LANDSAT TM. É de consenso entre os autores dos artigos citados que a banda do infravermelho de ondas curtas (SWIR), situada no espectro entre os intervalos de 1.58 – 1.75  $\mu$ m, apresenta melhor discriminação das áreas queimadas em relação a outros alvos presente na análise.

A análise de Tansey et al. (2004) corrobora os dados obtidos por Roy et al. (2008) no Brasil, os quais utilizaram dados do sensor MODIS, produto MCD45A1, voltado para o mapeamento de área queimada (*burned area*). Estas duas análises informam que, dentre os cinco biomas brasileiros, o Cerrado é o mais afetado pelas queimadas ao longo do ano, e que as queimadas se concentram entre os meses de junho a setembro, período quente, seco e com baixo índice de precipitações pluviométricas, e que, as vegetações arborescentes (*woodland e*

*savana grassland*) são as mais atingidas, já que 67% das cicatrizes mapeadas pelo SPOT Vegetation estão localizadas nesses dois tipos de fitofisionomias.

Dentre os sensores orbitais citados, o sensor MODIS está entre os principais, o que se deve à alta confiabilidade dos dados gerados, sobretudo os da coleção 5, coleção a qual apresenta melhorias significantes em relação a anterior (coleção 4), como resolução radiométrica, correção atmosférica, redução da interferência de nuvens, etc (BOSCHETTI et al., 2009; FRIEDL et al., 2010).

O sensor MODIS foi desenvolvido para diferentes análises, e dentre elas temos os produtos para aplicações terrestres (*MODLAND*), por exemplo, o MOD13 (índices de vegetação como NDVI, EVI, etc) e o MOD15 (índices de área foliar / fração absorvida da radiação fotossinteticamente ativa) (Tabela 3) (FERREIRA et al., 2006). O MODIS Terra possui ainda dois importantes produtos para análise da dinâmica e modificações da paisagem em função da presença de fogo, i.e. o MOD14 (focos de calor) e o MCD45A1 (cicatrizes de queimada).

Foram desenvolvidos inúmeros estudos para identificação e quantificação de áreas queimadas utilizando e validando os dados MODIS. Para a detecção dessas áreas (*burn scar*) é utilizado os canais do infravermelho próximo, centrados entre 1.24 e 2.13  $\mu\text{m}$ , já que esses canais são sensíveis às mudanças da superfície induzidas pelo fogo e não são obscurecidos por fumaça (LI et. al, 2004). Outra importante característica desse produto é a resolução espacial de 250m e 500m (escala moderada), constituindo uma grande vantagem, pois grande parte dos produtos MODIS e de outros sensores apresentam uma resolução espacial de 1 km.

Tabela 3 – Produtos MODIS para aplicações terrestres.

Balanco de energia e radiação da superfície	Produtos de vegetação e ecologia	Cobertura e uso da terra
Refletância	Índices de Vegetação	Cobertura/Mudanças na Cobertura
Temperatura da Superfície	Índice de Área Foliar / Fração de Radiação Absorvida Fotossinteticamente Ativa	Cobertura Vegetal / Conversões
Albedo	Produtividade Primária	Anomalias / Fogo

Aplicações Gerais		
Avaliação Física de Processos Superficiais	Caracterização e Funcionamento de Ecossistemas; Padrão de Produtividade Sazonais	Estimativas de Carbono / Desenvolvimento Sustentável

Fonte: FERREIRA et al., 2006.

Em relação ao produto *MODIS active fire*, desenvolvido com base na experiência adquirida do sensor AVHRR, utiliza-se os comprimentos de ondas centrados em 3.9  $\mu\text{m}$  e 11  $\mu\text{m}$  para identificar fogos ativos, determinar temperatura da superfície e indicar cicatrizes de queimada, como também, utilizando a fórmula do NDVI, substituindo apenas a banda do vermelho (RED) pela do infravermelho-médio (MIR), temos uma forte diferenciação de áreas queimadas e não queimadas (JUSTICE et al., 1998; KAUFMAN et al., 1998; MARTÍN & CHUVIECO, 1995).

Para validação do produto focos de calor gerado pelo *MODIS Active Fire*, o qual utiliza dados do sensor MODIS a bordo do satélite Terra (lançado em 1999) e Aqua (lançado em 2002), foram desenvolvidas importantes análises, dentre os quais o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) fez relevantes contribuições para melhor desenvolvimento e detecção de focos (algoritmos, etc) de calor no continente sul-americano. Morissette et al. (2005), por exemplo, utiliza os parâmetros do algoritmo desenvolvido pelo INPE para validação do *MODIS Active Fire* (resolução espacial de 1 km), método o qual foi desenvolvido utilizando dados NOAA AVHRR (aproximadamente duas décadas), e que apresenta bons resultados na detecção de focos de calor ativos em comparação com o algoritmo EOS MODIS, já que a acurácia de ambos foi analisada com base em imagens ASTER (30m), onde os erros de omissão são similares, mas o erro de comissão é maior no algoritmo do MODIS INPE.

Com o intuito de mapear somente as áreas de queimadas, o MODIS MCD45A1 (dados da coleção 5 - dados com maior acuidade radiométrica), apresenta dois subprodutos, *Burndate* e o *Burn quality assessment*. O produto *Burndate* está relacionado à detecção e delimitação das áreas queimadas, enquanto o *Burn quality assessment* classifica a qualidade das áreas geradas pelo *burndate*, variando entre 1 a 4, onde 1 valida a área do pixel como queimada, enquanto pixels com valores 2, 3 e 4, o dado não é totalmente seguro para ser certificado como queimada (BOSCHETTI et al., 2009; JUSTICE et al., 2006; ROY et al., 2008).

O trabalho de Boschetti et al. (2008) indica que os dados gerados pelo MCD45A1 apresentaram boa acuidade em relação aos dados gerados pelo EFFIS (*The European Forest Fires Information Service*), pois ambos mapearam uma área comum de 2.429 Km<sup>2</sup>, representando 82,7% e 88,7% da área total discriminada como queimada pelo MCD45A1 (2.927 Km<sup>2</sup>) e EFFIS (2.722 Km<sup>2</sup>), respectivamente. Em outra análise para validação do MCD45A1, Roy & Boschetti (2009) compararam três produtos de sensoriamento remoto, para detecção de área queimada na região sul do continente africano (i.e. dados MODIS burned area, L3JRC e GlobCarbon). Os resultados indicaram que o MCD45A1 apresentou maior acurácia no mapeamento de cicatrizes de queimadas e de fragmentos menores, devendo-se isso a fatores como precisa calibração, geolocalização, correção atmosférica, mascaramento de nuvens e a resolução espacial de 500 m, já que os outros dois produtos, L3JRC e GlobCarbon, apresentam resolução espacial de 1 km. Os autores informam ainda que ambos os produtos apresentaram erro de comissão menor que o erro de omissão.

Em outro estudo, Roy et al. (2008) comparam dados do MODIS MCD45A1 com o *MODIS Active Fire* (MOD14), onde, em um período de um ano, julho de 2001 a junho de 2002, analisaram a extensão da área queimada nos principais tipos de cobertura e uso da terra (antrópico e natural) presentes em 6 continentes (África, América do Norte e do Sul, Euro Ásia norte e sul e Austrália-Oceania). Em relação aos dados dos MCD45A1, foram utilizados os de confiabilidade baixa, média e alta, enquanto do *Active Fire* (MOD14), dados de média e alta confiabilidade. Os resultados mostram que área queimada mapeada para os 6 continentes pelo MCD45A1 (3.66E+06 Km<sup>2</sup>) foi maior do que a obtida pelo Active Fire (MOD14) (2.78E+06 Km<sup>2</sup>). Em relação a análise continental, o continente da África foi o mais afetado pelas queimadas, conforme os dois produtos MODIS, seguido, nessa ordem, pelos continentes da Austrália-Oceania, América do Sul, Euro Ásia Norte, Euro Ásia Sul e América do Norte. A cobertura vegetal natural foi a mais afetada se comparado com as regiões de uso antrópico (agricultura e pastagem), sendo que a região fitoecológica Savana foi a mais afetada pelo fogo em relação a qualquer outra durante o período do estudo.

Comumente, para validação das áreas de queimadas detectadas pelo sensor MODIS utiliza-se imagens de alta resolução espacial, como ASTER (MORISSETE et al, 2005) e/ou LANDSAT (SCHROEDER et al, 2008; LI et al, 2004). No caso dos dados MODIS MCD45A1, Roy & Boschetti (2009) utilizaram 12 cenas LANDSAT ETM<sup>+</sup> para validação das áreas queimadas mapeadas na região sul do continente africano.

Essas duas imagens, ASTER e LANDSAT, têm suas vantagens, já que possuem uma resolução espacial de 30m e fácil aquisição (no caso das cenas TM, são disponibilizadas gratuitamente, através do catálogo de imagens mantido pelo INPE - <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). Em relação a imagens LANDSAT, tanto TM quanto ETM<sup>+</sup>, são utilizadas as bandas 3 (0.63 – 0.69 µm), 4 (0.76 – 0.90 µm) e 5 ( 1.55 – 1.75 µm), as quais permitem boa discriminação visual das cicatrizes de queimadas em relação aos outros alvos que compõe a imagem (KRUG et al., 2004).

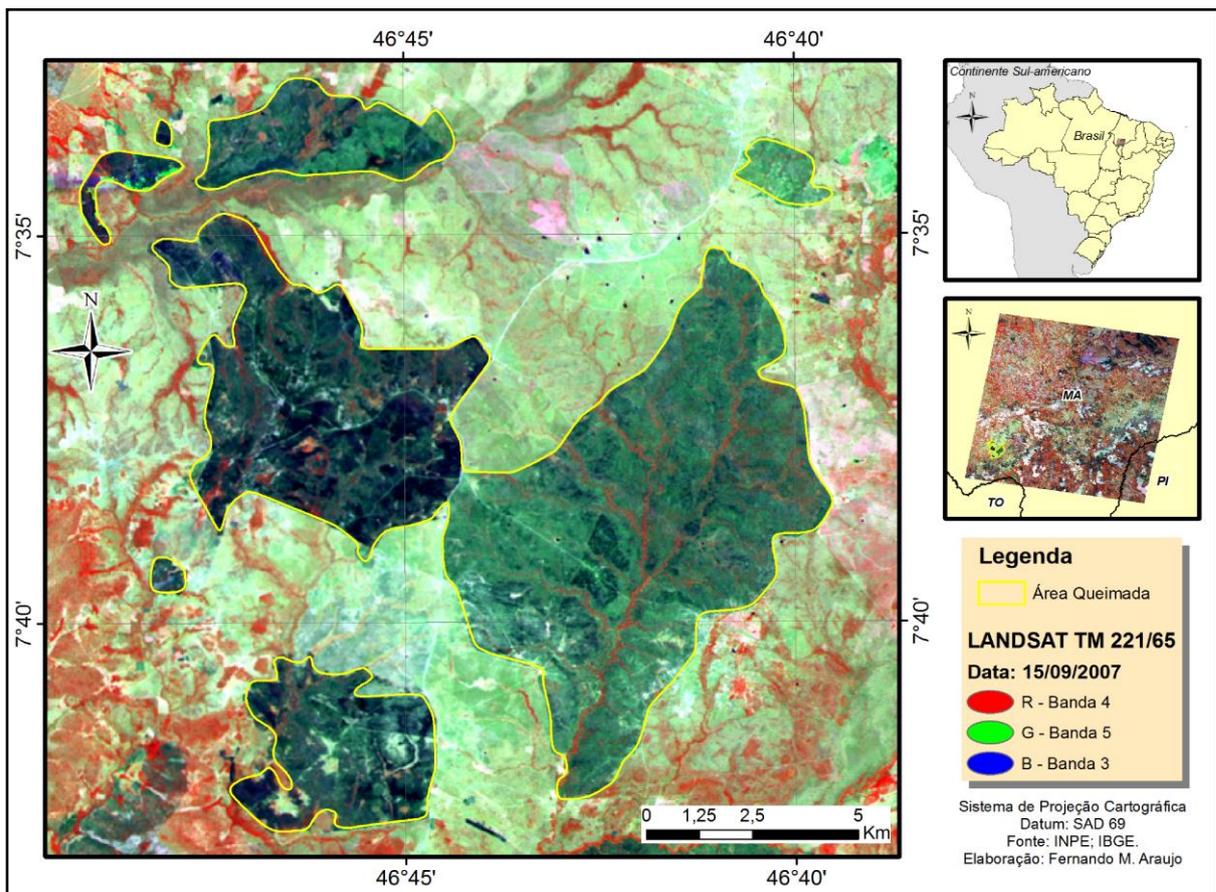


Figura 2 – Discriminação de áreas queimadas através de imagem LANDSAT TM utilizando as bandas 4 (NIR), 5 (MIR) e 3 (RED).

Na Figura 2 temos a identificação de áreas queimadas (contorno em amarelo) utilizando imagem LANDSAT TM, cuja composição colorida é banda 4 (R), banda 5 (G) e banda 3 (B). Nessa composição, devido ao fato de que as áreas que tiveram a biomassa queimada tendem a absorver mais a radiação dos comprimentos de onda centrados na banda do infravermelho próximo (NIR) (Pereira & Seltzer, 1993), os níveis de cinza mais baixos encontrados na banda 4 da imagem LANDSAT TM corresponde à queimada recente, enquanto a banda 5

permite a diferenciação espectral entre queimadas recentes e antigas (aproximadamente 15 a 20 dias) (Riveira-Lombardi, 2003).

### 3 - MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 - Descrição e localização da área de estudo

O bioma Cerrado, que se localiza na região central do Brasil, ocupa cerca de 24% do território brasileiro e faz fronteira com os principais biomas brasileiros, que são: Amazônia, Caatinga, Mata atlântica e Pantanal. Em fato, o único bioma do Brasil que não faz zona de transição com o Cerrado é o Pampa (Figura 3).

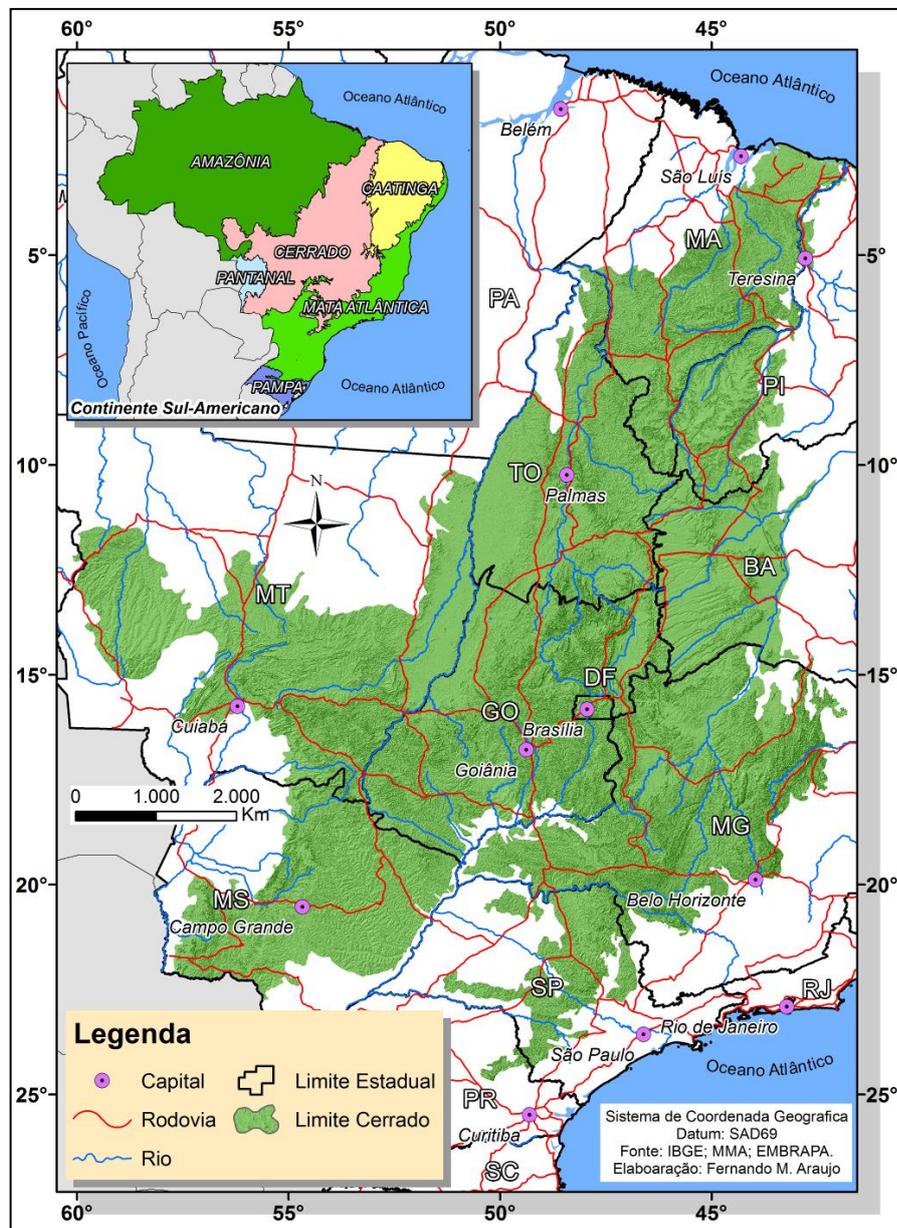


Figura 3 – Localização do Bioma Cerrado em relação aos demais biomas brasileiros.

O Cerrado possui uma área de 2.039.387 km<sup>2</sup>, abrangendo 12 estados (IBGE, 2004). Sua distribuição, que compreende grande número de nascentes e parte considerável das principais regiões hidrográficas da América do Sul, é determinada principalmente por variações topográficas regionais, formas de relevo, limitações edáficas (MOTTA et al., 2002) e pela sazonalidade pluviométrica, já que mais de 80% da precipitação anual se concentra entre outubro e abril (CASTRO et al., 1994).

A região do bioma Cerrado ocupa a totalidade do Distrito Federal, grande parte dos estados de Goiás (97%), Tocantins (91%), Maranhão (65%), Mato Grosso do Sul (61%), Minas Gerais (57%), além de porções menores dos estados Mato Grosso, Piauí, Bahia, Maranhão, São Paulo e Paraná (IBGE, 2004).

Esse importante bioma é considerado um dos 34 hotspots de biodiversidade no mundo (MYERS et al., 2000), tanto por seus aspectos naturais, quanto pela intensa ocupação agropastoril que o transformou na principal fronteira de expansão agrícola brasileira (MIZIARA & FERREIRA, 2008).

Considerando as diferentes fitofisionomias que o Cerrado possui, e de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação da vegetação Brasileira proposto pelo IBGE, as formações florestais, savânicas e campestres ocupam uma área correspondente a 1.236.771 Km<sup>2</sup>, sendo que a fisionomia florestal ocupa uma área de 402.291 Km<sup>2</sup> (32%); a savânica 756.556 Km<sup>2</sup> (61%); e a campestre 80.616 Km<sup>2</sup> (7%). (SANO et al., 2007).

Estimativas recentes sugerem menos de 17% de áreas de Cerrado não antropizadas (MANTOVANI & PEREIRA, 1998; KLINK & MACHADO, 2005), enquanto os dados do PROBIO informam que aproximadamente 26,5% e 10,5% do bioma Cerrado já foram integralmente convertidos em áreas de pastagens e agricultura, respectivamente, (MMA, 2007; SANO et al., 2008).

O objetivo de ter o Cerrado como área de estudo deve-se pela importância desse bioma para o território brasileiro, seja pela rica biodiversidade (fauna, flora e biológica), ou pelos recursos hídricos, já que três importantes bacias hidrográficas (São Francisco, Tocantins-Araguaia e Paraná) possuem suas nascentes nos limites do Cerrado. Contudo, com a intensificação das atividades antrópicas (agricultura, pecuária, indústrias, etc.), toda essa biodiversidade, recursos hídricos e até povos tradicionais estão ameaçados, pois, mesmo estimativas mais conservadoras indicam que ao menos 40% do Cerrado natural já foram convertidos (BONNET, 2008; SANO, 2008; MMA, 2007).

## **3.2 – MATERIAL**

### **3.2.1 - Produtos orbitais**

Para essa dissertação, foram utilizados diferentes dados e produtos orbitais, tanto para espacialização das áreas queimadas, quanto para a validação do produto de área queimada. O primeiro produto orbital utilizado se refere aos dados MODIS MCD45A1, validados com base nos dados MOD14, MYD14 e LANDSAT TM.

Os produtos do sensor MODIS trabalhados foram o MCD45A1 (área queimada) (*Burndate* e *Quality Assurance*) com resolução espacial de 500 m, disponível na página web do sistema *NASA REVERB*: *reverb.echo.nasa.gov*; e o de registro de anomalias termais, utilizando os dados obtidos pelo MODIS a bordo do TERRA (MOD14 – período da manhã) e AQUA (MYD14 – período da tarde), dados os quais foram compilados e validados por SCHROEDER et al. (2008).

O período de análise (recorte temporal) compreende todos os meses do ano entre 2002 a 2008. Como essa análise se refere a espacialização e a extensão da área total queimada no bioma Cerrado entre 7 anos consecutivos, fez-se a opção de manter os dados de queimadas para os meses de janeiro a abril, ainda que o período chuvoso é pouco expressivo quanto à ocorrência de queimadas.

### **3.2.2 - Dados Cartográficos e Temáticos**

Dentre os dados cartográficos utilizados estão o mapa de uso da terra e cobertura vegetal natural para o Cerrado vinculado ao projeto PROBIO (MMA, 2007), cuja base cartográfica é de 2002 (imagens LANDSAT TM), com escala espacial de 1:250.000. Esse mapeamento foi utilizado como base, juntamente com o dado de área queimada detectado pelo MCD45A1 para o ano de 2002, para localizar e quantificar a ocorrência das áreas atingidas pelo fogo nas diferentes fitofisionomias e classes de uso da terra.

Além do mapeamento do PROBIO, também procedeu-se ao cruzamento das áreas queimadas com os dados de desmatamentos gerados pelo SIAD (Sistema Integrado de Alerta de Desmatamentos) entre 2002 a 2009 (Rocha et al., 2010), uma vez que a prática da queimada é utilizada na limpeza (restos vegetais, etc) de áreas desmatadas devido ao seu baixo custo para o agente causador. Enfim, o objetivo aqui é o de analisar a localização das

queimadas sobre as classes de uso antrópico (agricultura e pastagem) e vegetação remanescente.

Juntamente com os mapeamentos cartográficos citados, foram também utilizados os dados de bacias hidrográficas, Ottobacias nível 6, disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA) em sua página web: <http://www2.ana.gov.br/>. Em relação à base de dados do IBGE e do MMA, foram selecionados os limites estaduais e municipais, bem como os limites dos biomas brasileiros e das áreas prioritárias e protegidas, respectivamente.

### **3.2.3 - Aplicativos computacionais**

Para processamento dos dados orbitais foi utilizado, primeiramente, o MODIS Reprojection Tools (MRT)<sup>3</sup> para reprojeção e mosaico das imagens MODIS, as quais, quando adquiridas inicialmente no sítio do *Reverb*, estão projetadas no sistema *Sinusoidal* e formato HDF-EOS (Hierarchical Data Format - Earth Observing System). Especificamente, as imagens foram reprojadas para o Sistema de Coordenada Geográfica, datum WGS84 e formato GeoTIFF (Tagged Image File Format), adequando, desse modo, com outras bases cartográficas trabalhadas nessa análise.

O aplicativo utilizado para filtragem e obtenção do dado de área queimada com índice de confiabilidade 1 (maior precisão) a partir dos subprodutos do MCD45A1, Burndate e Ba pixel Qa, foi o ENVI. Quanto a integração e cruzamento de informações temáticas foram realizadas no ArcGIS. Cabe ressaltar que esses procedimentos levantados podem ser realizados em qualquer software SIG, tais como GVSIG e QUANTUM GIS.

## **3.3 - MÉTODO DA PESQUISA**

Para a análise de todas as variáveis presentes nessa pesquisa foi adotado o método sistêmico, já que a bacia hidrográfica e outras unidades de estudo recebem influência dos vários agentes que compõem o meio natural, e que ao mesmo tempo interagem entre si. O método sistêmico parte dessa premissa, e de acordo com Chorley e Kennedy (1971), citado por Christofolletti (1999, p. 5),

---

<sup>3</sup> Página para download: [https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/tools/modis\\_reprojection\\_tool](https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/tools/modis_reprojection_tool)

“um sistema é um conjunto estruturado de objetos e/ou atributos. Esses objetos e atributos consistem de componentes ou variáveis (isto é, fenômenos que são passíveis de assumir magnitudes variáveis) que exibem relações discerníveis um com os outros e operam conjuntamente como um todo complexo, de acordo com determinado padrão”.

Um sistema é composto por muitas variáveis, dentre elas estão a matéria, a energia e a estrutura (CHRISTOFOLETTI, 1979). Adequando essas variáveis para análise da hidrografia, temos que a matéria (material mobilizado) são as águas e os detritos; a energia (as forças que funcionam o sistema) é a gravidade, atuando no movimento das águas e detritos a partir do grau de inclinação do relevo; a estrutura (elementos e suas relações) são os rios, as vertentes, a vegetação natural, e outros (CHRISTOFOLETTI, 1979, 1999).

Deve-se salientar que, o sistema de análise juntamente com o seu conjunto estrutural e das relações entre os fenômenos, tais como desmatamento e queimada, pode ser denominado como universo de análise, mas dependendo do nível da escala a ser utilizada, esse universo particular poderá estar contido em outro sistema maior ou mesmo obter outros sistemas menores, sendo que os primeiros são sistemas antecedentes ou controlantes e os segundos são sistemas subsequentes ou controlados (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Os sistemas podem ser classificados em isolados e não-isolados. Os sistemas isolados devido ao grau de evolução, não recebem e nem ganham matéria ou energia do ambiente ao seu redor. Os sistemas não-isolados por sua vez, complexo em suas relações, podem ser subdivididos em fechados e abertos, no qual os fechados se caracterizam por não receber ou perder matéria, mas sim energia; no sistema aberto, temos a interação da matéria e da energia, tanto na perda ou no ganho, ocorrendo dessa forma constantes trocas entre os elementos da estrutura que compõe o sistema de análise (CHRISTOFOLETTI, 1979, 1999).

De acordo com Chorley e Kennedy (1971) conforme CHRISTOFOLETTI (1979), o sistema aberto se subdivide em onze tipos de sistemas. Contudo, para o presente trabalho, o sistema adequado é o de sequência, onde os subsistemas estão interligados em cadeia, cujo principal foco é averiguar as relações entre a entrada (input) e saída (output) de matéria e energia entre os subsistemas adjacentes.

### **3.4 – METODOLOGIA**

A metodologia do trabalho consistiu, a princípio, em três procedimentos, sendo o primeiro, a aquisição dos dados do produto MCD45A1 para os anos de 2002 a 2008 e tratamento dos dados; o segundo, validação dos dados MCD45A1, utilizando imagens LANDSAT TM para o ano de 2007 (i.e. o ano que teve maior detecção de áreas queimadas), dados SIAD Cerrado e focos de calor MODIS MOD14 e MYD14; o terceiro procedimento refere-se à espacialização, cruzamento de informações e análise dos dados, tendo como referência o bioma Cerrado (mapeamento PROBIO com suas classes de uso antrópico e vegetação natural), dados SIAD, focos de calor (MOD14 e MYD14) base estatual e municipal, bacia hidrográfica (Ottobacias nível 6) e unidades de conservação (UCs) e áreas prioritárias e protegidas.

#### **3.4.1 - 1º Procedimento**

A aquisição do produto MODIS MCD45A1 ocorreu pelo sistema *REVERB* (via página web) de obtenção de imagens de satélite (MODIS, ASTER, NOAA, etc) da NASA. O produto MODIS MCD45A1 é mensal e disponibilizado por cenas (*tiles* – localização horizontal e vertical). Para abranger todo o território brasileiro são necessárias 17 cenas MODIS e 5 cenas para o bioma Cerrado (figura 4). Na Figura 4 podemos notar a disposição das cenas MODIS sobre os estados brasileiros, sendo que para cobrir região do Cerrado precisamos das seguintes cenas: H12V10 e H12V11, H13V09 até H13V11 (em vermelho).

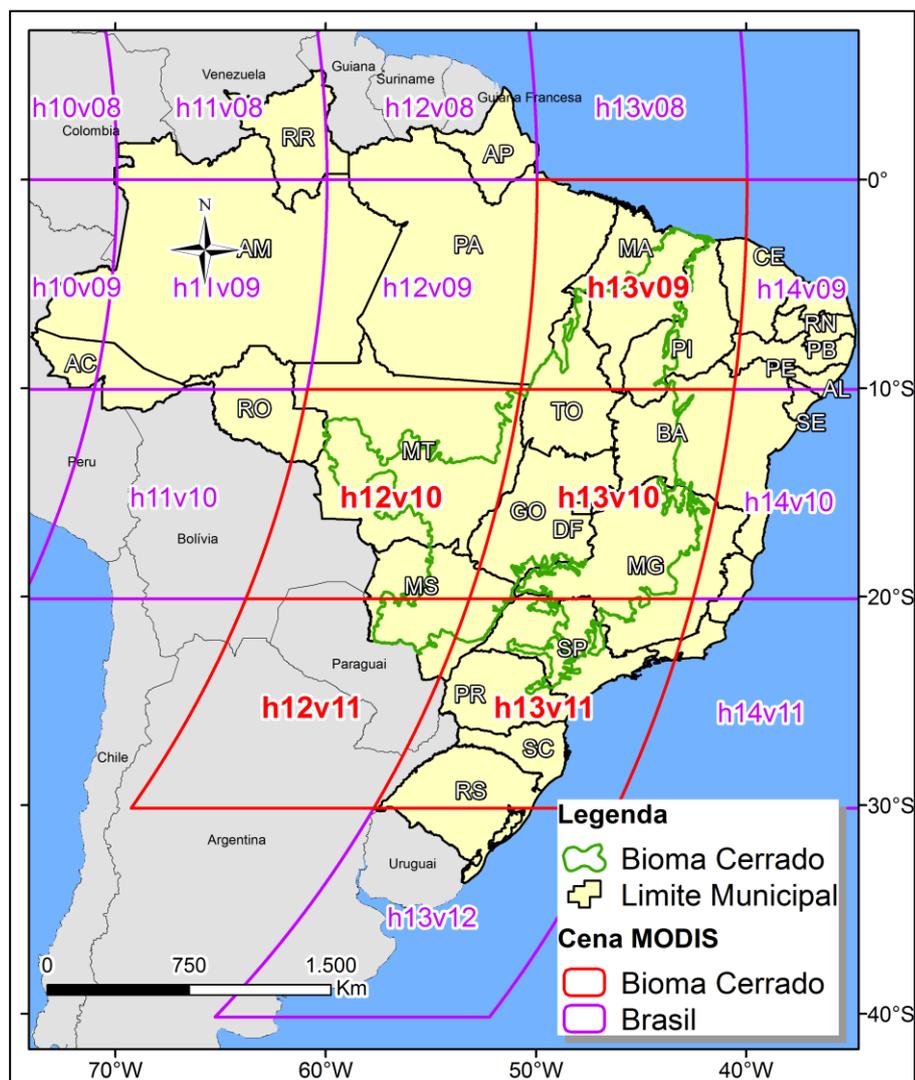


Figura 4 – localização das cenas MODIS para o território brasileiro e bioma Cerrado.

O produto MCD45A1 fornece oito (8) sub-produtos, sendo que para essa análise foram utilizados apenas dois, *ba\_qa* (índice de confiabilidade do pixel rotulado como queimada) e *burndate* (área queimada). Para obter esses dois produtos, foi utilizada a ferramenta *Modis Reprojection Tools* (MRT) que permite ao mesmo tempo extrair os sub-produtos e fazer o mosaico das várias cenas que abrangem a área de estudo (Figura 5).

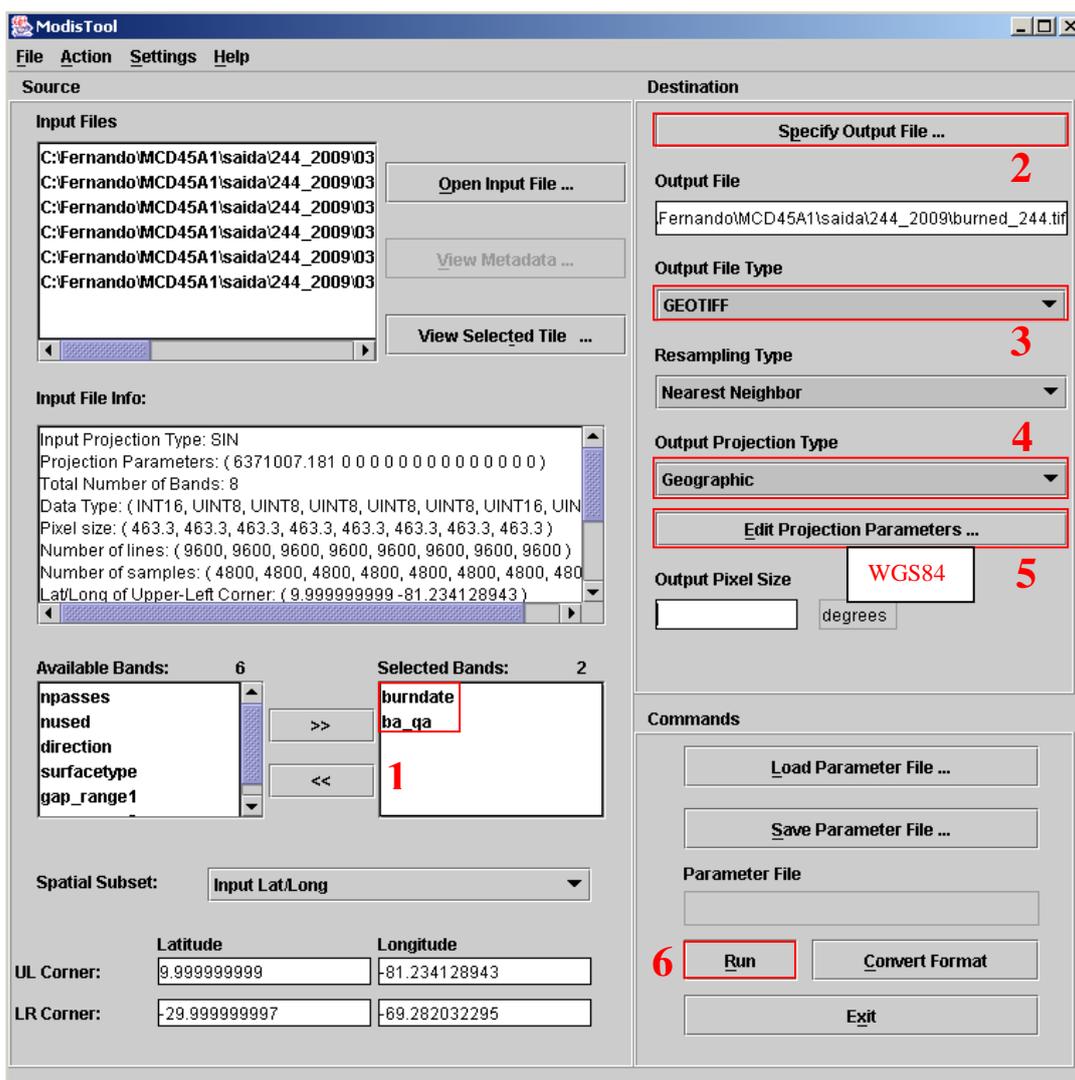


Figura 5 – tela inicial do MODIS Reprojection Tools (MRT).

Na figura 5 é mostrada a tela inicial do MRT para seleção e aquisição do burndate e ba\_qa. Após de executar e abrir os arquivos HDF-EOS no MRT, seleciona-se apenas as bandas burndate e ba\_qa (passo 1); em seguida, passo 2, especifica-se a pasta e o nome do arquivo de saída das duas bandas; no passo 3, seleciona-se o tipo de arquivo de saída GeoTIFF; já no passo 4, seleciona-se a projeção geográfica (*geographic*); passo 5, edição dos parâmetros da projeção (neste estudo, datum WGS84); e por último, passo 6, selecione rodar (*run*) para processamento do dado. Esse procedimento foi realizado para os 12 meses ano entre 2002 a 2008.

O passo seguinte foi filtrar os dados, ou seja, selecionar os pixels rotulados como área queimada no *burndate* (valores 1 a 366 ou dia do ano) e desses obter somente os pixels com

alto índice de confiabilidade, valor 1, conforme pela banda *ba\_qa*. Tal procedimento foi realizado no ENVI 4.5 (Figura 6), o qual através da ferramenta *band math* foi realizado cruzamento das duas bandas através da expressão  $(b1)*(b2)$ , onde b1 corresponde aos valores de *burndate* (1 – 366) e b2 ao índice de confiabilidade 1 da banda *ba\_qa*.

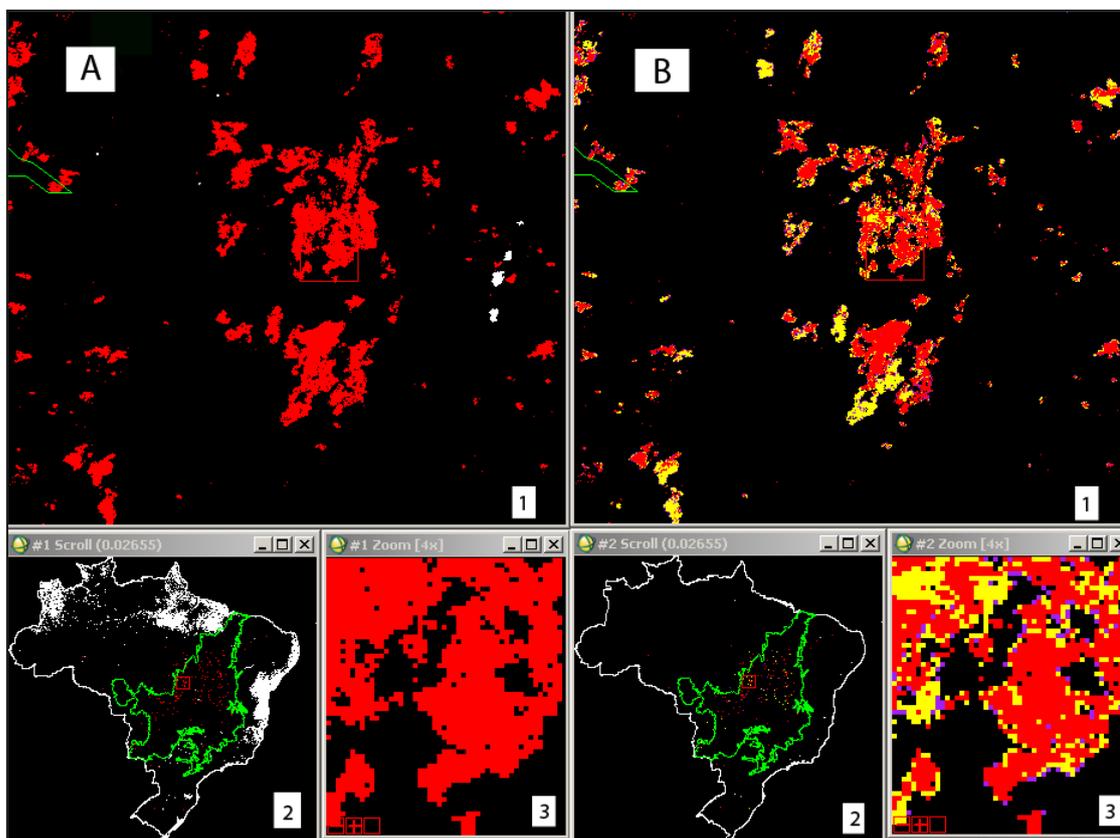


Figura 6 – Filtragem dos pixels de queimadas (*burndate* - A) do produto MCD45A1 com o subproduto *ba\_qa* (B) de confiabilidade alta (1).

Na figura 6 temos duas imagens, sendo que a imagem A está mostrando o dado de área queimada da banda *burndate*, onde todos os pixels em vermelho são queimadas detectadas pelo MCD45A1, enquanto a imagem B (*ba\_qa*) está mostrando a acurácia dos pixels da imagem A (quanto a serem efetivamente queimada). Todos os pixels de cor vermelha em B3 apresentam confiabilidade alta ou um (1), já os pixels com a cor amarela (3) e roxa (4) representam a baixa confiabilidade de o pixel ser realmente uma queimada. Uma das questões apresentadas pela utilização de pixels com índice de confiabilidade 1 é a redução da área total queimada em alguns áreas como podemos notar na Figura 3 (comparação entre quadros A e B), diminuindo assim o erro de comissão em algumas áreas, mas aumentando o erro de omissão em outras regiões.

Através do procedimento acima, foi obtido à área queimada com maior confiabilidade mês a mês para cada ano discriminado no recorte temporal dessa análise, os quais foram revisados e convertidos, posteriormente, em arquivo shapefile (polígono) para cruzamento com outras informações e limites geográficos propostos neste trabalho.

### **3.4.2 - 2º Procedimento**

O processo de validação das áreas queimadas no bioma Cerrado discriminadas pelo produto MODIS MCD45A1 se desenvolveu em duas etapas:

- 1ª etapa – Inspeção visual e classificação dos polígonos de áreas queimadas de acordo com a classe de uso da terra sobre a qual ocorreu; i.e. cada polígono de queimada foi rotulado como área de agricultura, de pastagem ou de vegetação natural. Para tal procedimento foi utilizado tanto o mapa PROBIO, quanto imagens LANDSAT TM para o ano de 2007 (período de agosto e setembro), ano o qual teve maior registro de incidência de áreas queimadas no Cerrado em relação aos demais analisados no recorte temporal (2002 a 2008).
- 2ª etapa – Cruzamento dos dados MCD45A1 com os dados de alertas de desmatamento inspecionados e validados pelo SIAD Cerrado entre 2002 a 2009 (Rocha et al., 2010), e com os dados de focos de calor (MOD14 e MYD14) entre 2002 a 2008 validados por Schroeder et al. (2008) para a região do Cerrado. Esses dois cruzamentos serviram para verificar a acurácia do dado de área queimada baseado na proximidade e sobreposição entre essas duas informações cartográficas.

#### **3.4.2.1 - 1ª etapa da Validação MCD45A1**

Nessa etapa foram escolhidas as imagens LANDSAT TM para validação dos polígonos de área queimada discriminados pelo MCD45A1 (Tabela 4). A utilização das imagens LANDSAT TM para validação se deu pela fácil aquisição e disponibilidade (na página web do INPE) para a região do Cerrado e pela ampla utilização das mesmas em outras análises de espacialização e validação de focos de calor e queimadas (ver tópico 2.3). O ano base escolhido para verificação da acurácia do produto MODIS de área queimada foi 2007, uma

vez que dos 387.292 Km<sup>2</sup> de área queimada registrada entre 2002 a 2008 na região do bioma Cerrado, 128.491 Km<sup>2</sup> (33%) foram detectados neste ano, o qual teve maior registro de queimadas em relação aos demais anos analisados.

Tabela 4 – Imagens LANDSAT TM utilizadas para validação das áreas queimadas registradas pelo MCD45A1 no bioma Cerrado.

<b>Imagens LANDSAT 5 TM - Validação MCD45A1</b>			
Órbita/Ponto	Qtd. Imagens	Datas (2007)	Composição RGB
219/70	3	01/09, 17/09 e 03/10	453
219/72	3	01/09, 17/09 e 03/10	
220/68	2	08 e 24/09	
220/74	2	08/09 e 24/10	
221/64	2	14/08 e 15/09	
221/65	2	30/08 e 15/09	
221/70	2	30/08 e 15/09	
221/72	3	30/08, 15/09 e 01/10	
222/66	2	21/08 e 06/09	
223/68	2	28/08 e 29/09	
223/69	2	13/08 e 29/09	
224/67	2	19 e 04/09	
224/70	2	04 e 20/09	
226/70	2	02 e 18/09	
226/74	2	02/09 e 04/10	
228/70	2	31/08 e 16/09	

A Tabela 4 mostra quais foram às imagens LANDSAT TM utilizadas durante o processo de validação das áreas queimadas registradas pelo produto MODIS MCD45A1, cujo período de análise compreendeu imagens de agosto, setembro e outubro de 2007. Ao todo, foram verificadas 16 órbitas/pontos e utilizadas 35 imagens LANDSAT, as quais foram georreferenciadas com base em imagens GeoCover<sup>4</sup> (imagens LANDSAT ortorretificadas para o ano 2000) e nas cenas LANDSATs (georreferenciadas) empregadas no mapeamento do PROBIO Cerrado (MMA, 2007) (Figura 7).

<sup>4</sup> Página web: <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>

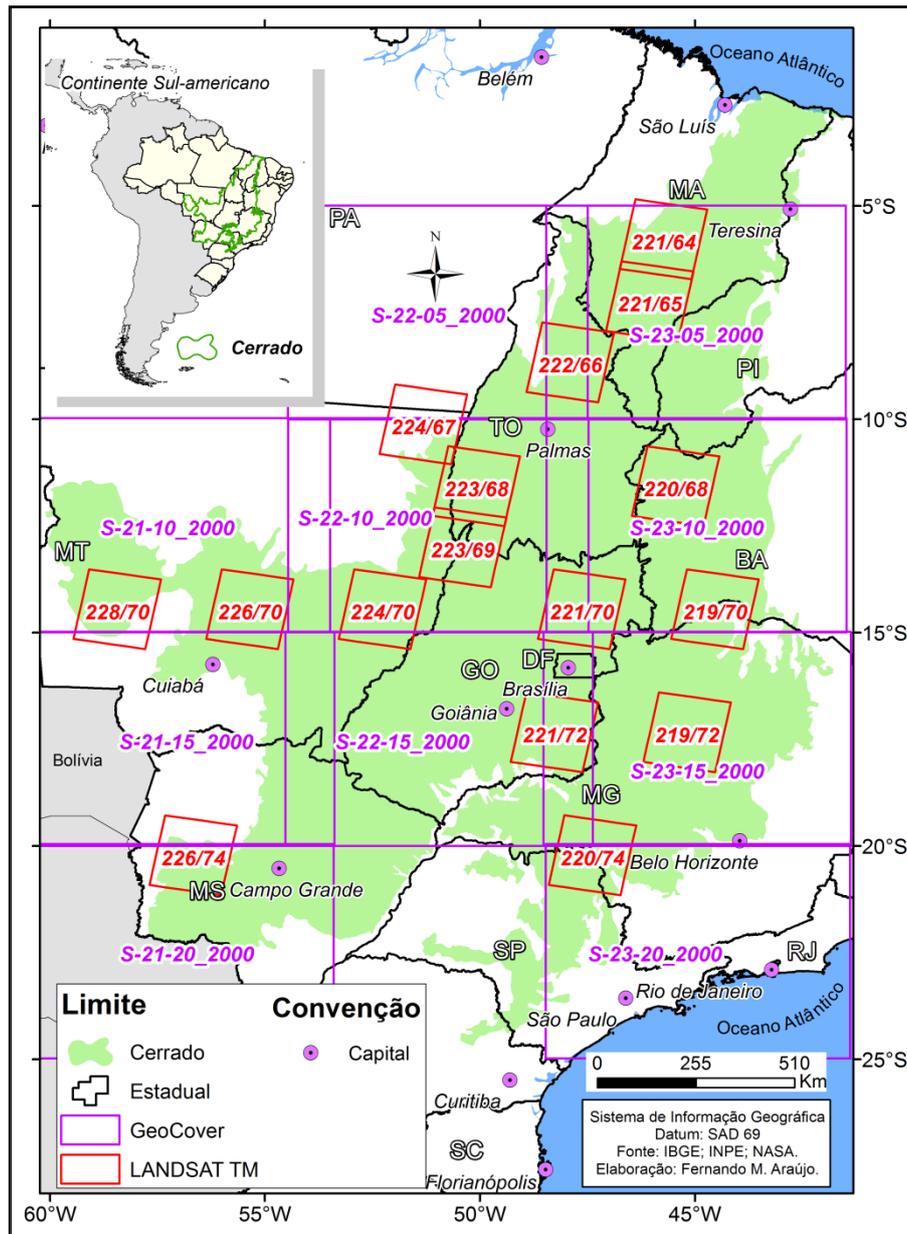


Figura 7 – Localização das imagens LANDSAT TM utilizadas para validação do dado de área queimada MODIS MCD45A1.

Após o georreferenciamento das 35 imagens (16 órbitas/pontos), o passo seguinte foi inspecionar 11.218 polígonos de área queimada, os quais estão distribuídos entre as 16 órbitas/pontos escolhidas, correspondendo a uma área de 43.983 Km<sup>2</sup> ou 34,2% da área queimada no Cerrado em 2007. Juntamente com a validação de cada polígono em queimada ou não queimada, todos os verdadeiros foram classificados de acordo com a área de ocorrência, podendo então ser rotulado como agricultura, pastagem ou vegetação natural (remanescente).

Na figura 8 temos exemplos de polígonos de queimadas verdadeiros, os quais foram classificados de acordo com a área de incidência do fogo, no caso, queimadas (polígonos) em áreas naturais (verde), de agricultura (amarelo) e de pastagem (laranja). Durante o processo de classificação foi utilizado o mapeamento de uso e cobertura da terra proposto pelo PROBIO Cerrado sobreposto às imagens LANDSAT TM, cujo objetivo foi de auxiliar na identificação dos diferentes tipos de uso da terra em que as queimadas ocorreram.

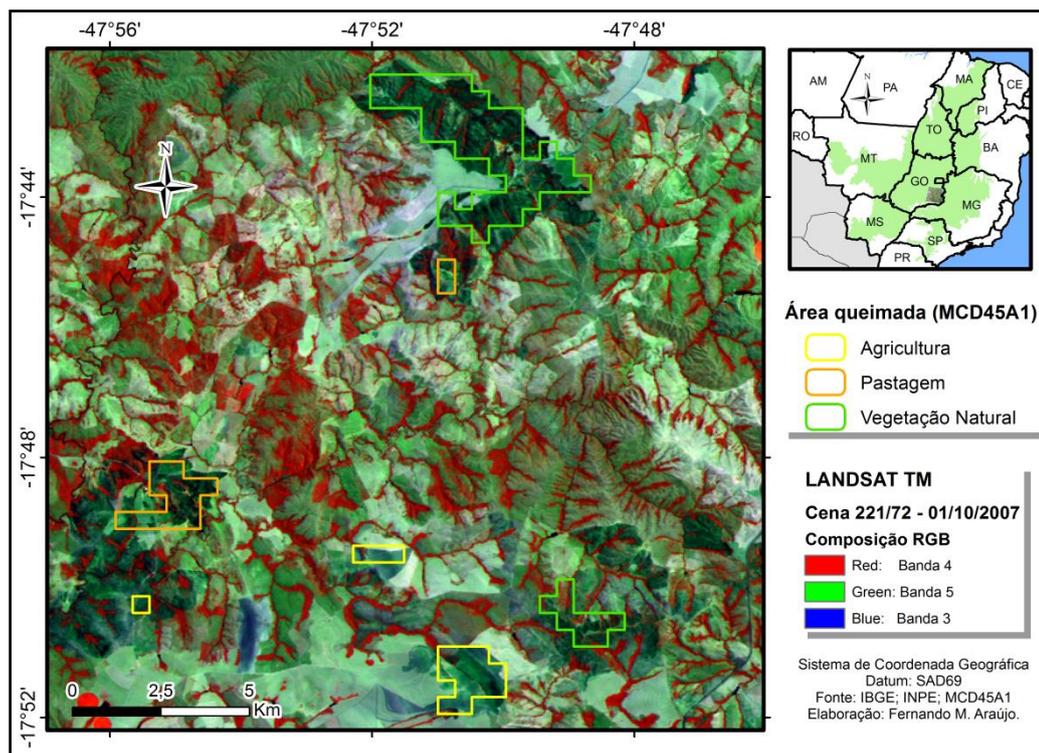


Figura 8 – Validação e classificação da ocorrência de área queimada (polígono) discriminada pelo MCD45A1 no bioma Cerrado.

Após a inspeção visual, foram selecionadas 100 áreas de queimadas, as quais tiveram os seus limites vetorizados manualmente com base na visualização das imagens LANDSAT TM, com vistas à comparação com os dados MCD45A1. Assim foi possível verificar o quanto o produto MCD45A1 subestima ou superestima a área queimada no Cerrado, apesar das distintas resoluções entre LANDSAT TM (30 m) e MCD45A1 (500 m).

### 3.4.2.2 - 2ª etapa da Validação MCD45A1

A segunda etapa é dividida em duas partes comparativas e de intersecções entre os dados MCD45A1 área queimada com dados validados, os quais são: SIAD Cerrado (alertas

de desmatamentos) e Produtos de Anomalias Termiais (MOD14 e MYD14). A seguir temos a descrição geral dos dois produtos e a metodologia de análise empregada para validação do MCD45A1.

#### **3.4.2.2.1 – Sistema Integrado de Alerta de Desmatamento (SIAD).**

O Sistema Integrado de Alerta de Desmatamentos (SIAD) é uma ferramenta implementada para o monitoramento sistemático de cobertura vegetal natural do bioma Amazônico e do Cerrado (adaptado), sistema o qual utiliza imagens de satélite de resolução moderada do sensor MODIS, produto MOD13Q1 NDVI (índice de vegetação da diferença normalizada) com 250 m de resolução espacial e resolução temporal de 16 dias.

O algoritmo do SIAD foi desenvolvido e implementado através do programa computacional de análise e produção de informações geográficas, ArcGIS 9.0. Para o SIAD gerar alertas de desmatamentos na região do Cerrado é preciso a utilização de duas imagens ou mosaicos MOD13Q1 - NDVI (filtradas e com correções atmosféricas) com datas diferentes (imagem 1 e imagem 2). Diferenças nos valores de NDVI entre as duas imagens iguais ou superiores à 15%, para uma área mínima de 25 hectares (cinco pixels) resultam na delimitação de polígonos correspondentes à possíveis áreas desmatadas (Rocha et al., 2010).

A validação dos polígonos (shapefile) gerados e rotulados como possíveis desmatamentos pelo SIAD é feita através de inspeção visual, com base em imagens de satélites com maior resolução espacial, tais como CBERS (sensor CCD) e LANDSAT TM, com 20 m e 30 m, respectivamente.

De acordo com os dados de Alertas de desmatamento do SIAD Cerrado entre 2002 a 2009 obtidos na página web do LAPIG (Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento)<sup>5</sup>, foram registrados cerca de 36.500 Km<sup>2</sup> de vegetação natural desmatada (Figura 9).

---

<sup>5</sup> <http://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/>

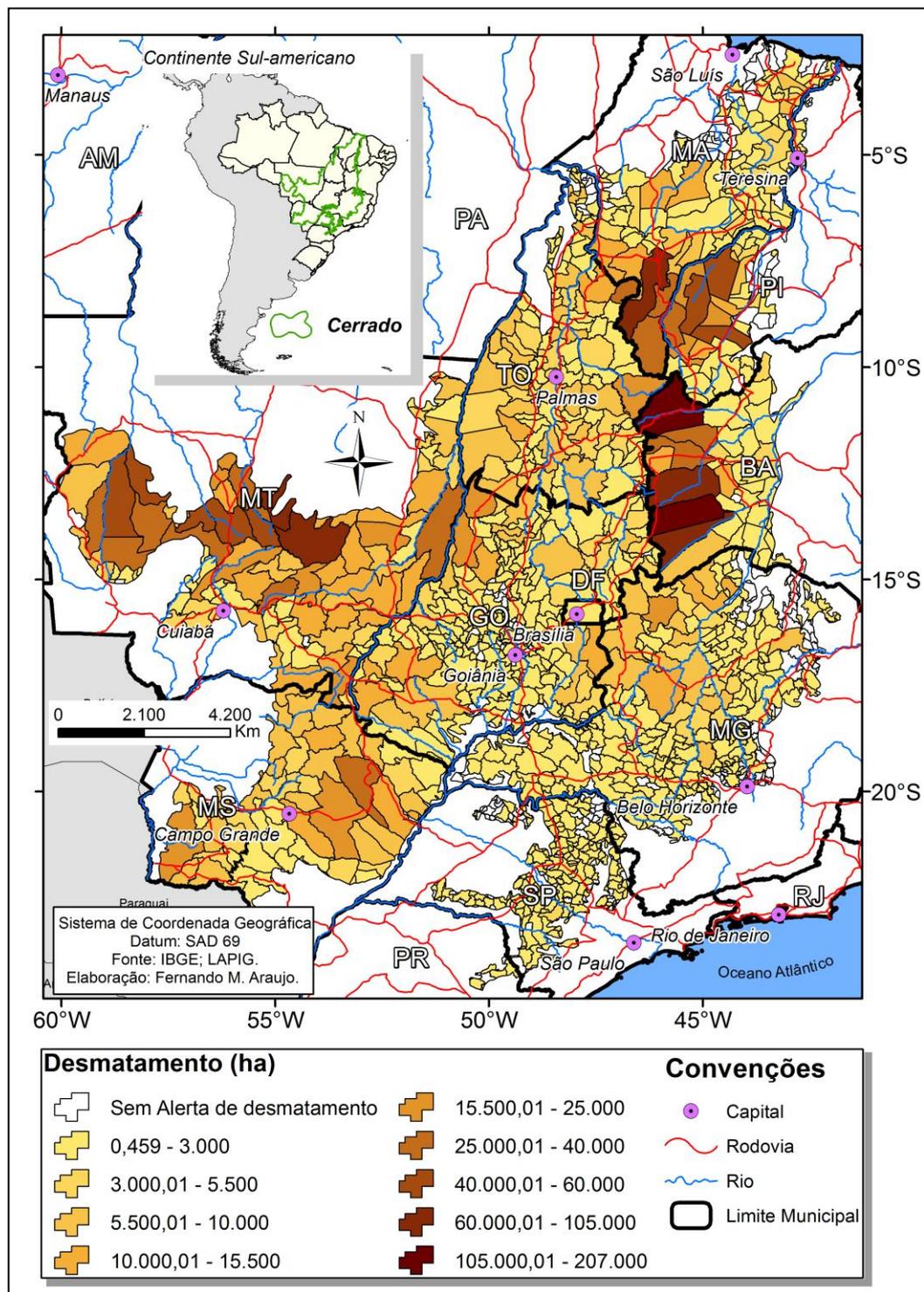


Figura 9 – Área desmatada no bioma Cerrado entre 2002 a 2009, segundo a divisão municipal. Fonte: LAPIG.

O intuito de utilizar os dados do SIAD Cerrado na análise do produto MCD45A1 foi o de avaliar a dependência entre desmatamentos e queimadas. Para tanto, procedeu-se à intersecção destas duas informações temáticas, conforme os limites municipais.

### 3.4.2.2.2 – Produtos de Anomalias Termiais (MOD14 e MYD14).

O produto de anomalias termiais, MODIS *fire products*, compreende o produto MOD14, a bordo do satélite Terra, e o produto MYD14, a bordo do satélite Aqua. Os horários de observação do sensor MOD14 são 10:30 e 22:30, enquanto do MYD14 é às 13:30 e 1:30. A obtenção diária dos dados de focos de calor (ativos), com uma resolução espacial de 1 Km, se baseia no uso das bandas centradas em 3.9  $\mu\text{m}$  e 11  $\mu\text{m}$  (JUSTICE et al., 2006).

O algoritmo utiliza a temperatura brilho das bandas 21 e 22, as quais estão posicionadas em torno de 4  $\mu\text{m}$ , e da banda 31, próxima à 11  $\mu\text{m}$ . As bandas 21 e 22 saturam aproximadamente na temperatura de 500 K e 331 K, respectivamente, enquanto a banda 31 em 400 K. O algoritmo do MODIS Active Fire é denotado como  $T_4$  e  $T_{11}$ , onde  $T_4$  baseia-se, sempre que possível, nos valores da banda 22 devido à baixa saturação e ruídos. Contudo, se a banda 22 saturar, o valor de  $T_4$  é obtido pela banda de maior saturação, banda 21.

Falsos alarmes de focos de calor são detectados com base nas bandas do vermelho (banda 1) infravermelho próximo (banda 2), centradas em 0.65  $\mu\text{m}$  e 0.86  $\mu\text{m}$ , respectivamente, com resolução espacial de 250 m (e reamostradas para 1km), conforme a alta reflectância da superfície. Tal reflectância é denotada pelo algoritmo como  $p_2$  (JUSTICE et al., 2002; JUSTICE et al., 2006; GIGLIO, 2010; RIVERA-LOMBARDI, 2009). O algoritmo do MODIS Active Fire para evitar falsas detecções de focos de calor segue alguns parâmetros, tais como, se todos os pixels em  $T_4 < 315$  K (305 à noite) ou  $T_4 - T_{11} < 10$  K (3 K à noite) ou  $p_2 > 0.3$  (apenas no período diurno). Contudo, para detecção de focos de calor reais, o algoritmo requer que pelo menos umas das condições sejam satisfeitas, onde, na primeira condição,  $T_4 > 360$  K (330 K à noite) ou, segunda condição,  $T_4 > 330$  K (315 K à noite) e  $T_4 - T_{11} > 25$  K (10 K à Noite) (JUSTICE et al., 2002; RIVERA-LOMBARDI, 2009).

Se nenhum desses parâmetros for encontrado, o algoritmo continua o processo de detecção, mas agora analisa os valores médios entorno do pixel de queimada através de três desvios padrões nos valores obtidos em  $T_4$  e  $T_4 - T_{11}$  (JUSTICE et al., 2002; RIVERA-LOMBARDI, 2009), onde:

- $T_4 > \text{média}(T_4) + 3 \text{ desvios padrões}(T_4)$ ; e
- $T_4 - T_{11} > \text{mediana}(T_4 - T_{11}) + 3 \text{ desvios padrões}(T_4 - T_{11})$ .

Os pixels do entorno, considerados como não queimadas, serão identificados seguindo parâmetros como  $T_4 < 325$  K (305 K à noite) e  $T_4 - T_{11} < 20$  K (10 à noite). No entanto, se

ambos os desvios padrões estiverem a baixo de 2 K, o valor de 2 K é usado em seu lugar. Se em qualquer situação apresentada durante a detecção de queimadas não identificar focos de calor ativo, o pixel será rotulado como desconhecido. Entretanto, As falsas detecções de focos de calor ativo durante o dia são rejeitadas se os pixels nas bandas 1 e 2 apresentarem uma reflectância acima de 30 % e na posição de reflexão especular de 40° (JUSTICE et al., 2002; RIVERA-LOMBARDI, 2009).

A análise de aproximação para validação do MCD45A1 com base nos dados do produto MODIS *Active fire* foi feita através da intersecção dos produtos de área queimada com os focos de calor ativos total (MOD14 + MYD14), como também, a partir do buffer de 1 Km da área queimada. Os dados do MODIS Active Fire utilizados para tal análise foram validados e enviados por Schroeder et al. (2008), dados os quais atribuem maior confiabilidade e acurácia para presente proposta do estudo. Na página web do INPE<sup>6</sup> é possível obter dados de focos de calor ativos do MODIS *Active Fire* para todas as regiões do Brasil.

A tabela 5 mostra a quantidade de focos de calor detectada pelo MODIS Active Fire (MOD14 - Terra e MYD14 - Aqua) entre os anos de 2002 a 2008 no bioma Cerrado (SCHROEDER et al., 2008). Os dados da tabela 1 mostram que o MYD14 detectou maior quantidade de focos de calor ativos em relação ao MOD14 entre 2003 a 2007 no período vespertino, enquanto que para o ano de 2002 os focos de calor validos ocorreram em maior concentração no período de registro do MOD14.

Tabela 5 – Quantidade de focos de calor registrados pelo MODIS Active Fire entre 2002 a 2008 no bioma Cerrado.

<b>MODIS Active Fire</b>			
<b>ANO</b>	<b>MOD14</b>	<b>MYD14</b>	<b>MOD14 + MYD14</b>
2002	69.078	7.524	76.602
2003	52.330	82.834	135.164
2004	64.537	91.349	155.886
2005	58.118	84.89	58.118
2006	34.729	54.577	89.306
2007	102.286	146.465	248.751
2008	41.978	58.091	100.069
Total	423.056	440.840	863.896

Fonte: Schroeder et al. (2008)

<sup>6</sup> <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>

### **3.4.3 - 3º Procedimento**

A análise dos padrões de distribuição das cicatrizes de queimada discriminadas pelo produto MODIS MCD45A1 na região do bioma Cerrado teve por base informações temáticas, entre elas os dados do PROBIO Cerrado, SIAD-Cerrado, limites das Otobacias nível 6, unidades de conservação (UCs), áreas prioritárias, áreas protegidas e os limites estadual e municipal do IBGE para o território brasileiro. A seguir será mostrado algumas características e a metodologia de análise empregada em cada informação temática.

#### **3.4.3.1 – *Mapa de uso terra e cobertura vegetal natural do PROBIO Cerrado.***

O Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica (PROBIO) para o bioma Cerrado tem a premissa de subsidiar o governo brasileiro a identificar ações prioritárias e difundir informações sobre a biodiversidade junto ao Programa Nacional da Diversidade Biológica (PRONABIO) (MMA, 2007; Sano et al., 2010).

O PROBIO Cerrado identificou 36 classes de cobertura da terra para o Cerrado, as quais estão divididas em cobertura vegetal antrópica (5 classes) e cobertura vegetal natural (31 classes). As classes que compõe a cobertura vegetal antrópica são: área com influência urbana, área degradada por mineração, cultura agrícola, pastagem cultivada e reflorestamento por pinus ou eucalipto, representando, assim, 39,5% da área total do Bioma Cerrado, onde aproximadamente 26,5% e 10,5% do bioma corresponde as áreas de pastagens e agricultura, respectivamente (MMA, 2007; SANO et al., 2007; SANO et al., 2008). Em relação à cobertura vegetal natural, que corresponde a 60,5% da área total do Cerrado, temos três principais grupos fitoecológicos, i.e. florestal, savânico e campestre. A região fitoecológica savânica corresponde a 61% da cobertura natural do Cerrado, enquanto 32% e 7% se referem às regiões florestal e campestre, respectivamente. Na figura 10 temos a espacialização das principais classes de uso e cobertura vegetal da terra para o bioma Cerrado segundo o PROBIO.

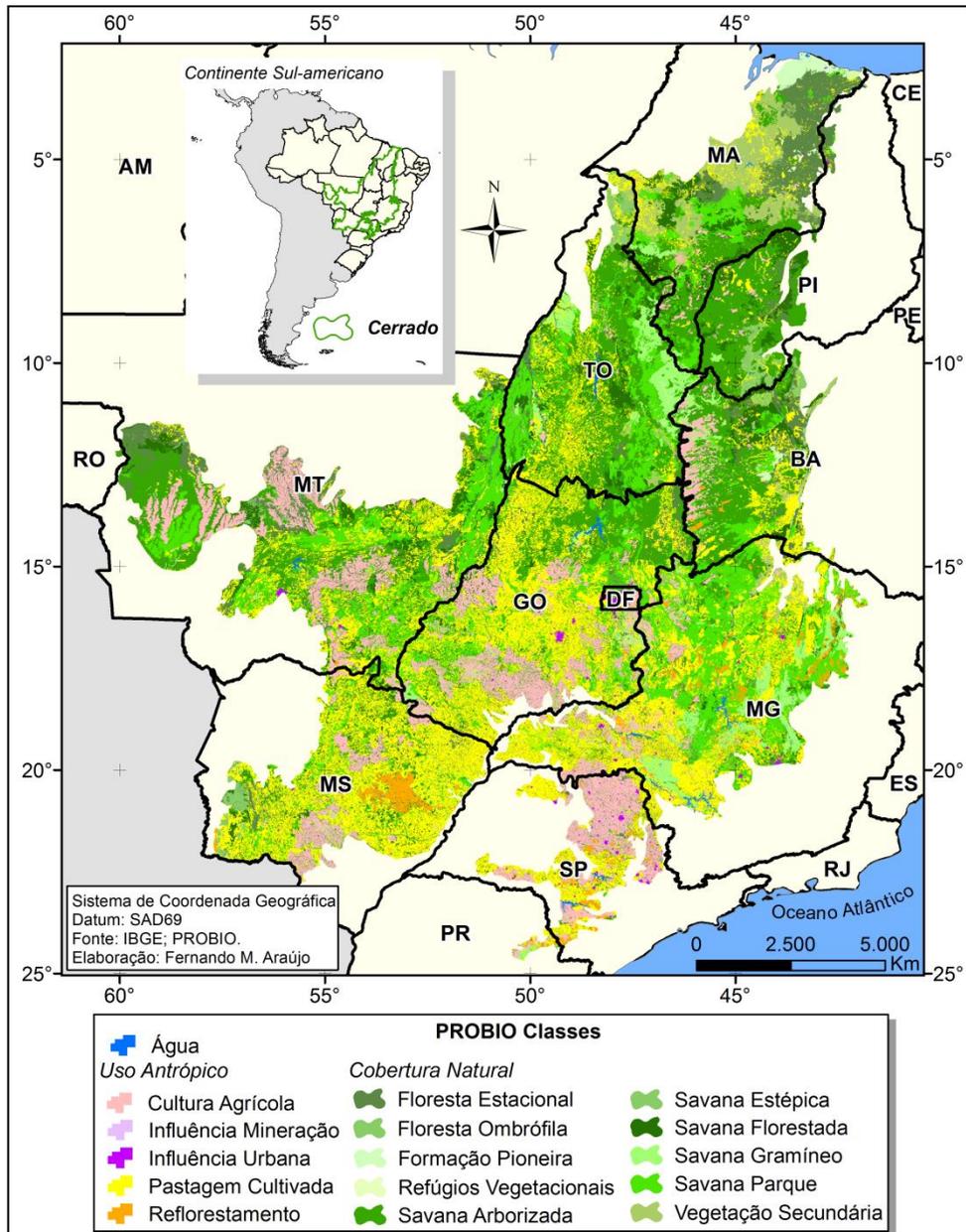


Figura 10 – Classes de uso da terra e cobertura natural para o bioma Cerrado.

Com o mapa de uso e cobertura vegetal natural da terra para o Cerrado dividido em 15 classes, procedeu-se à quantificação da área queimada somente para o ano de 2002, já que o ano base do PROBIO é 2002.

### 3.4.3.2 – *Bacias hidrográficas (Ottobacias Nível 6)*

Devido à importância da bacia hidrográfica no contexto de gestão dos recursos hídricos, como também nas questões relativas ao planejamento territorial, urbano, ambiental e de

avaliações interdisciplinares, como é o caso dos estudos e relatórios de impactos ambientais (EIA/RIMA), procedemos à intersecção das áreas queimadas mapeadas pelo MCD45A1 com os limites hidrográficos propostos pela Ottobacia nível 6 para o bioma Cerrado, como também utilizou-se tal limite para quantificação e espacialização das áreas de agricultura, pastagem e vegetação remanescente queimadas.

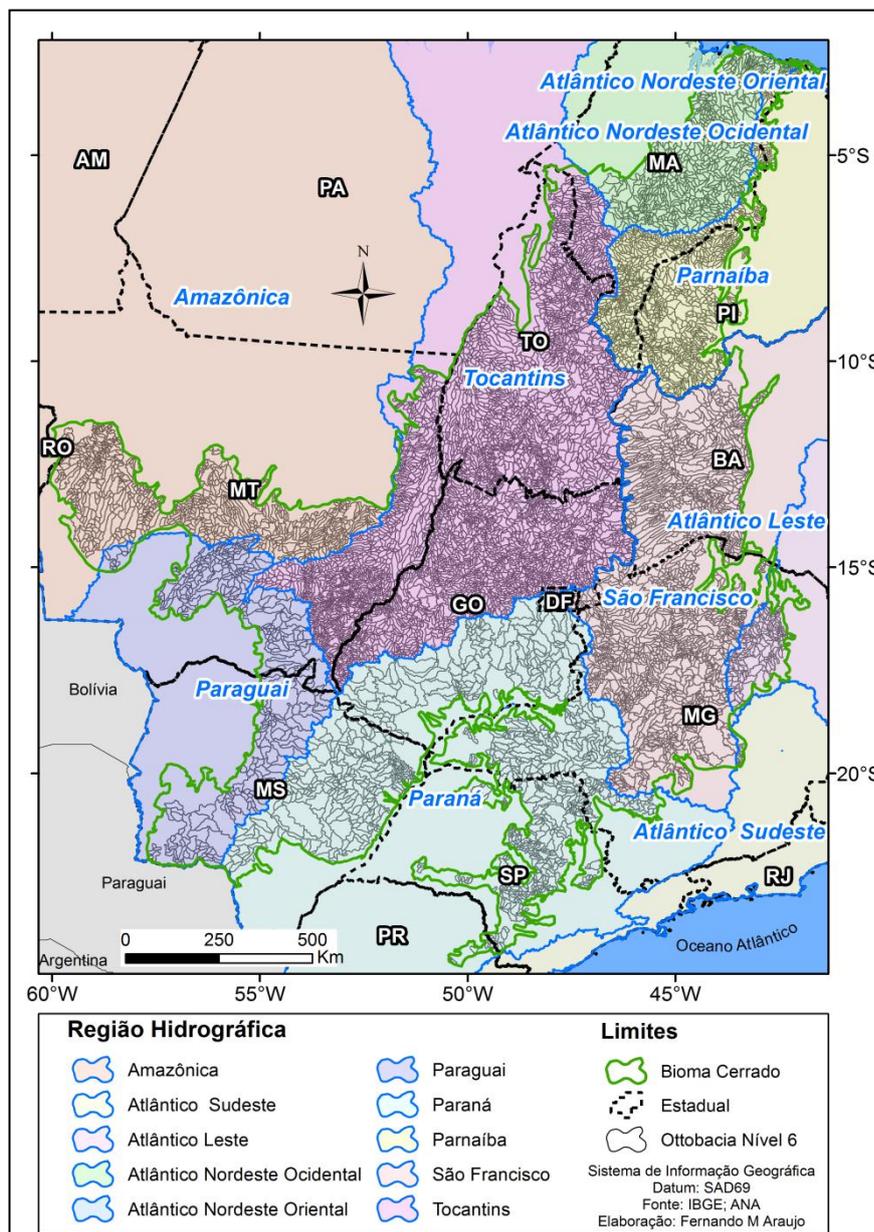


Figura 11 – Localização das principais regiões hidrográficas do Brasil e das Ottobacias nível 6 na região do bioma Cerrado.

Na figura 11 temos a localização das 10 regiões hidrográficas do Brasil e das Ottobacias (nível 6) presentes no limite do bioma Cerrado. De acordo com a delimitação de

bacias hidrográficas com maior detalhe proposta pelo método de divisão da Ottobacia nível 6 (ANA, 2006), há no Cerrado cerca de 13.622 bacias.

Para este estudo foram consideradas somente as Ottobacias de nível 6 que estão totalmente contidas no limite territorial do Cerrado, já que o método empregado na análise é o sistêmico, o qual analisa todas as variáveis presentes na bacia hidrográfica de forma integrada, as quais podem influenciar positivamente ou negativamente no funcionamento da bacia hídrica.

### **3.4.3.3 – Unidades de conservação**

A Lei N° 9.985, de 18 de julho de 2000 instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), que preconiza a conservação e o manejo sustentável dos recursos naturais. Dentre os objetivos dessa lei federal está à manutenção da diversidade biológica, proteger espécies ameaçadas de extinção, recursos hídricos e edáficos; contribuir para restauração e preservação dos ecossistemas naturais e degradados; promover a educação ambiental e o turismo ecológico, etc. Posteriormente, foi criado o Decreto N° 4.340, de 22 de agosto de 2002, a qual regulamenta artigos da Lei N° 9.985, de 18 de julho de 2000, tais como os artigos 22 (criação, implantação e gestão das UCs), 25 (criação de corredores ecológicos) e 27 (criação de plano de manejo para UCs) (BRASIL, 2000; MMA/SBF, 2004).

De acordo com os dados obtidos na página web do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA)<sup>7</sup>, o território brasileiro, atualmente, possui 523 áreas de proteção integral e 704 áreas de uso sustentável. No limite do bioma Cerrado encontram-se 119 e 120 áreas de proteção integral e uso sustentável, respectivamente. Em relação à área total do Cerrado, as unidades de conservação de proteção integral e de uso sustentável representam, respectivamente, cerca 2,59% (52.895 Km<sup>2</sup>) e 4,58% (96.478 Km<sup>2</sup>), proporcionalmente.

Além da espacialização da ocorrência de áreas queimada em unidades de conservação (UCs) entre 2002 a 2008, também analisamos as áreas prioritárias e protegidas localizadas no bioma Cerrado. A criação de áreas prioritárias está relacionada à proteção de espécies ameaçadas, raras e endêmicas, já que contribui para a conservação de outros habitats, espécies e ecossistemas.

---

<sup>7</sup> <http://www.ibama.gov.br/zonamento-ambiental/>

As áreas prioritárias, de acordo com o MMA, são classificadas com base na sua importância biológica, sendo assim, temos áreas extremamente altas (alta riqueza de espécies endêmicas, ameaçadas, raras e/ou fenômeno biológico), muito altas (média riqueza de espécies endêmicas, ameaçadas, raras e/ou representam extensos remanescentes significativos), altas (alta riqueza de espécies em geral, raras ou ameaçadas e/ou representam extensos remanescentes significativos ou alto grau de conectividade), e áreas insuficientemente conhecidas (provável importância biológica). Quanto à urgência das ações temos a seguinte classificação: extremamente alta, muito alta e alta (BRASIL, 2007). No Cerrado, foram delimitadas 250 áreas prioritárias, as quais ocupam uma área de 765.948 Km<sup>2</sup> ou 38% do território savânico.

Quanto às áreas protegidas no Brasil, estas podem ser classificadas em Área de Preservação Permanente (APP), Reserva Legal (RL), Terras indígenas (TI), Unidades de Conservação (UC), Corredores Ecológicos (CE), estações ecológicas (ESEC), Reserva Biológica (REBIO), etc. No bioma Cerrado foram delimitadas 181 áreas protegidas, as quais representam 8% (167.611 Km<sup>2</sup>) da área do bioma. Na tabela 6 temos as áreas protegidas criadas, até esse momento da análise, no bioma Cerrado.

Tabela 6 - Unidades de áreas protegidas localizadas no bioma Cerrado.

<b>ÁREAS PROTEGIDAS - BIOMA CERRADO</b>			
<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>% do Cerrado</b>
Área de Proteção Ambiental Especial Estadual (A.P.E.E)	5	1.013	0,05
Área de Proteção Ambiental (APA)	8	28.528	1,40
Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE)	10	136	0,01
Estação Ecológica (ESEC)	26	12.050	0,59
Floresta Estadual (FLOES)	3	155	0,01
Floresta Nacional (FLONA)	4	81	0,00
Monumento Natural (MN)	1	292	0,01
Parque Estadual (PE)	37	14.409	0,71
Parque Nacional (PN)	15	40.164	1,97
Reserva Biológica (REBIO)	10	346	0,02
Reserva Ecológica (RESEC)	3	16	0,00

<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>% do Cerrado</b>
Reserva Extrativista (RESEX)	5	1.318	0,06
Refúgio de Vida Silvestre (RVS)	3	2.410	0,12
Terras indígenas (TI)	51	66.692	3,27
<b>TOTAL</b>	<b>181</b>	<b>167.611</b>	<b>8</b>

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

##### **4.1. Validação dos dados MCD45A1**

A primeira etapa da validação dos dados de área queimada discriminados pelo produto MCD45A1, a partir de imagens LANDSAT TM, se mostrou bastante satisfatória, uma vez que a resolução espacial do produto de área queimada MODIS é de 500 m, onde, dos 11.126 polígonos inspecionados visualmente, distribuídos entre 16 órbitas/pontos LANDSAT e um total de 35 imagens, 100% dos polígonos foram rotulados positivamente como queimadas reais, corroborando assim a alta precisão do algoritmo de detecção e seleção de áreas queimadas do produto MCD45A1.

A classe de cobertura e uso da terra que mais sofreu com os efeitos das queimadas no bioma Cerrado foi a de vegetação natural, em todas as regiões; i.e. cerca de 82% dos polígonos de áreas queimadas inspecionados (9.070) se localizaram em áreas remanescentes, enquanto 12% (1.361) e 6% (695) dos polígonos restantes foram marcados em áreas de agricultura e pastagem, respectivamente. Na tabela 7 temos a proporção de área queimada por classes de cobertura e uso terra em cada órbita/ponto LANDSAT analisada na validação do produto MCD45A1.

Tabela 7 – Proporção de áreas queimadas por classes de uso e cobertura da terra, conforme as cenas LANDSAT TM utilizadas na validação do produto MCD45A1.

<b>LANDSAT TM</b>	<b>Proporção (%) de área queimada</b>		
	<b>Agricultura</b>	<b>Pastagem</b>	<b>Vegetação Natural</b>
Órbita/Ponto 219/70	0	1	99
219/72	9	4	88

Órbita/Ponto	Agricultura	Pastagem	Vegetação Natural
220/68	7	1	93
220/74	42	5	53
221/64	1	8	92
221/65	6	0	94
221/70	0	1	98
221/72	22	15	63
222/66	2	1	97
223/68	0	2	98
223/69	0	1	99
224/67	0	42	58
224/70	0	1	99
226/70	10	1	90
226/74	0	7	93
228/70	7	0	93

A extensão total da área queimada inspecionada foi de 43.975 Km<sup>2</sup>, onde 40.864 Km<sup>2</sup> (ou 93%) ocorreram em áreas de cobertura vegetal natural, enquanto 3.111 Km<sup>2</sup> (ou 7%) em regiões de cobertura vegetal antrópica, sendo que 1.463 Km<sup>2</sup> (3%) e 1.648 Km<sup>2</sup> (4%) das queimadas foram registradas em áreas de agricultura e pastagem, respectivamente. Na figura 12 temos a distribuição da área queimada detectada a partir do produto MCD45A1, validada conforme os tipos de cobertura e uso terra utilizados na análise.

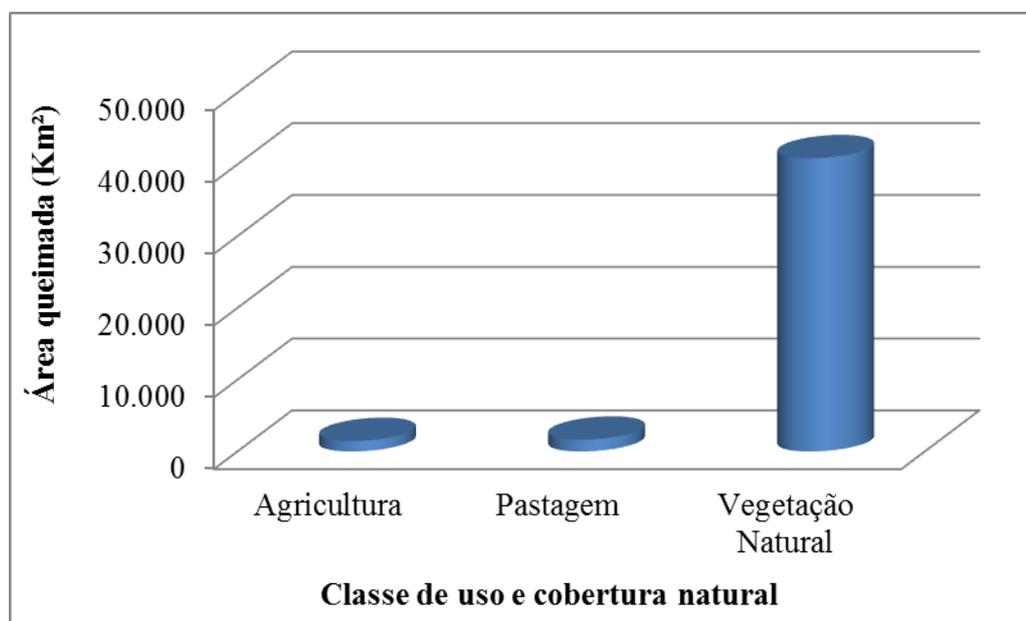


Figura 12 – Distribuição da área queimada (MCD45A1) conforme os principais tipos de cobertura e uso da terra para o bioma Cerrado.

As imagens LANDSAT TM que apresentaram porcentagens mais significativas de queimada sobre áreas de agricultura e pastagem, foram justamente as que se encontram nas principais regiões de produção agropecuária do Brasil, tais como, 219/72 (MG), 220/68 (BA), 220/74 (MG e SP), 221/65 (MA), 221/72 (GO) e 226/70 (MT). Em relação à imagem 220/74 (localizada entre nos estados de São Paulo e Minas Gerais), a qual apresentou a menor proporção de área queimada em regiões remanescentes, este fato se deve ao predomínio do cultivo da cana-de-açúcar e da produção sucroalcooleira nessa região (segundo os dados do CANASAT-INPE<sup>8</sup>), atividade que ainda utiliza a queimada durante o processo de colheita.

As figuras 13, 14, 15 e 16 demonstram a espacialização e exatidão do mapeamento da área queimada pelo produto MODIS MCD45A1 na região do Cerrado, em relação às imagens LANDSAT TM, cujas composições RGB 4 (infravermelho próximo), 5 (infravermelho médio) e 3 (vermelho) ressaltam as cicatrizes de queimadas, haja vista a alta absorção da radiação referente aos comprimentos de onda localizados nos intervalos das bandas 4 e 5 por conta da queima parcial ou total da biomassa.

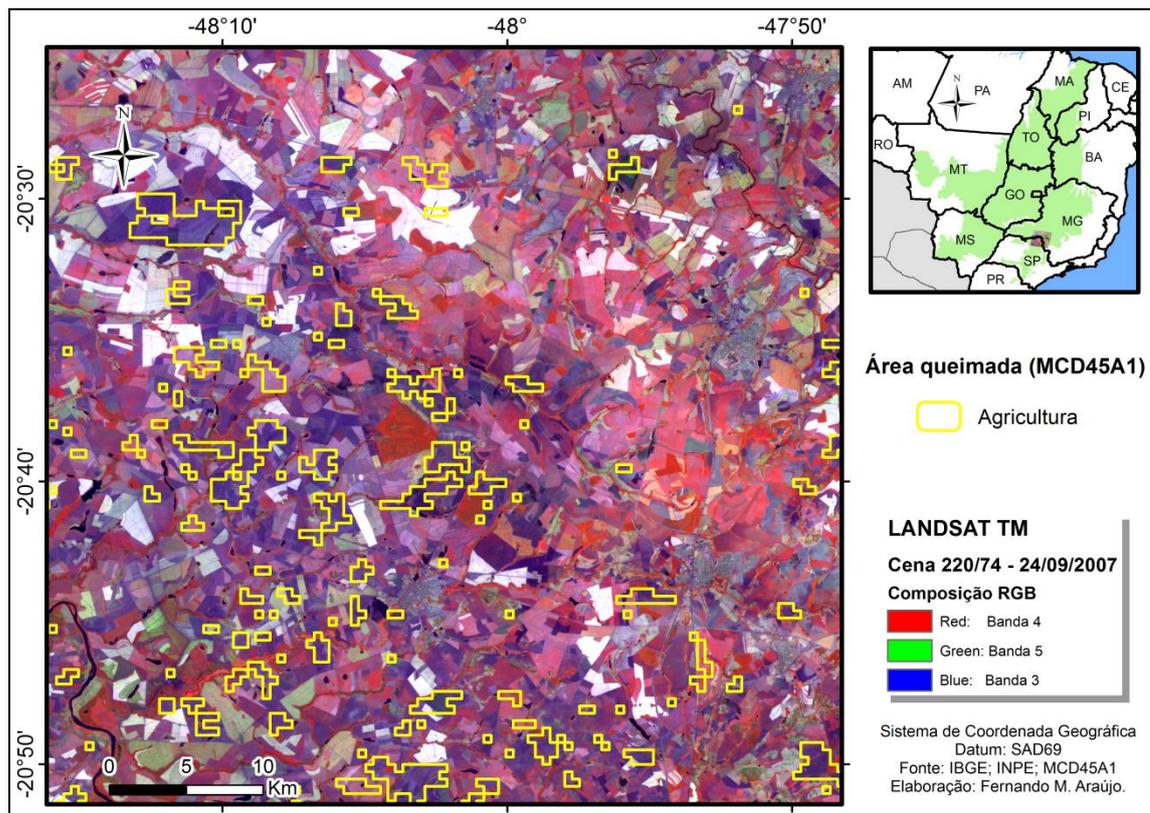


Figura 13 – Espacialização da área queimada (MCD45A1) em relação à cena LANDSAT TM 220/74.

<sup>8</sup>Página web: <http://150.163.3.3/canasat/>

Na figura 13 temos a espacialização das áreas queimadas mapeadas pelo produto MCD45A1 em uma região de produção de cana-de-açúcar, localizada entre os estados de São Paulo e Minas Gerais. Pode-se notar que cada polígono discriminado em cor amarela localiza-se precisamente sobre uma área queimada (tons de magenta) evidenciada pela imagem LANDSAT TM, órbita/ponto, 220/74. Observar que algumas queimadas evidenciadas na cena TM (figura 13), não estão sobrepostas por polígonos MCD45A1, haja vista que estas áreas foram contabilizadas em julho de 2007.

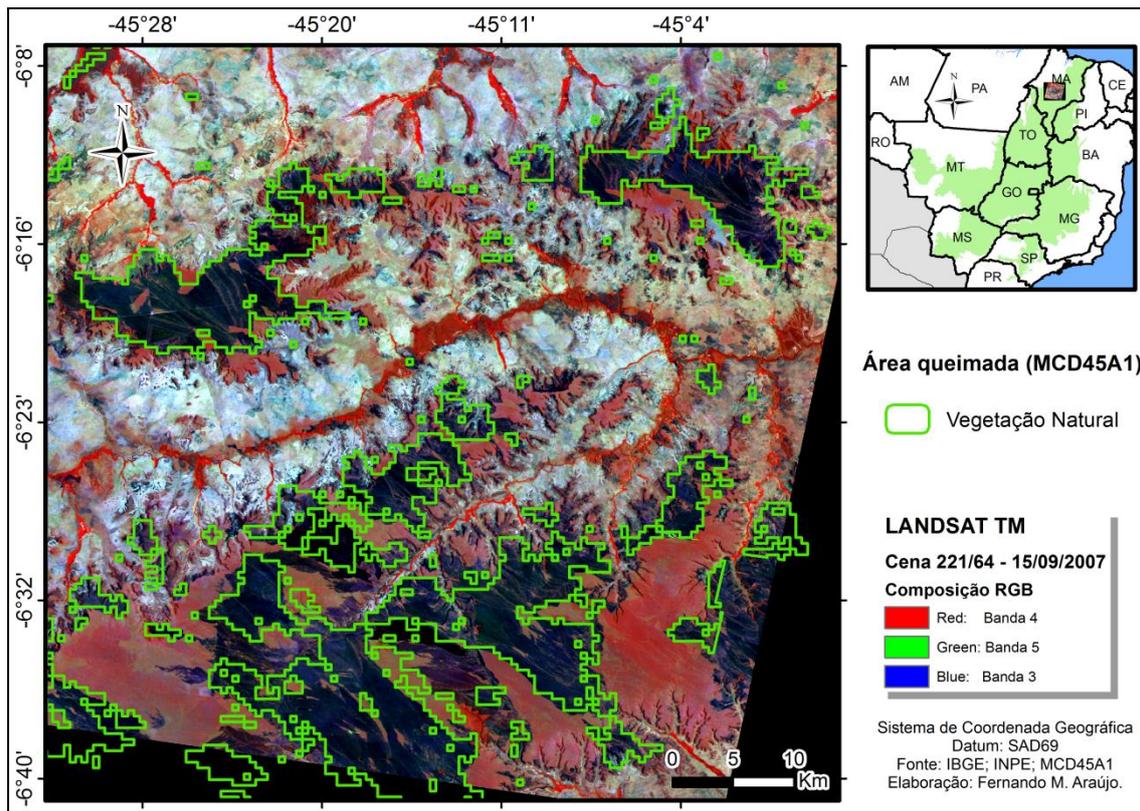


Figura 14 – Espacialização da área queimada (MCD45A1) em relação à cena LANDSAT TM 221/64.

Na figura 14 (acima), temos outro exemplo da exatidão do algoritmo de detecção de áreas queimadas do produto MODIS. Essa figura, referente à cena LANDSAT TM 221/64, nos mostra grandes extensões de áreas queimadas em regiões de vegetação natural, as quais ocorreram no extremo norte do bioma Cerrado, no estado do Maranhão.

Comparativamente à figura 14, a figura 15 pode-se notar um melhor delineamento das queimadas pelo algoritmo MCD45A1 em regiões de vegetação natural, o que se deve tanto à extensão contínua da área queimada, quanto à grande quantidade de material vegetal combustível, principalmente em época de seca (maio a setembro) quando a vegetação natural

possui menor índice de umidade foliar. Por outro lado, em regiões com cobertura antrópica, com agricultura e/ou pastagem, as queimadas ocorrem em extensões de áreas limitadas, em geral controladas, o que resulta em maior fragmentação dos polígonos detectados.

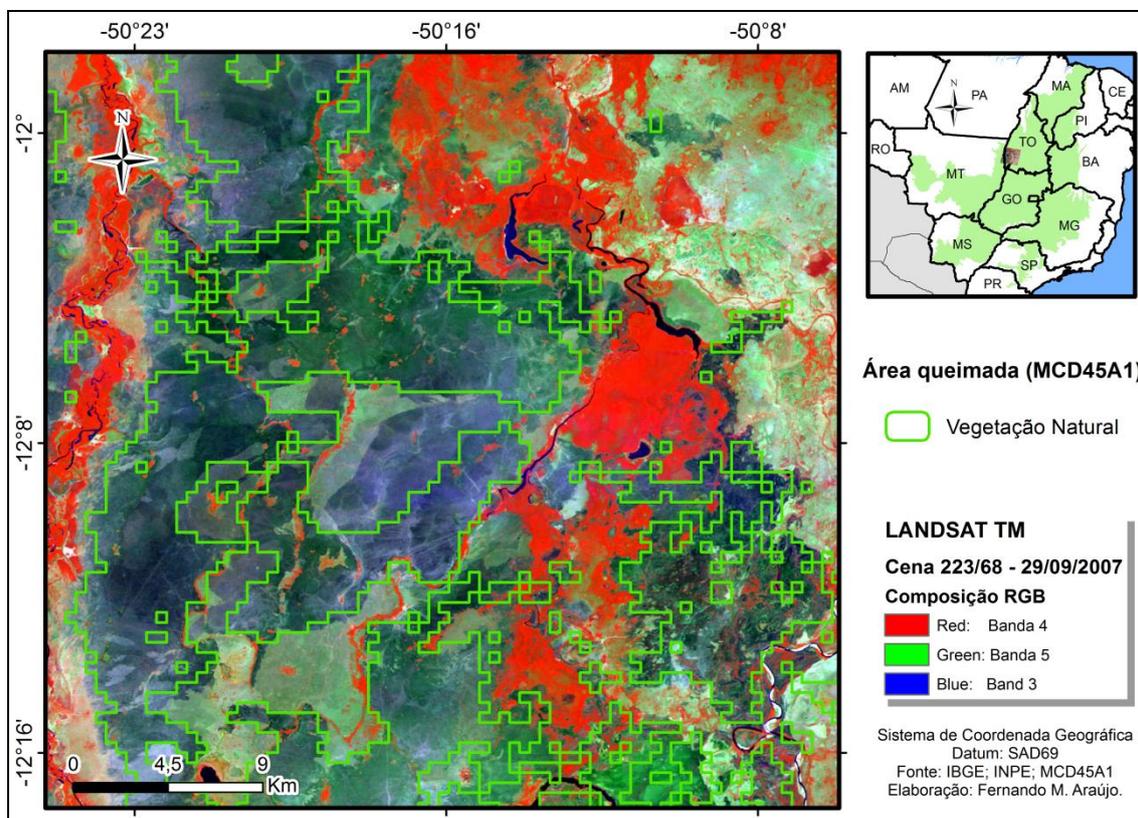


Figura 15 – Espacialização da área queimada (MCD45A1) em relação à cena LANDSAT TM 223/68.

Especificamente em relação à figura 15, esta mostra uma extensa queimada que ocorreu em área de vegetação natural entre agosto e setembro de 2007, localizada entre os estados de Goiás, Mato Grosso e Tocantins e entre as cenas LANDSAT TM 223/67, 68 e 69. Conforme o mapeamento realizado pelo PROBIO Cerrado (MMA, 2007), essa extensa queimada ocorreu sobre a classe fitofisionômica Savana Parque com Floresta de Galeria, caracterizada por apresentar regiões de acumulações inundáveis (lençol freático raso), localizada na área de recarga do Rio Araguaia.

Como último exemplo da validação dos dados MCD45A1, temos na figura 16 a espacialização das áreas queimadas sobre a cena LANDSAT TM 226/70, no estado do Mato Grosso. Podemos notar que as regiões queimadas que apresentam extensões maiores ou iguais a 500 hectares são mais bem delineadas pelo algoritmo de detecção do produto MCD45A1. É interessante observar que a qualidade deste delineamento também depende da intensidade da

queima do material combustível, bem como da sazonalidade, a qual, quanto mais pronunciada, mais dificuldades traz à correta delimitação de áreas queimadas, podendo até mesmo contribuir para erros de comissão.

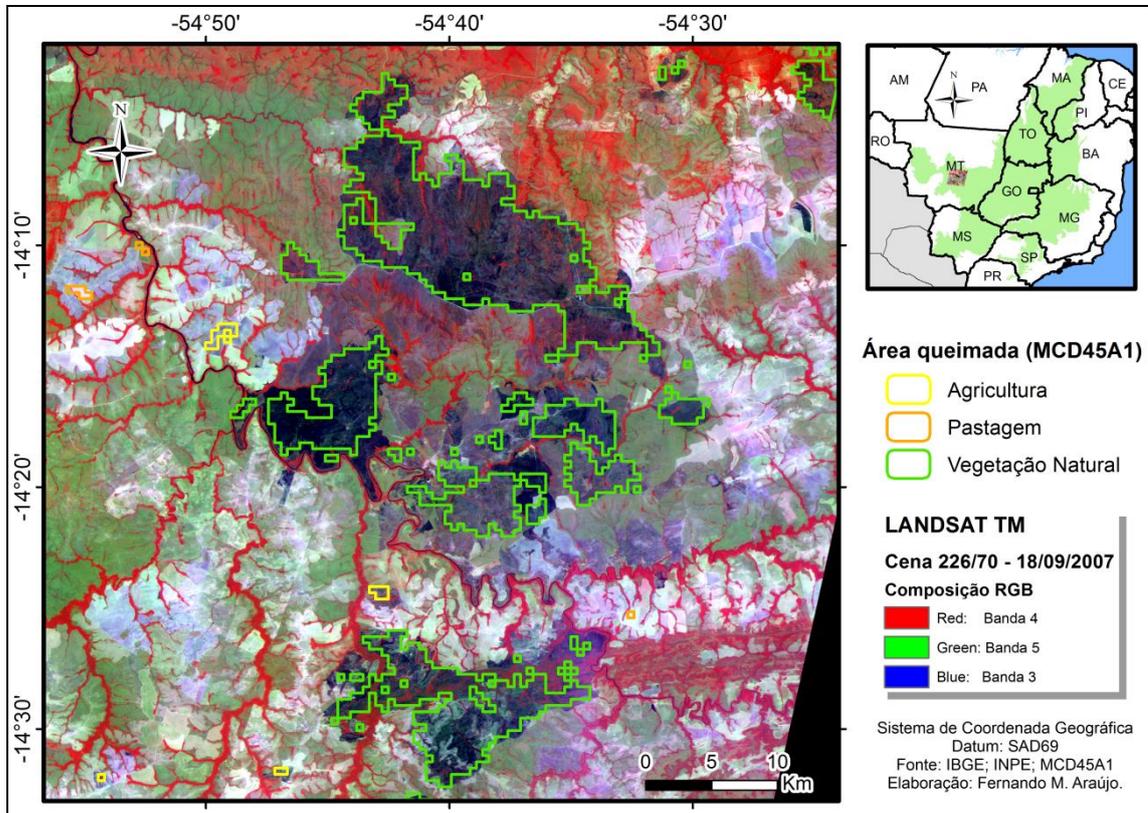


Figura 16 – Espacialização da área queimada (MCD45A1) em relação à cena LANDSAT TM 226/70.

Partindo do pressuposto de que a utilização somente do dado de área queimada com alta confiabilidade de registro (*ba pixel qa* valor 1) subestima a área queimada total no bioma Cerrado, já que algumas regiões queimadas que são discriminadas com imagens LANDSAT TM através da inspeção visual não foram mapeadas pelo produto MCD45A1, foram vetorizadas manualmente 102 áreas de queimadas, escolhidas aleatoriamente, com base nas imagens LANDSAT TM utilizadas no processo de validação do produto MCD45A1.

O resultado dessa comparação revela que o produto MCD45A1, para a grande maioria dos polígonos de queimadas rotulados com alta confiabilidade (1), subestima a área queimada real localizada no bioma Cerrado, uma vez que a área queimada total discriminada através da inspeção visual em imagens LANDSAT TM foi de 7.253 Km<sup>2</sup>, enquanto pelo produto MCD45A1, confiabilidade 1, registrou uma área de 4.725 Km<sup>2</sup>, i.e. 35% menor em relação à imagem de maior resolução espacial. Essa comparação corrobora a constatação de que quanto

maior e mais homogênea a área queimada, melhor esta é delimitada pelo algoritmo do MCD45A1, decrescendo assim os erros de omissão. Na Figura 17 temos alguns exemplos de áreas queimadas registradas pelo LANDSAT TM e MODIS MCD45A1.

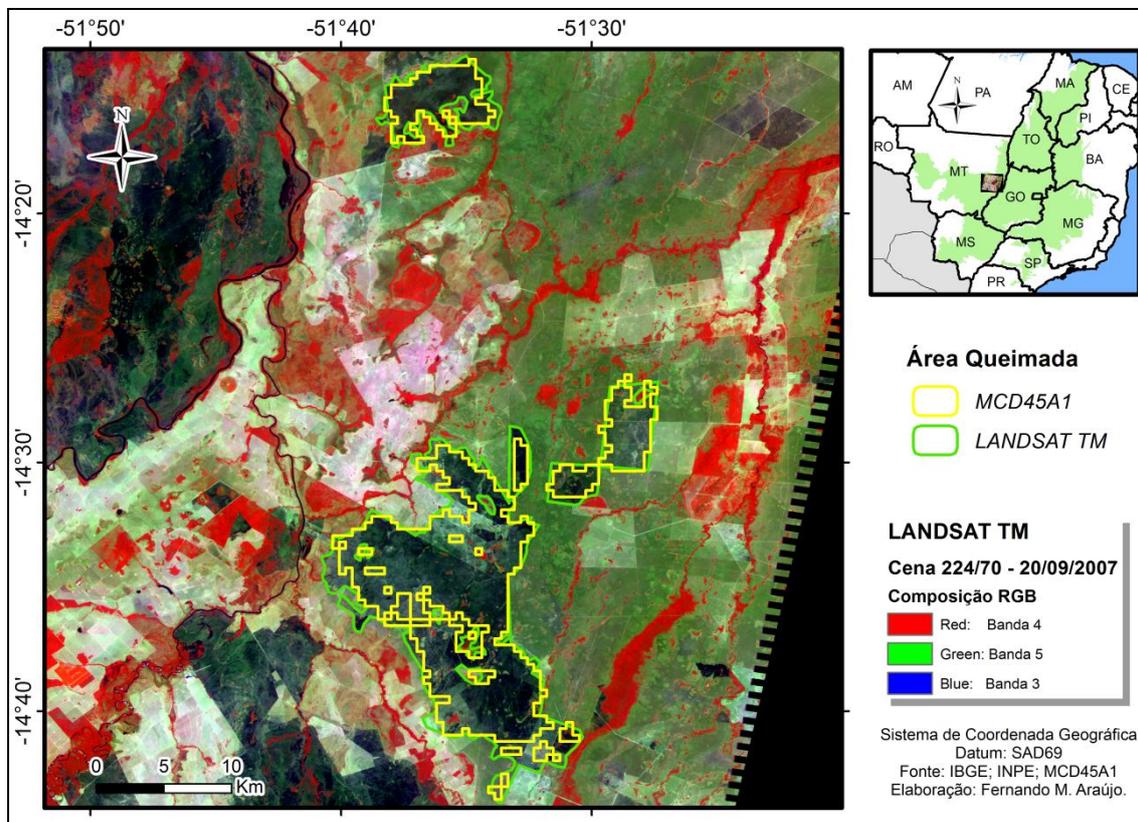


Figura 17 – Comparação do dado MCD45A1 com a área queimada discriminada através de imagem LANDSAT TM.

Nesta figura, nota-se que os limites das áreas queimadas discriminadas pelo produto MCD45A1 aproximam-se bastante das queimadas delimitadas com base na imagem LANDSAT TM de maior resolução espacial. Em fato, a correlação entre as áreas detectadas como queimadas nas imagens TM e através do produto MODIS MCD45A1 é bastante alta ( $r = 0.84$ ), conforme observado na figura 18.

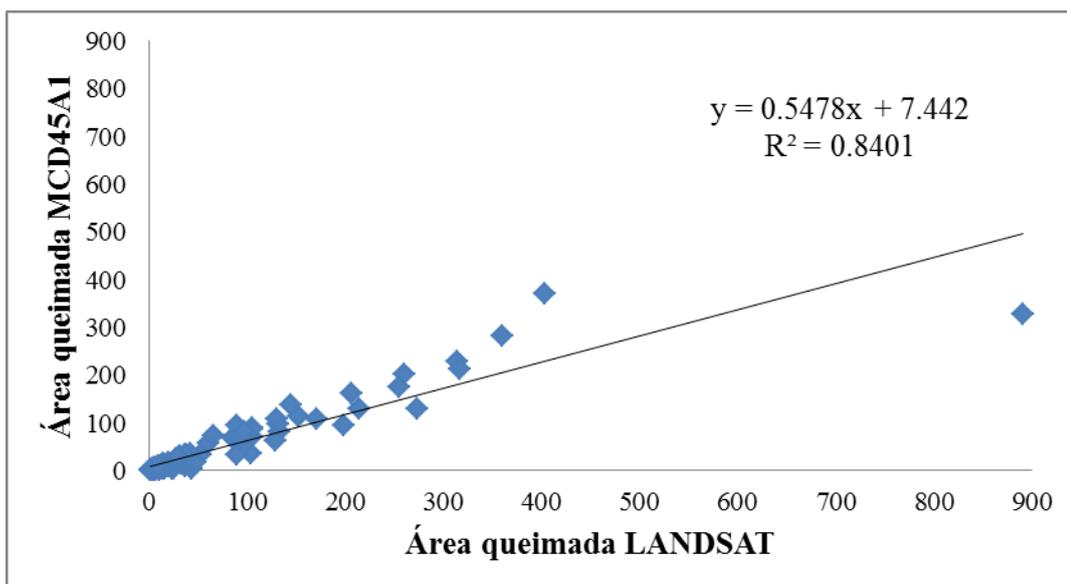


Figura 18 – Correlação da área queimada discriminada através de imagens LANDSAT TM e do produto MODIS MCD45A1.

#### 4.1.1. SIAD Cerrado

Os dados do SIAD Cerrado informam que entre 2002 a 2009 no bioma Cerrado foi desmatada uma área de 36.500 Km<sup>2</sup>. Reservando as proporções dos dois mapeamentos (resolução espacial do sensor MODIS MCD45A1 – 500 m; SIAD – 250 m) e os processos antrópicos e/ou naturais presentes no decorrer das práticas de desmatamento e queimadas, temos que para o mesmo período analisado, o desmatamento de áreas naturais remanescentes corresponde a 9.4% da área queimada no Cerrado, que é de 387.285 Km<sup>2</sup>.

Comparando os dados de área desmatada e queimada para os municípios contidos nos limites do bioma Cerrado, temos uma correlação moderada ( $r = 0.57$ ), o que sugere a presença de queimadas durante os meses que antecedem ou sucedem os desmatamentos, ainda que parte considerável das queimadas detectadas ocorrem de forma independente da conversão de áreas remanescentes, haja vista que a extensão das áreas queimadas também depende de outras variáveis, como o clima seco, a baixa umidade do ar e redução na evapotranspiração, elevada temperatura e a quantidade/densidade do material combustível seco disponível. À essas características naturais do material combustível (biomassa seca, galhos, etc.) para a ocorrência de queimadas podemos associar as atividades antrópicas, tais como a pastagem (abertura e/ou renovação de pastos para desenvolvimento da pecuária), agricultura (limpeza das áreas com restos de biomassa durante a implementação de novas áreas ou após colheita da

produção) ou ainda incêndios criminosos, os quais atingem principalmente as áreas de parques e reservas naturais (Figura 19).

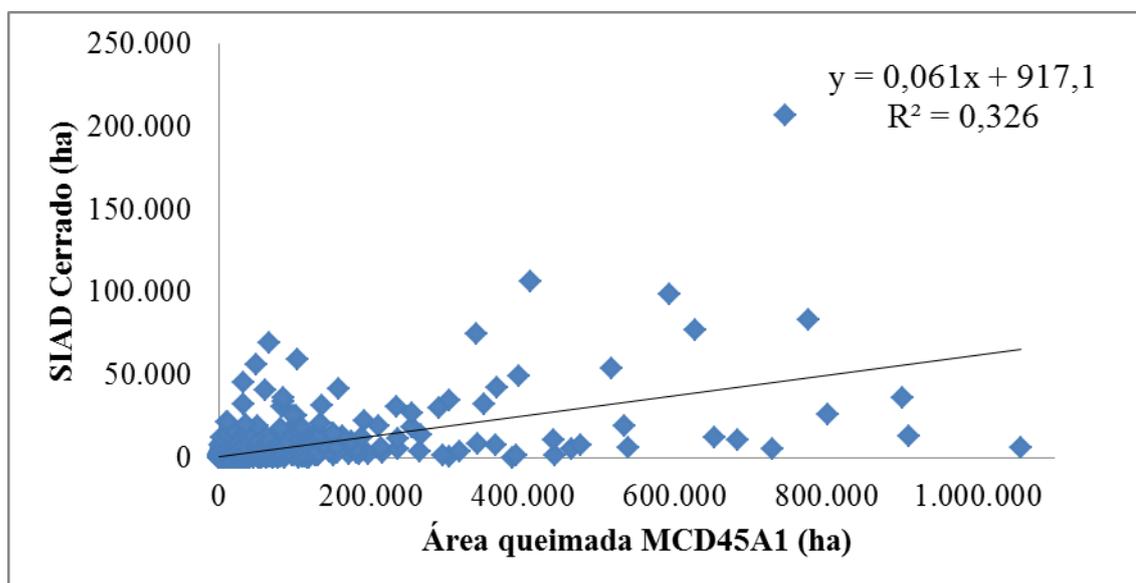


Figura 19 – Relação entre os alertas de desmatamentos (dados SIAD Cerrado) e área queimada (dados MCD45A1) entre 2002 a 2008 para o bioma Cerrado.

Em função da correlação moderada entre os dados da área queimada (MCD45A1) e os alertas de desmatamentos (SIAD Cerrado), temos que os municípios que apresentaram maiores áreas desmatadas não necessariamente foram os que mais tiveram registros de cicatrizes de queimadas. A tabela 8 mostra os dez municípios que apresentaram as maiores áreas de desmatamentos (SIAD Cerrado) e queimadas (MCD45A1) no bioma Cerrado. Enquanto o município de Formosa do Rio Preto situa-se entre os dez municípios com as maiores áreas desmatadas e queimadas no bioma Cerrado, o município de Formoso do Araguaia, com mais de 10 mil de Km<sup>2</sup> de área queimada, não está entre os municípios com maior discriminação de alertas de desmatamentos gerados pelo SIAD Cerrado.

Tabela 8 – Municípios com maior discriminação de alertas de desmatamentos (SIAD Cerrado) e de áreas queimadas (MCD45A1) no bioma Cerrado entre 2002 a 2008.

<b>SIAD Cerrado</b>		
<i>Municípios</i>	<i>Estado</i>	<i>Desmatamento (Km<sup>2</sup>)</i>
Baixa Grande do Ribeiro	PI	539,46
Brasnorte	MT	564,02
Nova Mutum	MT	598,52
Nova Ubiratã	MT	698,48
Jaborandi	BA	750,18
Balsas	MA	773,46

<i>Municípios</i>	<i>Estado</i>	<i>Desmatamento (Km<sup>2</sup>)</i>
Paranatinga	MT	834,79
São Desidério	BA	990,38
Correntina	BA	1.067,61
Formosa do Rio Preto	BA	2.066,97
<b>MCD45A1</b>		
<i>Municípios</i>	<i>Estado</i>	<i>Área Queimada (Km<sup>2</sup>)</i>
Balsas	MA	6.271,50
Barra do Garças	MT	6.528,05
Campinápolis	MT	6.837,59
Lagoa da Confusão	TO	7.290,51
Formosa do Rio Preto	BA	7.453,74
Paranatinga	MT	7.769,65
Tangará da Serra	MT	8.009,58
Cocalinho	MT	9.009,41
Ribeirão Cascalheira	MT	9.094,33
Formoso do Araguaia	TO	10.564,79

Realizando a Intersecção dos dados vetoriais da área total queimada discriminada pelo produto MCD45A1 com os de alertas de desmatamentos do SIAD Cerrado mapeados entre 2002 a 2008, cerca de 61,6% (ou 22.471 Km<sup>2</sup>) do total desmatado, 36.500 Km<sup>2</sup>, foram atingidos pelos efeitos das queimadas, seja em áreas de renovação de pastagem ou limpeza de áreas para preparo e plantio de determinada cultura agrícola, enquanto 14,3% (5.214 Km<sup>2</sup>) dos desmatamentos no Cerrado entre 2002 a 2008 ocorreram a uma distância de até 1 Km a partir do limite territorial da área queimada (figura 20).

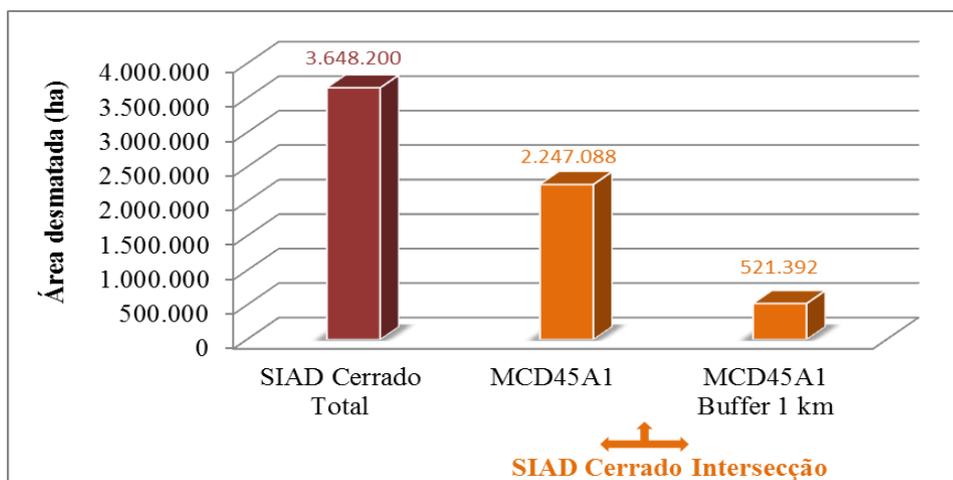


Figura 20 – Proporção dos alertas de desmatamentos (SIAD) intersectados com a área queimada e situados até 1 km de uma cicatriz de queimada (MCD45A1) para o período entre 2002 a 2008.

#### 4.1.2. Produto de Anomalias Termiais (MOD14 e MYD14)

Na tabela 9, temos os dados da intersecção da área queimada MCD45A1 com os dados de focos de calor do *MODIS Active Fire*, produtos MOD14 (satélite TERRA) e MYD14 (satélite AQUA). A intersecção entre os dois produtos MODIS foi realizada considerando-se o período temporal de 7 anos, entre 2002 a 2008, e o limite territorial do bioma Cerrado. Primeiramente, procedeu-se à análise anual de quantos focos de calor (MOD14 + MYD14) intersectaram um dado polígono (arquivo vetorial) de área queimada mapeado para cada ano em estudo. Posteriormente, considerando-se um *buffer* de 1 Km a partir da área queimada, buscou-se verificar a aproximação dos focos de calor com as áreas de impacto direto da cicatrizes de queimadas sobre a vegetação, natural ou antrópica.

Tabela 9 – Intersecção dos dados de focos de calor *MODIS Active Fire* (MOD14 e MYD14) com a área queimada mapeada pelo produto MCD45A1 entre 2002 a 2008 no bioma Cerrado.

<b>MODIS Active Fire (Focos de Calor)</b>					
<b>Ano</b>	<b>Focos de Calor (MOD14 + MYD14)</b>	<b>Intersecção MCD45A1</b>	<b>% Total</b>	<b>Intersecção MCD45A1 Buffer 1 Km</b>	<b>% Total</b>
2002	76.602	11.789	15	24.998	33
2003	135.164	13.003	10	34.381	25
2004	155.886	20.363	13	44.777	29
2005	143.017	19.207	13	47.572	33
2006	89.306	9.164	10	22.248	25
2007	248.751	70.893	28	112.076	45
2008	100.069	14.586	15	31.993	32

O resultado da análise da intersecção (tabela 9) mostra que parte significativa dos focos de calor discriminados para a região do Cerrado pelo MODIS Active Fire se localizam bastante próximos às cicatrizes de queimadas mapeadas pelo MCD45A1. Em média, 18% do focos de calor registrados anualmente, entre 2002 a 2008, estão contidos em áreas queimadas, enquanto 32% dos focos registrados neste período, em média, situam-se até 1 Km ao redor de uma cicatriz de queimada (figura 21). Dentre os anos presentes no recorte temporal, 2007, o ano em que o bioma Cerrado foi mais afetado pelos efeitos das queimadas, é também o que mais interceptou focos de calor, uma vez que, com a aplicação do buffer de 1 Km,

praticamente 74% dos focos mapeados pelo MODIS *Active Fire* se encontram sobre a área de influência direta da área queimada registrada pelo produto MODIS MCD45A1.

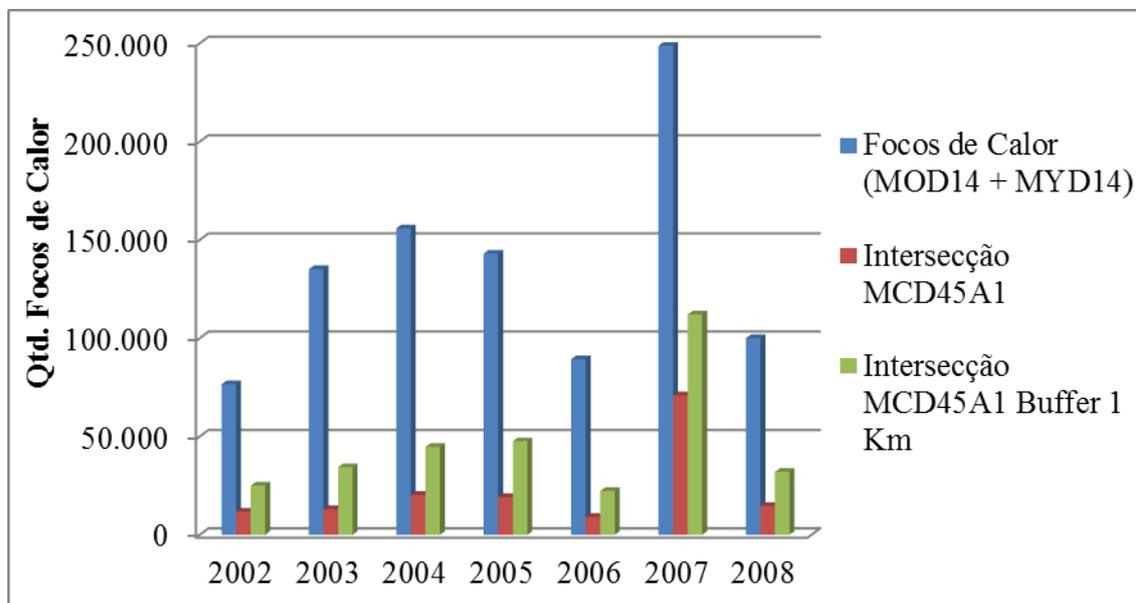


Figura 21 – Intersecção de focos de calor total (MOD14 + MYD14) com as cicatrizes de queimada (MCD45A1) e em relação à um buffer de 1 Km em torno das cicatrizes mapeadas para o período entre 2002 a 2008.

#### 4.2. Espacialização da área queimada no bioma Cerrado

Após o processo de validação da área queimada mapeada pelo produto MODIS MCD45A1 e análise comparativa das cicatrizes de queimada em relação aos alertas de desmatamentos e anomalias termais, procedeu-se à espacialização anual (2002 a 2008) da área queimada com o maior índice de confiabilidade (*Ba and Qa* valor 1) para a totalidade do bioma Cerrado (figura 22). Nesta figura, nota-se que o ano de 2007 foi o que mais registrou ocorrências de áreas queimadas, enquanto que em 2006 as cicatrizes de queimadas foram menos pronunciadas. Da mesma forma, observa-se na figura 23 que a porção do Cerrado nos estados do Mato Grosso, Tocantins, Goiás e Bahia foram as mais atingidas pelas queimadas nos sete anos de análise.

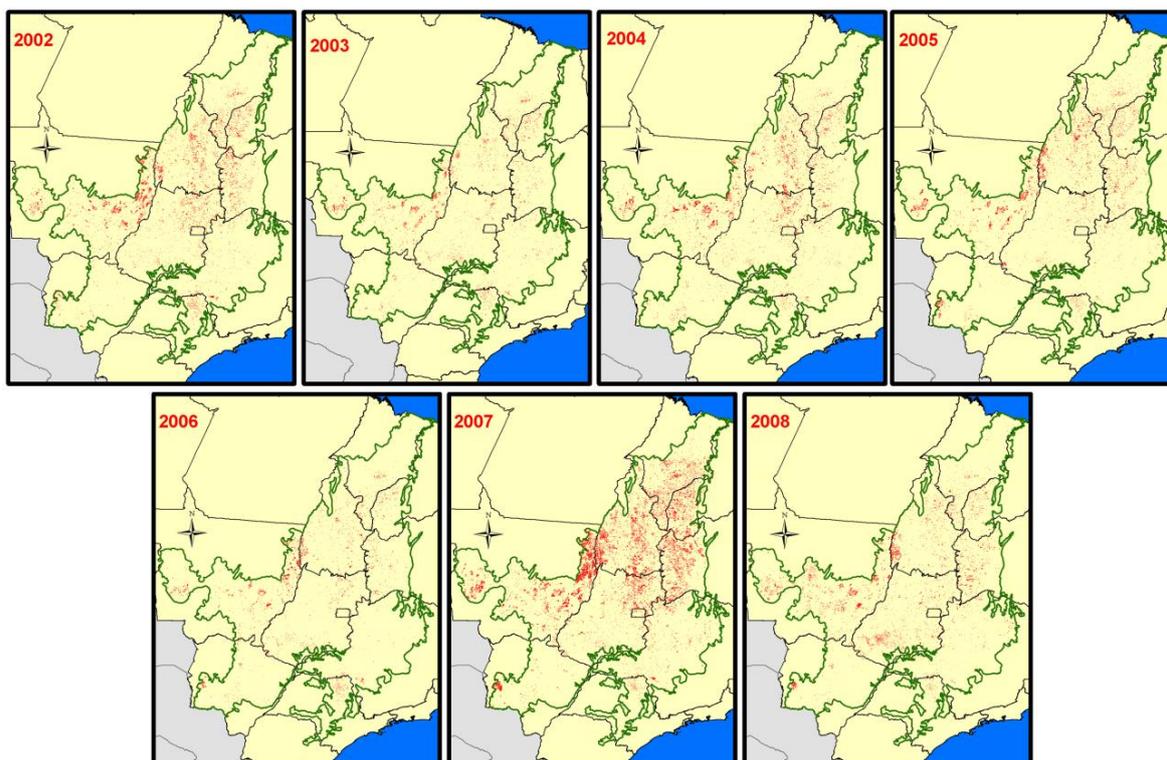


Figura 22 – Espacialização as áreas queimadas (em vermelho) ocorridas na totalidade do bioma Cerrado, entre 2002 a 2008.

Fazendo uma breve comparação da área queimada, conforme discriminada pelo produto MCD45A1, em todo o território brasileiro, segundo os biomas (Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal), observa-se que os dois anos que mais apresentaram queimadas registradas no Brasil foram 2002 e 2007, com 81.273 km<sup>2</sup> e 170.897 km<sup>2</sup> de cicatrizes, respectivamente. Em relação a 2007, foi registrado aumento de cerca de 200% de cicatrizes de queimadas em relação ao ano de 2002, enquanto que no ano de 2006 foi registrada a menor extensão em área queimada para todo o território brasileiro, de aproximadamente 37.951 km<sup>2</sup> (Tabela 10).

Tabela 10 – Área queimada (produto MCD45A1) em todos os biomas brasileiros, entre 2002 a 2008.

Biomas	Área queimada (km <sup>2</sup> )						
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Amazônia	9.901	7.656	10.922	13.332	6.144	24.798	6.270
Caatinga	1.251	1.322	1.211	1.910	589	5.455	1.364
Cerrado	59.523	32.053	47.174	46.933	27.550	128.505	45.604
Mata Atlântica	3.274	5.722	3.141	2.524	2.589	4.202	2.574

<b>Biomass</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
Pampa	107	149	134	130	112	108	113
Pantanal	7.218	1.081	6.152	13.270	966	7.830	1.674
Total	81.273	47.982	68.734	78.099	37.951	170.897	57.600

Conforme a tabela 10, o bioma Cerrado foi o mais afetado pelos efeitos do fogo, sendo que em 2007, cerca de 75% do total das queimadas registradas no Brasil ocorreram neste bioma. Fazendo a média de ocorrência das queimadas entre os biomas do Brasil com base nos dados apresentados na Tabela 10, constata que, cerca de 70% das queimadas, ano a ano, ocorre nos limites do Cerrado. Por outro lado, os biomas Pampa e Caatinga foram os menos no período temporal analisado, com uma área queimada registrada nos dois biomas de 39.043 km<sup>2</sup>, i.e. cerca de 10% das cicatrizes mapeadas somente no Cerrado para o mesmo período.

Em relação aos estados brasileiros inseridos nos limites do bioma Cerrado (IBGE, 2004), temos que os estados da Bahia, Goiás, Mato Grosso e Tocantins são os que mais tiveram cicatrizes de queimadas mapeadas em seus limites territoriais (figura 23). Nesta figura, podemos ainda notar a proporção das áreas queimadas na série temporal (2002 a 2008), para cada estado brasileiro contido no limite do Cerrado, bem como a discrepância da incidência das queimadas em 2007, comparativamente aos outros anos analisados.

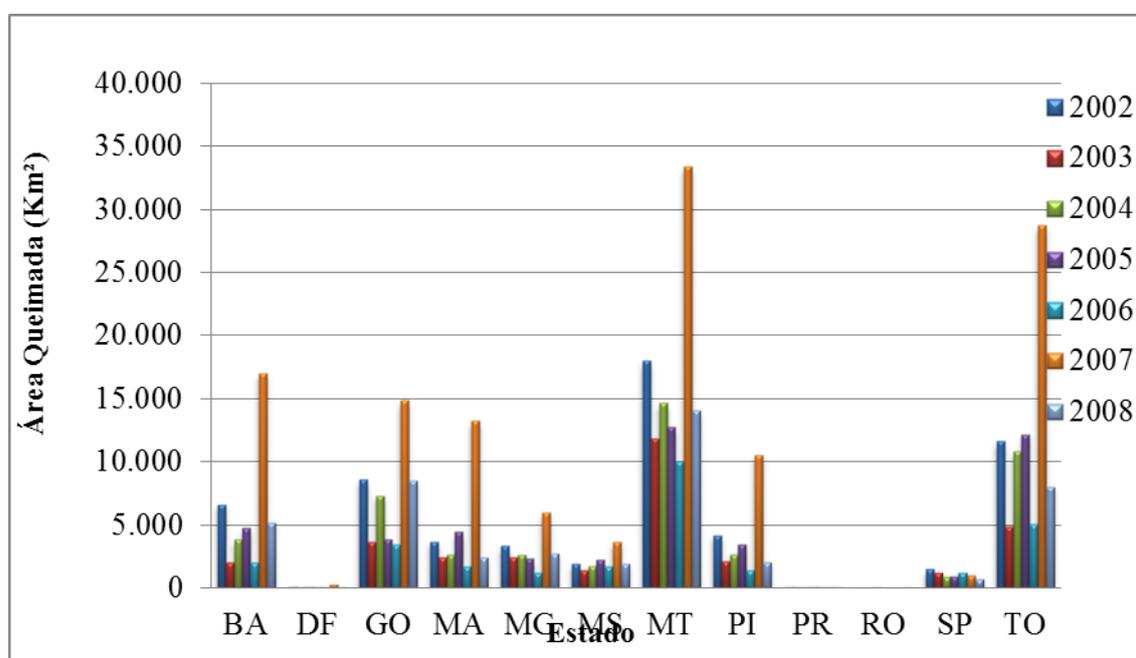


Figura 23 – Distribuição da área queimada (MCD45A1), para o período de 2002 a 2008, segundo os Estados brasileiros contidos no Bioma Cerrado.

Dentre os quatros estados que mais sofreram com os efeitos da queimada, Mato Grosso e Tocantins, localizados na região do arco do desflorestamento da Amazônia legal, são os estados mais afetados pela concentração de áreas queimadas em cada ano considerado. Adicionando-se a área queimada de Goiás (50.221 Km<sup>2</sup>) com os dados de Mato Grosso (114.639 km<sup>2</sup>) e Tocantins (81.210 Km<sup>2</sup>), temos que 63,5% das cicatrizes mapeadas localizam-se nesses três estados (Figura 24).

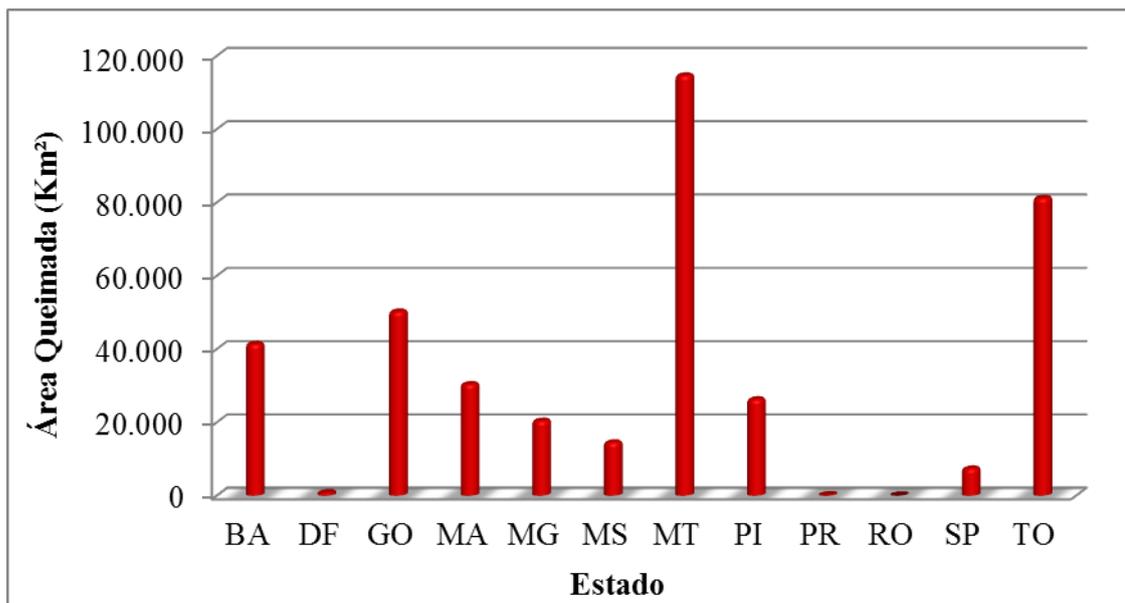


Figura 24 - Distribuição da área queimada total entre 2002 a 2008 por Unidade Federativa inserida no bioma Cerrado.

Por outro lado, as figuras 24 e 25 nos mostram que a região sul do bioma, justamente a mais antropizada, onde as atividades de agricultura e pecuária estão consolidadas, possui os menores índices de ocorrência e discriminação de áreas queimadas. Contudo, podemos notar a concentração de cicatrizes de queimada na região norte do estado de São Paulo (porção Cerrado), que tem no cultivo da cana-de-açúcar uma de suas principais atividades econômicas, como também no sudoeste Minas Gerais, fronteira com São Paulo.

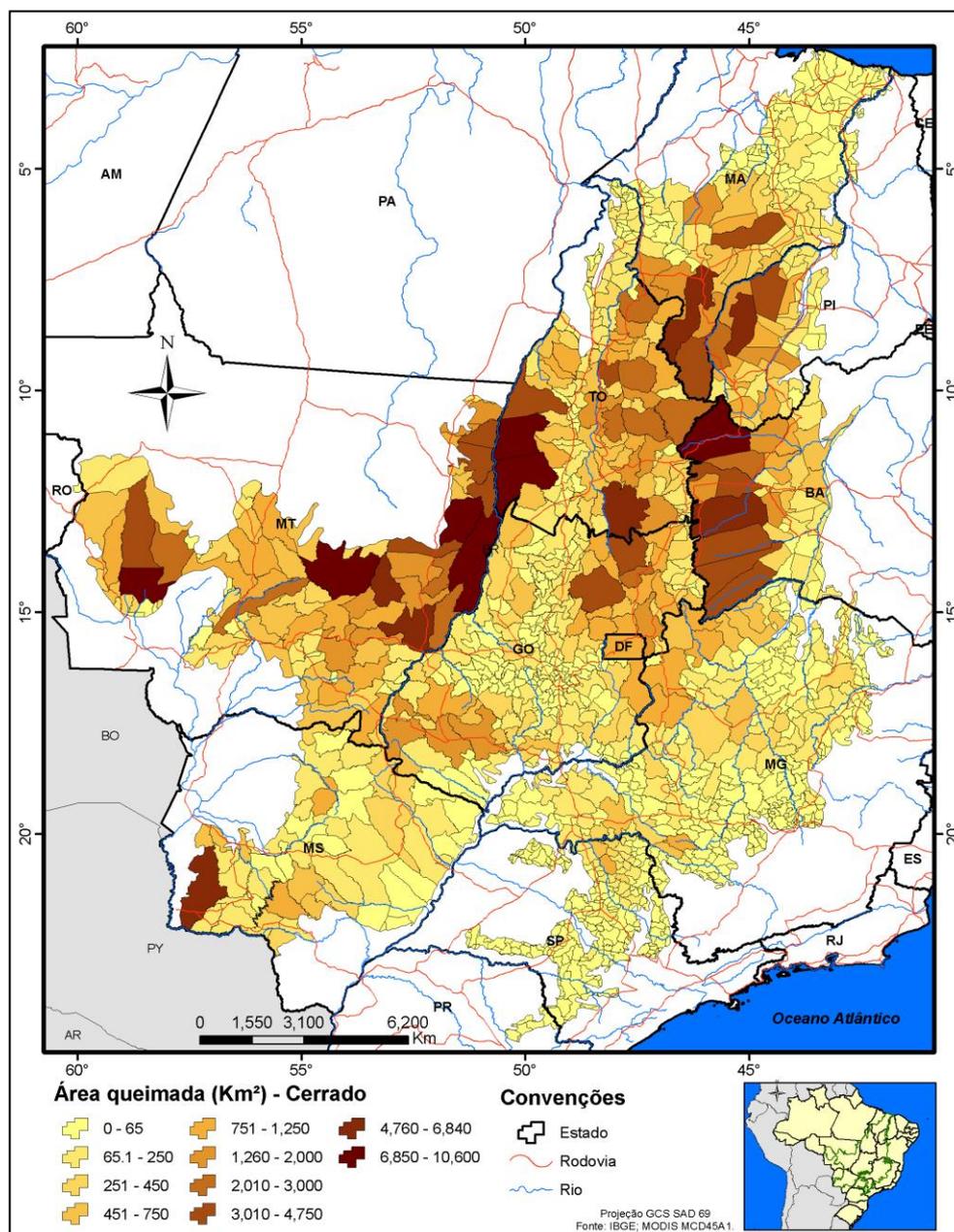


Figura 25 – Área queimada total por município entre 2002 a 2008 no bioma Cerrado.

Ao contrário da região sul, a região centro-norte do Cerrado concentra a maior proporção de cicatrizes de queimadas. Na figura 25, notamos que as regiões de expansão da atividade agrícola (porção Cerrado), como nos chapadões da Bahia, norte de Mato Grosso, sudoeste do Tocantins, sul do Maranhão e sudoeste do Piauí, concentram as maiores proporções de queimadas no Cerrado, sendo que estas regiões também apresentam os maiores índices de alertas de desmatamentos no bioma (ROCHA, 2008).

### 4.3. Mapa de uso terra e cobertura vegetal natural do PROBIO Cerrado

De acordo com o que foi explicitado na metodologia desse trabalho em relação à distribuição das áreas queimadas sobre as classes de uso da terra e cobertura vegetal natural (15 classes), esta foi realizada com base nos dados MCD45A1 para o ano de 2002, conforme mostrado na tabela 11.

Tabela 11 – Distribuição da área queimada (dados MCD45A1 - ano 2002) em relação às principais classes de uso da terra e cobertura vegetal natural encontradas no bioma Cerrado.

<b>Classes de uso Antrópico</b>	<b>Área Queimada (Km<sup>2</sup>)</b>
Cultura Agrícola (Ac)	5.583
Influência Mineração (Im)	0,14
Influência Urbana (Iu)	22
Pastagem Cultivada (AP)	5.200
Reflorestamento (R)	73
<b>Total</b>	<b>10.878</b>
<b>Classes de cobertura natural</b>	
<b>Classes de cobertura natural</b>	<b>Área Queimada (Km<sup>2</sup>)</b>
Floresta Estacional	1.440
Floresta ombrófila	116
Formação Pioneira	101
Refúgios Vegetacionais	1
Savana Arborizada	20.288
Savana Estépica	753
Savana Florestada	5.089
Savana Gramíneo	2.673
Savana Parque	17.646
Vegetação Secundaria	451
<b>Total</b>	<b>48.559</b>
<b>Área queimada total (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>59.437</b>

Como observado, as fitofisionomias remanescentes, principalmente localizadas na região centro-norte do bioma, foram as mais afetadas pelas queimadas. Especificamente, a tabela 11 nos mostra que dos 59.437 Km<sup>2</sup> de áreas queimadas mapeadas no bioma Cerrado em 2002, cerca de 81,7% (48.559 Km<sup>2</sup>) ocorreram em áreas de cobertura vegetal natural (Figura 26), sendo que as formações fitofisionômicas savana arborizada (34,1%) e savana parque

(29,7%) foram as mais atingidas (63,8% do total da área queimadas). Outras fitofisionomias, como as classes de floresta (estacional e ombrófila), formação pioneira, refúgios vegetacionais e vegetação secundária, as quais se encontram em menor proporção na região do Cerrado, localizadas principalmente próximas às zonas de transição com outros biomas, correspondem, juntas, à 3,55% (2.110 Km<sup>2</sup>) das áreas queimadas mapeadas.

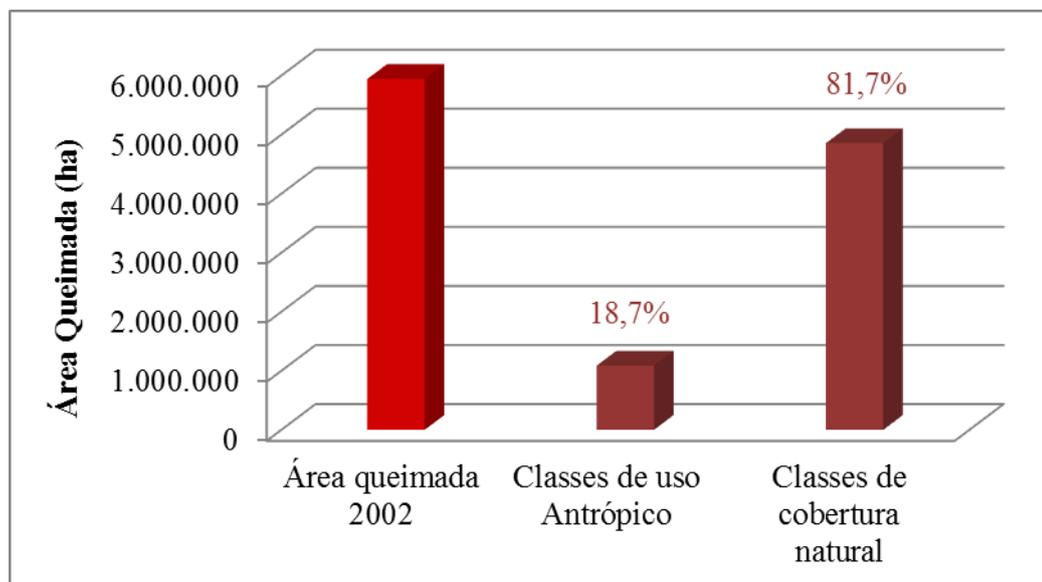


Figura 26 – Proporção de área queimada (em 2002) em relação às regiões de vegetação natural e uso antrópico no bioma Cerrado.

Em relação às classes de uso antrópico, a agricultura e a pastagem foram atingidas de forma muito semelhante pelas queimadas (diferença em área de apenas 384 Km<sup>2</sup>). Interessantemente, as imagens MCD45A1 conseguiram discriminar áreas queimadas até mesmo em regiões de reflorestamento, e, sobretudo, em regiões as quais as queimadas ocorrem em menor magnitude, tais como perímetro urbano e de mineração.

#### 4.4. Bacias hidrográficas (Ottobacias Nível 6)

De acordo com as regiões hidrográficas do território brasileiro (12 regiões) regulamentadas pela Agência Nacional das Águas (ANA), a bacia do Tocantins-Araguaia foi a mais afetada pelas queimadas, tendo sido mapeada uma área de 202.598 Km<sup>2</sup> (2002 a 2008), destacando-se o ano de 2007 em relação aos demais (Figura 27). A bacia Amazônica é a segunda mais afetada (96.494 Km<sup>2</sup>), seguida da bacia do Paraguai (60.876 Km<sup>2</sup>) e do São Francisco (56.912 Km<sup>2</sup>). Em relação às bacias Atlântico (Nordeste Oriental, Nordeste Ocidental, Leste e Sudeste), as quais se encontram no litoral brasileiro, estas apresentaram os

menores índices, com somente 3,4% (ou 18.617 Km<sup>2</sup>) das queimadas ao longo dos sete anos analisados.

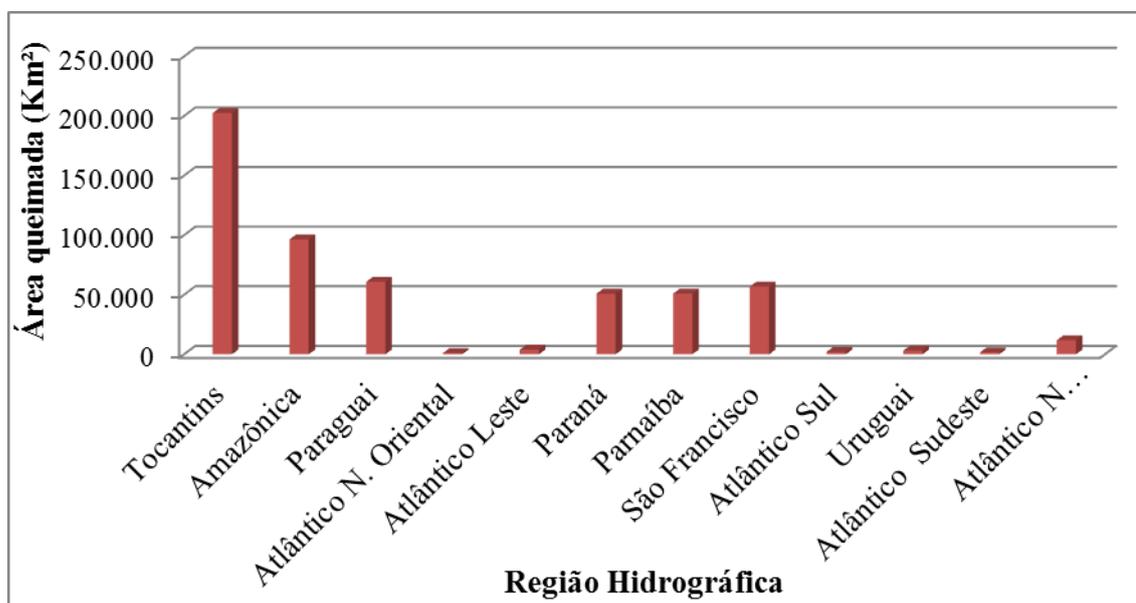


Figura 27 - Área queimada total (2002 a 2008) segundo as regiões hidrográficas do Brasil.

Como podemos notar nos dados da figura 28 (dados referentes ao Cerrado), a porção da bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia no Cerrado é a mais atingida pelos efeitos do fogo, já que 46,4% do total de queimadas entre 2002 a 2008 ocorreram nessa bacia, principalmente na região à montante ou médio Araguaia. O mesmo padrão de localização das queimadas na região à montante (cabeceiras) das regiões hidrográficas no bioma Cerrado pode ser notado nas bacias do São Francisco (14,1%) (Bahia), Parnaíba (10,8%) (Maranhão e Piauí) e Paraná (9%) (região de plantio da cana-de-açúcar em São Paulo). Dentre as bacias Atlântico presentes no bioma Cerrado, as quais juntas representam 3,37% da área queimada total registrada no Cerrado, somente na região hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental não foi registrada nenhuma área queimada entre 2002 a 2008.

Em relação às Ottobacias de nível 6, e considerando-se somente a área queimada para as bacias totalmente contidas dentro do limite do Cerrado, temos que as bacias mais afetadas pelas queimadas estão presentes nos estados com os maiores índices de alertas de desmatamentos (dados SIAD Cerrado). Em particular, este padrão pode ser notado nos estados da Bahia, Piauí e Maranhão, como também nos estados do Mato Grosso e Tocantins, cujo o curso das queimadas acompanha as margens de uns dos principais rios ou rede de drenagem do país, o rio Araguaia, o qual tem em sua margem uma grande área de lençol freático raso (figura 28).

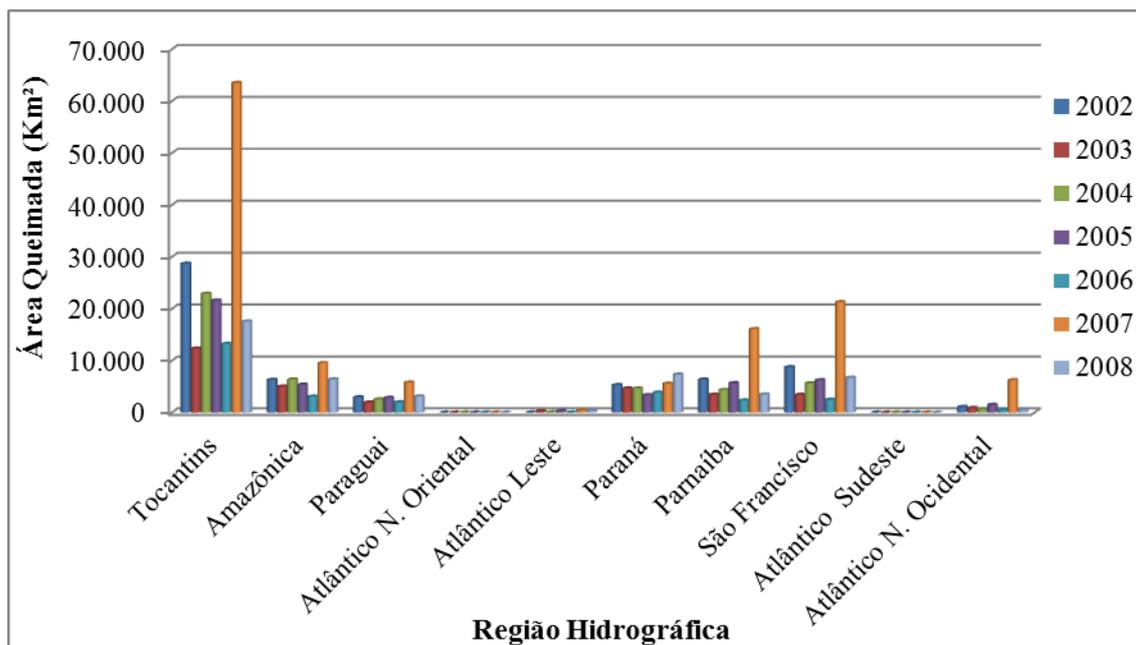


Figura 28 – Distribuição da área queimada (2002 a 2008) entre as porções das regiões hidrográficas presentes no bioma Cerrado.

Em relação à região sul do estado de Goiás, localizada na bacia do Paraná, nota-se a concentração de queimadas justamente nas áreas de agricultura (soja, milho, etc) e de expansão do plantio da cana-de-açúcar, localizadas principalmente nos municípios de Rio Verde e Jataí (Figura 29). Esse mesmo padrão pode ser notado na região do Cerrado entre os estados de Minas Gerais e São Paulo, onde se encontram as maiores áreas de plantação de cana-de-açúcar do país.

A porção do Cerrado localizada no estado do Mato Grosso do Sul, região na qual se encontra a maior área de reflorestamento do bioma (MMA, 2007), apresentou baixos índices de queimadas, como também em Minas Gerais (região leste) e no Piauí, estado com o maior número de bacias hidrográficas sem ocorrência de incêndios no período analisado. Enquanto a região sul do estado de Goiás apresenta elevada ocorrência de queimadas, na região norte-noroeste, localizada na bacia do Tocantins-Araguaia, as bacias hidrográficas apresentaram baixos índices de queimadas, mesmo sendo uma região com áreas agrícolas e com uma grande área de pastagem, responsável por grande parte da produção bovina do estado. Por outro lado, nesta mesma região, no estado do Mato Grosso, caracterizado por importante produção agrícola e bovina, temos o inverso, com as bacias substancialmente afetadas por queimadas.

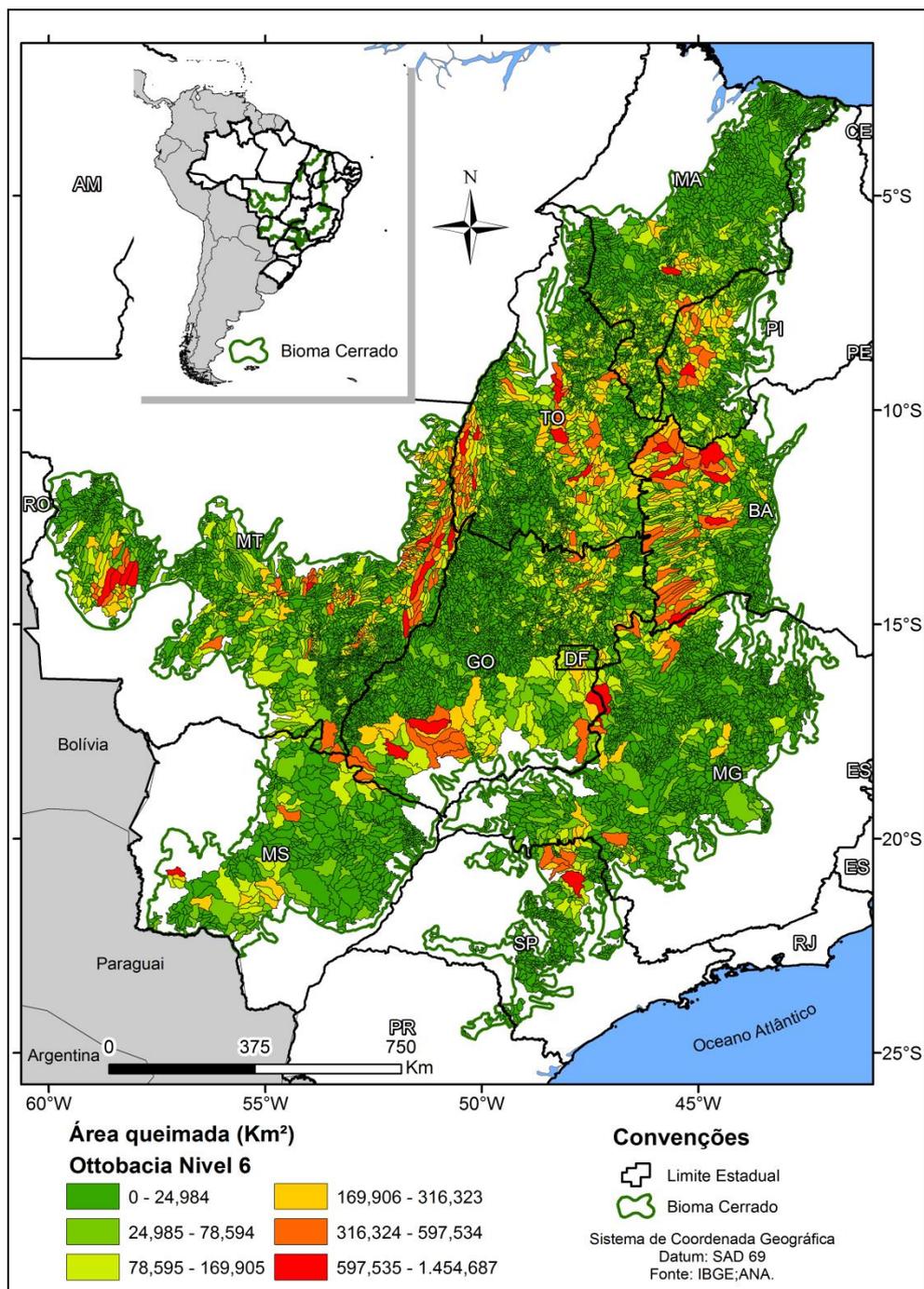


Figura 29 – Distribuição das áreas queimadas (2002 a 2008) conforme as bacia hidrográficas (Ottobacia nível 6) do bioma Cerrado.

#### 4.5. Unidades de conservação (UCs)

O cruzamento dos dados MCD45A1 com as unidades de conservação, revela que boa parte dessas unidades foram preservadas das queimadas no período considerado. Em relação à área queimada total entre 2002 a 2008, as áreas de uso sustentável (28) e de proteção integral

(52), respectivamente, queimaram 26.827 Km<sup>2</sup> e 21.505 Km<sup>2</sup>. Na figura 30 temos a distribuição das áreas queimadas nas unidades de conservação no bioma Cerrado entre 2002 a 2008.

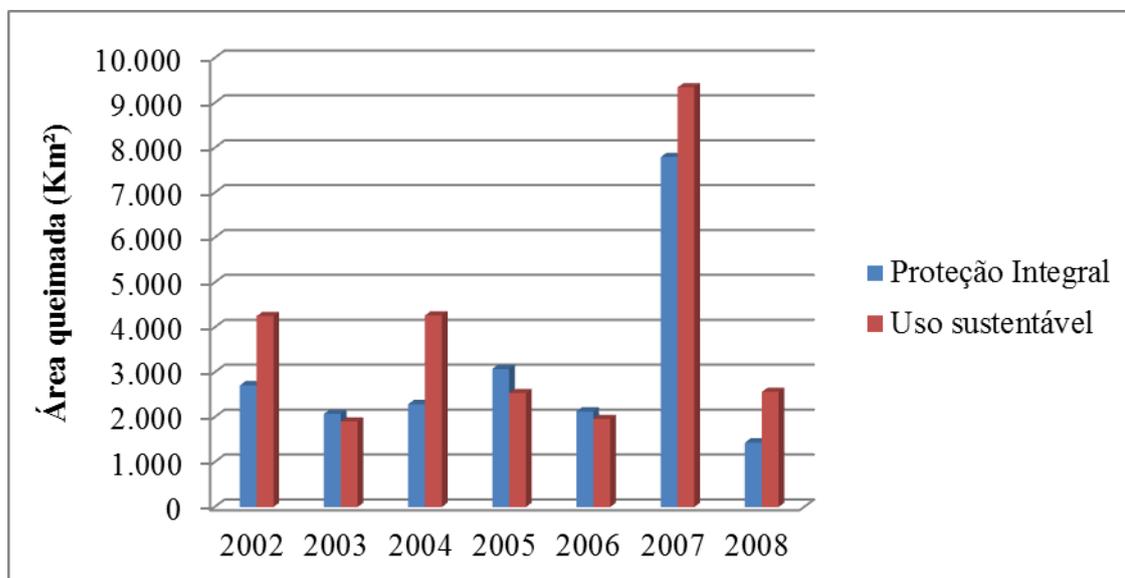


Figura 30 – Distribuição da área queimada (dados MCD45A1) entre as áreas de proteção integral e de uso sustentável no bioma Cerrado, no período entre 2002 a 2008.

Na figura 30 podemos notar que mesmo as unidades de conservação de uso sustentável apresentando uma diferença de 19,8% da área queimada em relação às UCs de proteção integral, temos que, em três anos consecutivos (2003, 2005 e 2006), as áreas de proteção integral foram mais atingidas pelas queimadas do que as de uso sustentável. Ainda podemos notar que há um intervalo de um e dois anos entre as maiores incidências de queimadas nas UCs.

Por sua vez, na figura 31, que mostra a distribuição da área queimada pelas unidades de proteção integral, pode-se observar que os Parques Nacionais, que possuem 13 unidades no Cerrado, queimaram mais do que os Parques Estaduais (com 36 unidades). Além dessas duas categorias de unidades de proteção integral, temos em seguida as estações ecológicas e as de refúgio da vida silvestre, que também apresentaram áreas queimadas significativas em suas localidades.

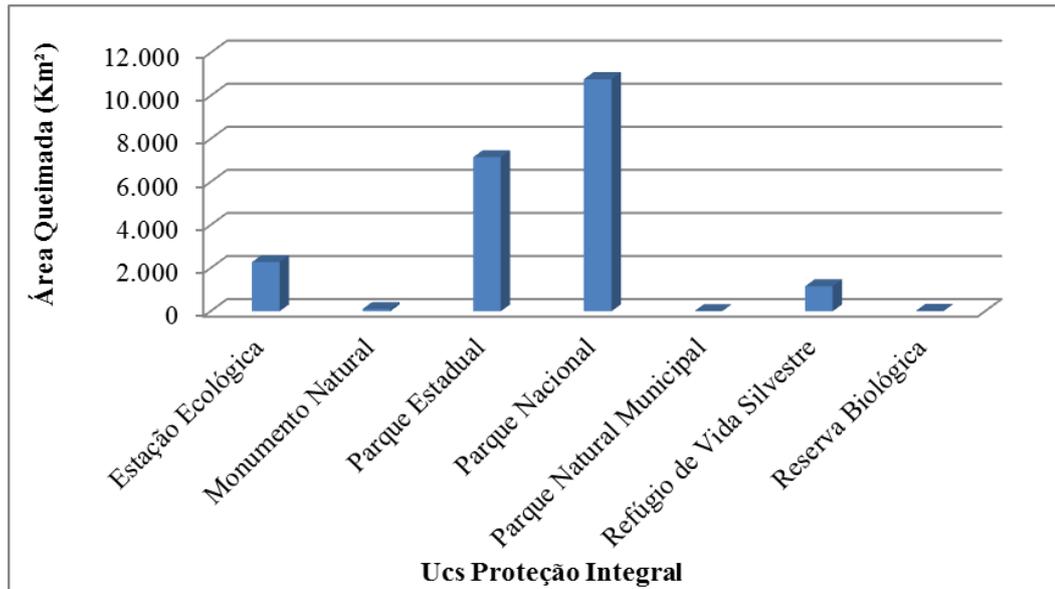


Figura 31 – distribuição da área queimada (2002 a 2008) em relação às unidades de Proteção Integral no bioma Cerrado.

Na figura 32 temos a espacialização das UCs de Proteção integral no bioma Cerrado e a quantificação de área queimada registradas nas mesmas entre 2002 a 2008.

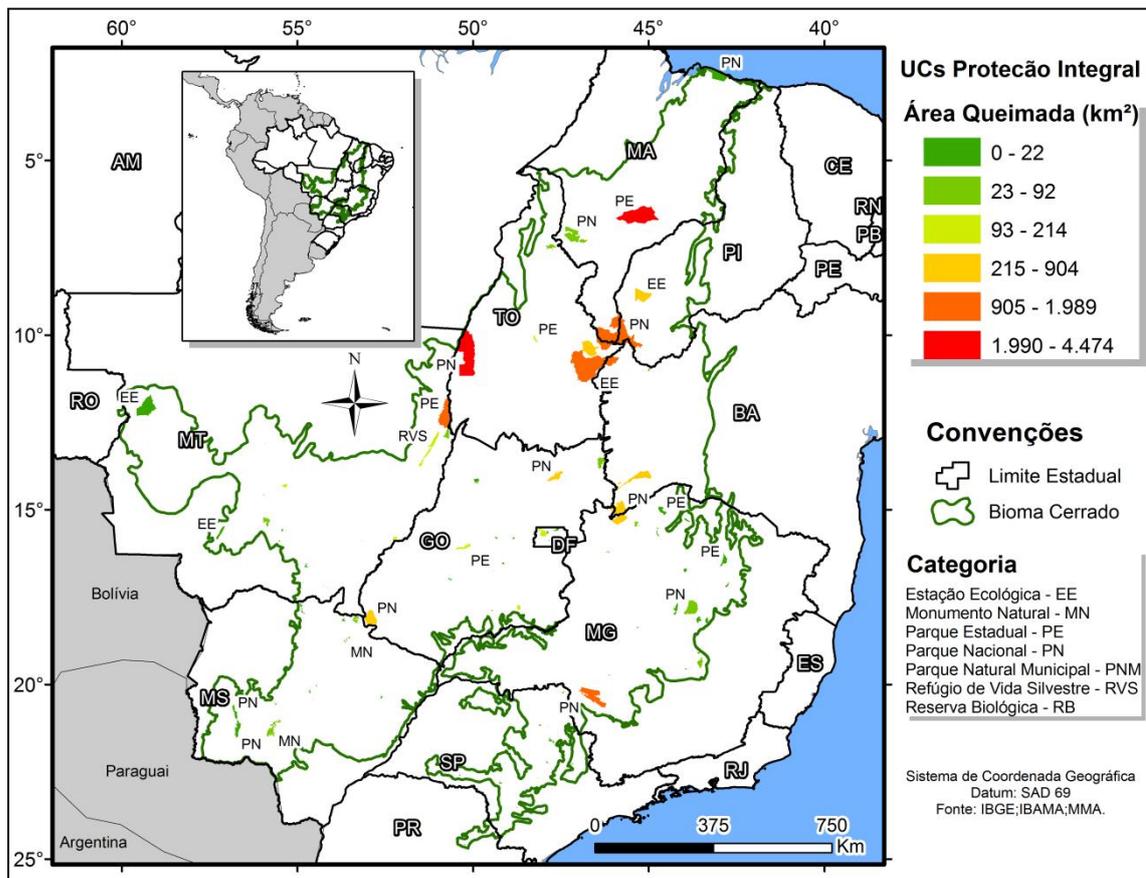


Figura 32 – Espacialização da área queimada total (2002 a 2008) em UCs de Proteção integral localizadas no bioma Cerrado.

Como podemos notar na Figura 32, as UCs de Proteção Integral mais afetadas pelas queimadas se encontram localizadas na região norte do Cerrado, nos estados do Tocantins, Bahia, Piauí e Maranhão, enquanto que na região sul, estas estão situadas nos estados de Goiás e Minas Gerais. Dentre as UCs de Proteção Integral com maior área queimada registrada para o período temporal da análise, temos o PN do Araguaia (4.474 Km<sup>2</sup>) (TO), PE de Mirador (3.671 Km<sup>2</sup>) (MA), PN das Nascentes do Rio Parnaíba (1.989 Km<sup>2</sup>) (PI e MA) e PN da Serra da Canastra (1.878 Km<sup>2</sup>) (MG). No PN da Chapada dos Veadeiros foram detectados pelo produto MCD45A1 776,8 Km<sup>2</sup> de área queimada.

No entanto, em relação às UCs de uso sustentável no Cerrado, as queimadas entre 2002 a 2008 ocorreram preponderantemente em Áreas de Proteção Ambiental (APA), i.e. cerca de 98,2% ou 26.337 Km<sup>2</sup> das queimadas ocorreram nessas unidades de conservação, em fato, as mais numerosas no Cerrado (98 ao todo). Para as demais UCs de uso sustentável, Floresta Estadual, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Desenvolvimento sustentável e Área de Relevante Interesse Ecológico, as queimadas corresponderam a 1,8% (490 Km<sup>2</sup>) do total detectado 2002 a 2008 (Figura 33).

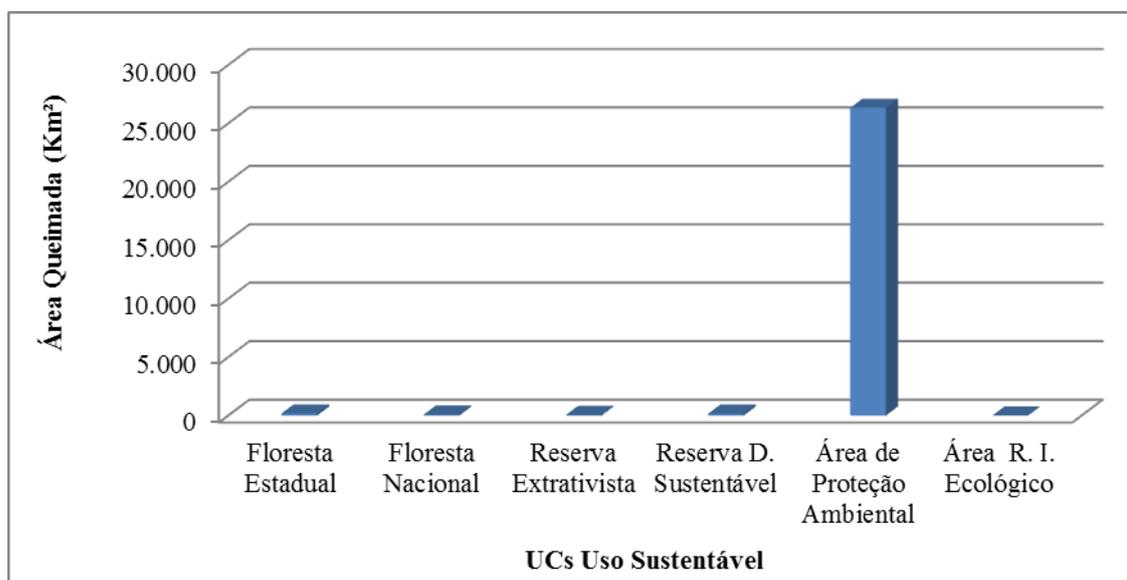


Figura 33 – distribuição da área queimada (2002 – 2008) para as unidades de Uso Sustentável no bioma Cerrado.

Temos na figura 34 a espacialização das UCs de Uso Sustentável mais afetadas pelas queimadas no Cerrado entre 2002 a 2008, e como podemos notar, elas se localizam nos estados de Goiás, Bahia, Tocantins e o Distrito Federal. Dentre as APAs com as maiores áreas de queimadas registradas em seus limites, temos a do Rio Preto (BA), Pouso Alto (GO) e Cabeceiras do Rio Cuiabá (MT), com áreas queimadas, respectivamente, de 5.210 Km<sup>2</sup>, 4.760

Km<sup>2</sup> e 1.942 Km<sup>2</sup>. Nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, concentram-se as UCs de uso sustentável com moderada incidência de áreas queimadas, tais como as APAs da Bacia do Rio Sucuriú (294,5 Km<sup>2</sup>) (MS), Chapada dos Guimarães (386,9 Km<sup>2</sup>) (MT) e Pandeiros (348,5 Km<sup>2</sup>) (MG).

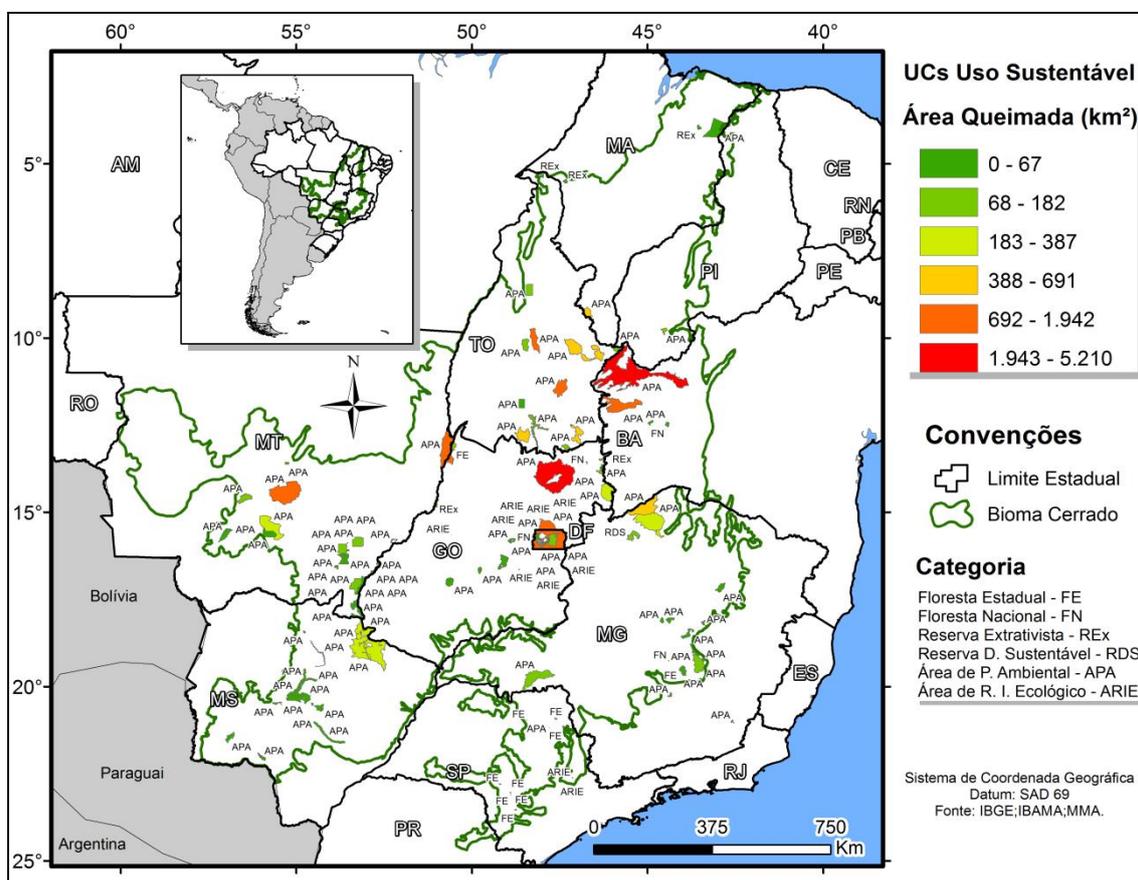


Figura 34 – Espacialização da área queimada total (2002 – 2008) em UCs de Uso Sustentável localizadas no bioma Cerrado.

Em relação às áreas prioritárias para conservação da biodiversidade no Cerrado (248 ao todo), conforme definidas pelo IBAMA, a área queimada total registrada foi de 147.514 Km<sup>2</sup>, sendo que o ano com maior registro de queimada foi o de 2007, com 55.420 Km<sup>2</sup> (37,5%). Em relação às áreas protegidas (180 ao todo), foram registrados, entre 2002 e 2008, 102.416 Km<sup>2</sup> de área queimada (figura 35). Basicamente, na escala temporal de análise, 2002 a 2008, as áreas prioritárias apresentaram menor área queimada que as áreas protegidas nos anos de 2005 e 2006, enquanto a diferença entre essas duas categorias para o ano de 2007 é de 48,92%, conforme o mapeamento de cicatrizes de queimadas realizado pelo produto MCD45A1.

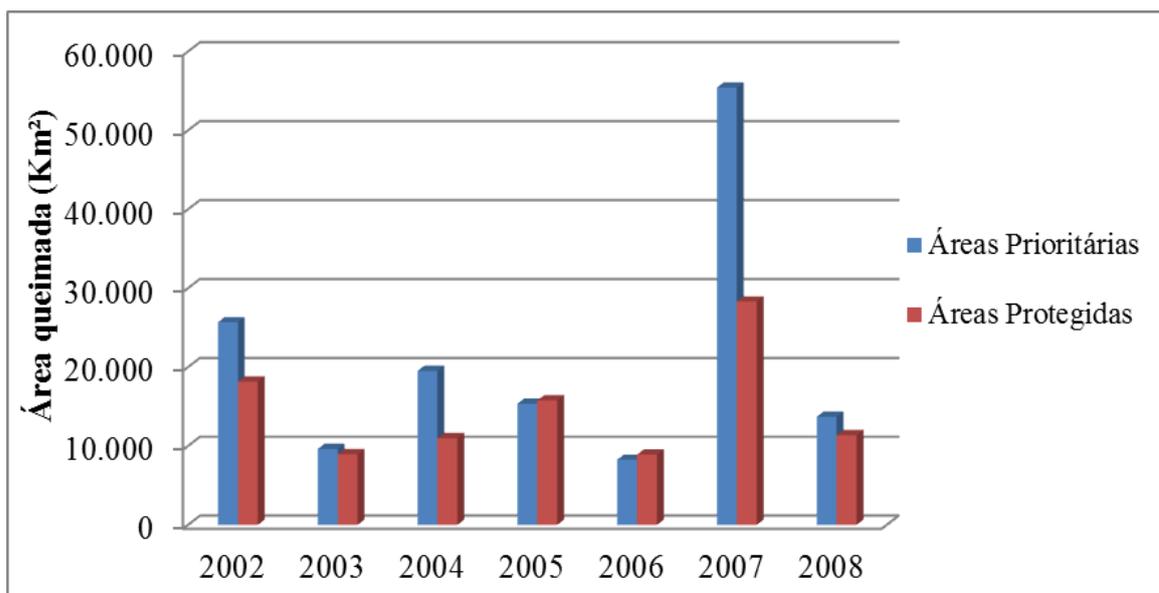


Figura 35 – Distribuição da área queimada (dados MCD45A1) entre as áreas prioritárias e protegidas no bioma Cerrado (2002 a 2008).

Como as áreas prioritárias possuem papel importante na preservação da biodiversidade no bioma Cerrado, podemos notar (figura 36) que parte dessas áreas são altamente afetadas pelos efeitos do fogo, o qual dificulta a preservação de algumas áreas, já que o mesmo é modificador da paisagem e age diretamente sobre as fitofisionomias naturais, na fauna, etc. As áreas prioritárias mais atingidas pelas queimadas se localizam na região centro-norte do Cerrado, precisamente nos estados de Goiás (região norte-nordeste), Bahia, Piauí, Maranhão, Tocantins e Mato Grosso. Dentre as áreas prioritárias mais atingidas pelas queimadas, temos, Cocalinho (prioridade extremamente alta – 11.245 Km<sup>2</sup>) (MT), Rio Preto (prioridade extremamente alta – 6.488 Km<sup>2</sup>) e Bacia do Rio Grande (prioridade extremamente alta – 5.271 Km<sup>2</sup>). As áreas prioritárias com maiores índices de queimadas entre 2002 a 2008 se localizam em regiões com alta pressão antrópica, sobretudo sobre áreas de atividade agrícola e de pastagem (MMA, 2007).

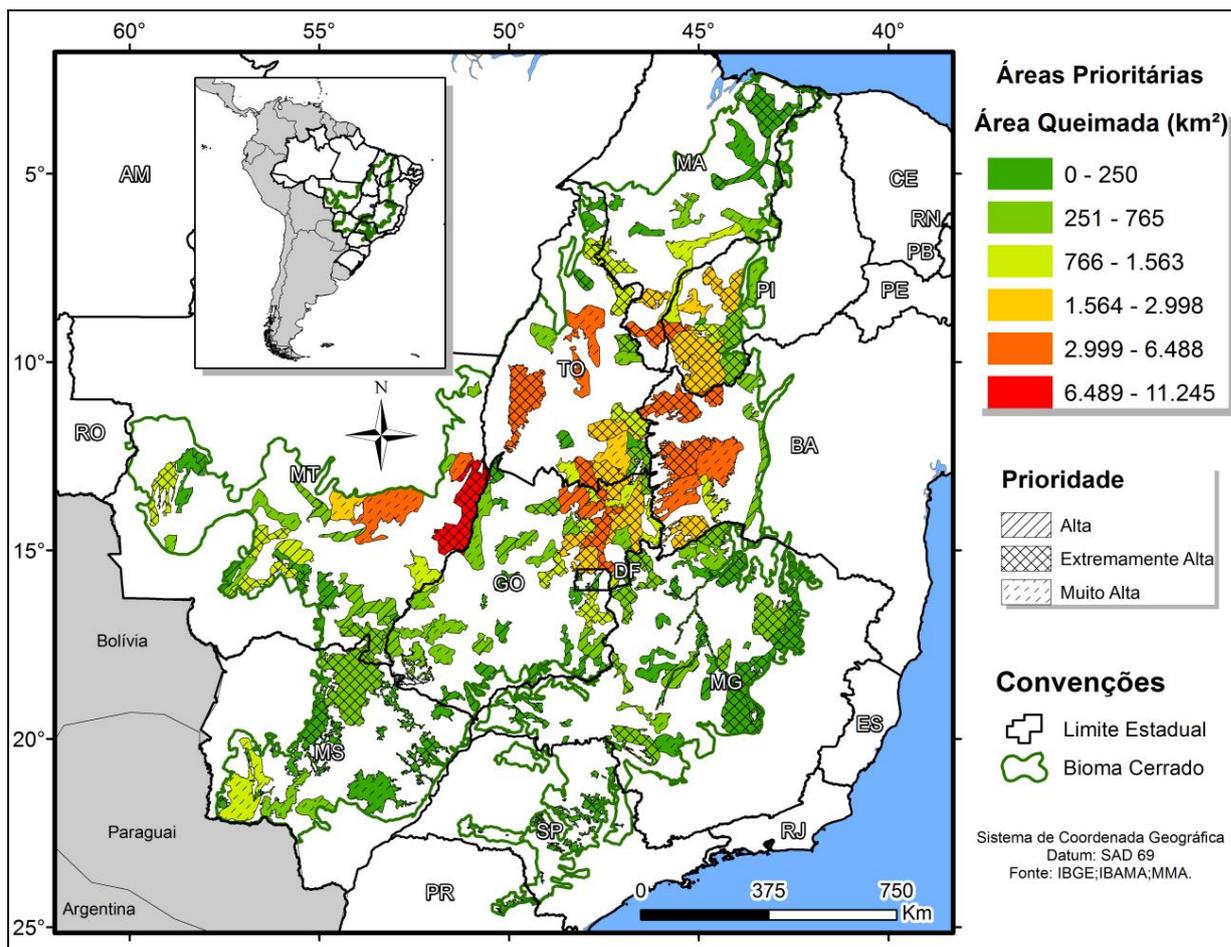


Figura 36 – Espacialização da área queimada total (2002 a 2008) conforme as Áreas Prioritárias localizadas no bioma Cerrado.

Em relação à prioridade destas áreas, temos que as áreas classificadas com extremamente alta (108) foram as mais atingidas pelas queimadas, totalizando uma área de 83.640 Km<sup>2</sup> (57%), seguida das áreas de prioridade muito alta (84) com 49.819 Km<sup>2</sup> (34%) e alta (56) com 14.055 Km<sup>2</sup> (10%) (Figura 37).

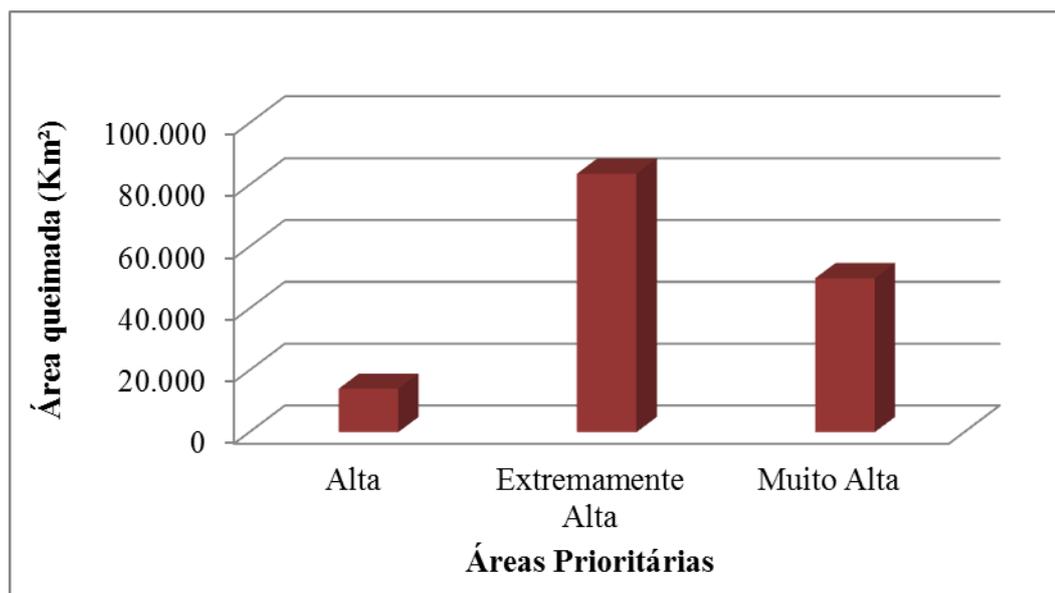


Figura 37 – Distribuição da Área queimada total (2002 a 2008) em relação às áreas prioritárias no bioma Cerrado, conforme o grau de prioridade (i.e. alta, extremamente alta e muito alta).

E por fim, temos a espacialização das queimadas em áreas protegidas (figura 38). Nota-se que as áreas protegidas com maiores proporções estão localizadas nas regiões que justamente apresentaram as maiores incidência de queimada entre 2002 a 2008. Especificamente, as áreas mais afetadas pelo processo da queima da biomassa, sobretudo nativa, localizam-se nos estados do Tocantins e Mato Grosso, os estados com maior registro de queimadas no Cerrado. Entre as cinco áreas protegidas que mais queimaram foram o PN do Araguaia (prioridade alta – 15.642 Km<sup>2</sup>) (TO), e 4 terras indígenas (TI), sendo, a TI Pimentel Barbosa (prioridade alta – 8.323 Km<sup>2</sup>) (MT), TI Paresi (prioridade alta – 7.302 Km<sup>2</sup>) (MT), TI Parabuburé (prioridade alta – 6.105 km<sup>2</sup>) (MT) e TI Kadiwéu (prioridade muito alta – 5.601 Km<sup>2</sup>) (MS). No entanto, nos estados de Goiás, Minas Gerais, Bahia e Piauí, devido à fragmentação das áreas protegidas e sua localização em áreas de relevo acidentado, essas áreas possuem os menores índices de queimadas registrados.

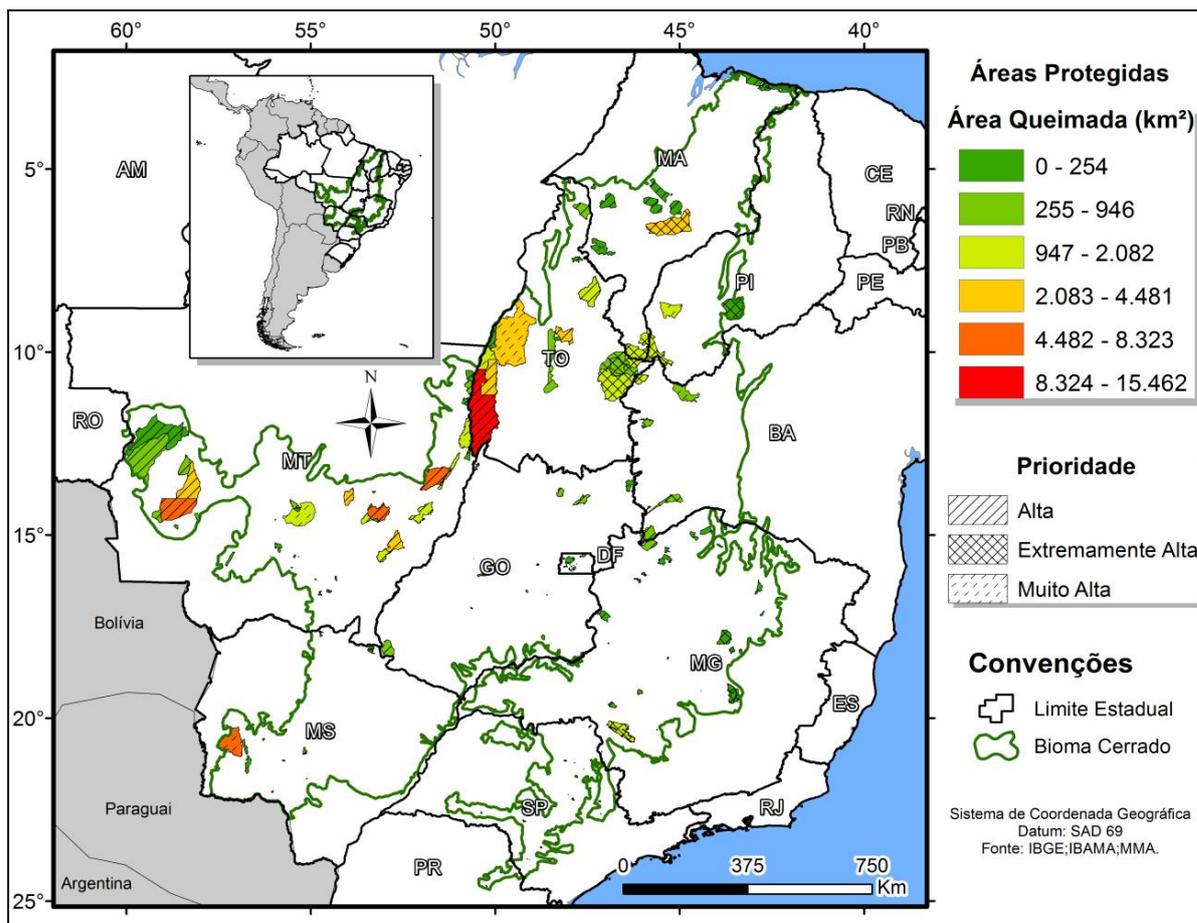


Figura 38 – Espacialização da área queimada total (2002 a 2008) conforme as Áreas Protegidas localizadas no bioma Cerrado.

Em relação à distribuição da área queimada nas classes de área protegida, as Terras Indígenas (TI) foram as mais comprometidas pelas queimadas, pois 56,4 % (57.739 Km<sup>2</sup>) das áreas queimadas foram registradas nessa classe de áreas protegida. Em seguida, temos os Parques Nacionais (PN) com 23.138 Km<sup>2</sup> (22,6%) de área queimada em seus limites, e em terceiro se encontra a classe Parque Estadual, a qual foi registrada 7.481 Km<sup>2</sup> (7,3%) de queimadas em seus limites (Figura 39).

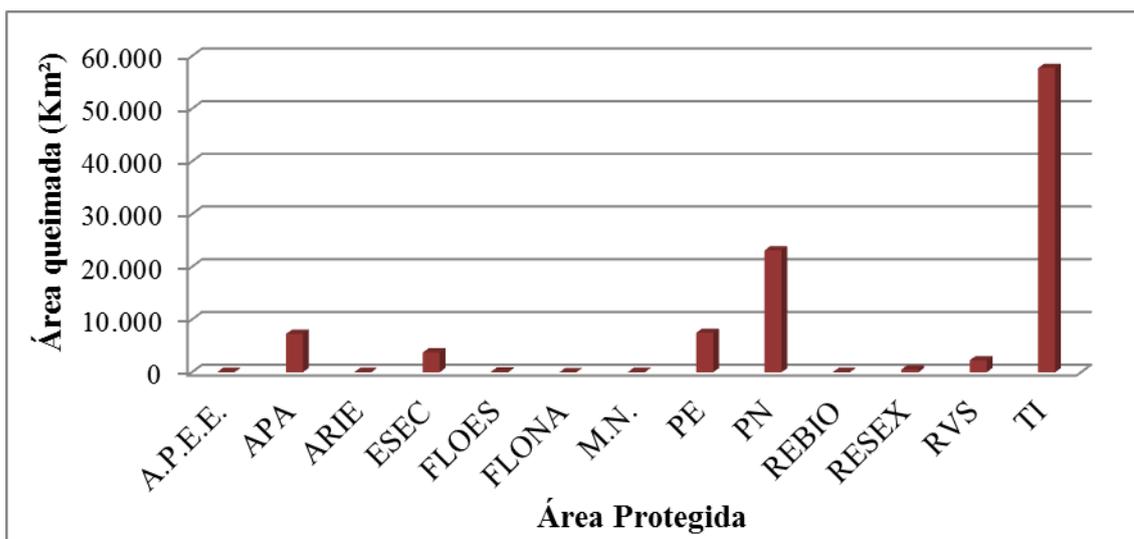


Figura 39 – Distribuição da Área queimada total (2002 a 2008) em relação às áreas protegidas no bioma Cerrado.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda que as queimadas no bioma Cerrado estejam presentes ao longo do ano, como pôde ser notado nos dados obtidos através do produto MODIS MCD45A1, as maiores incidências de incêndios ocorrem entre julho a setembro. Parte dessa queimada é benéfica para que algumas espécies vegetais desenvolvam o seu ciclo vegetativo, o qual se inicia com a quebra da dormência da semente. Por outro lado, parte considerável das queimadas ocorridas entre 2002 a 2008, as quais afetaram principalmente a vegetação remanescente, foram induzidas e associadas aos desmatamentos detectados no período.

Assim, a região sul do bioma Cerrado, por já estar bastante antropizada, apresenta os menores índices de queimadas, enquanto na região centro-norte, a qual também apresenta aumento da área antropizada e possui as maiores proporções de vegetação natural remanescente, é a mais afetada pelas queimadas de grande extensão. Na região de transição entre os biomas Amazônia e Cerrado, principalmente nos estados do Tocantins (TO) e do Mato Grosso (MT), temos a concentração das maiores extensões de áreas queimadas entre 2002 a 2008, afetando, entre outras, as áreas protegidas e prioritárias para conservação da biodiversidade.

Dentre as bacias hidrográficas do território brasileiro, a bacia do Tocantins-Araguaia é a mais afetada pelas consequências negativas atribuídas pelas queimadas, tais como a diminuição da evapotranspiração devido ao consumo parcial ou total da vegetação natural

pelo fogo, atingindo diretamente o regime de precipitação pluviométrica da região, além de potencializar os efeitos erosivos durante o início do período chuvoso.

Além das consequências para o meio natural do bioma Cerrado, temos que a sociedade civil também é bastante atingida pelos efeitos da queima da biomassa de forma indiscriminada, as quais causam o aumento de temperatura e potencializam os baixos níveis de umidade relativa do ar.

Portanto, é importante que sejam implementadas medidas efetivas de combate às queimadas criminosas, através de maior conscientização, fiscalização e monitoramento. Em particular, o uso de dados satelitários, cuja elevada acuidade e precisão foram claramente demonstradas nesta pesquisa, aliado à dados censitários e cartográficos pode se constituir em um importante instrumento para a geração periódica de alertas de incêndios, indicando as áreas mais suscetíveis para as quais o combate preventivo ao fogo deve ser priorizado..

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). **Topologia hídrica: método de construção e modelagem da base hidrográfica para suporte à gestão de recursos hídricos: versão 1.11.** / Agência Nacional de Águas, Superintendência de Gestão da Informação. Brasília: ANA, SGI, 2006. 29 p.
- ARBEX, M.A.; CANÇADO, J.E.D.; PEREIRA, L.A.A.; BRAGA, A.L.; SALDIVA, P.H.N.; Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. **J Bras Pneumol.** 2004;30(2):158-75.
- BOSCHETTI, L.; ROY, D.; BARBOSA, P.; BOCA, R.; JUSTICE, C. A MODIS assessment of the summer 2007 extent burned in Greece. *International Journal of Remote Sensing.* Vol.29. pg. 2433-2436. 2008
- BOSCHETTI, L.; ROY, D.; HOFFMANN, A. A. **MODIS Collection 5 Burned Area Product - MCD45 User's Guide.** Version 2.0. 2009.
- BRÂNCIO, P. A; Queima das pastagens. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa MG, 2001. Disponível em: <[www.tdnet.com.br/domicio/queima.htm](http://www.tdnet.com.br/domicio/queima.htm)>. Acesso em 017/06/2010.
- BERGER, R.; W.F. LIBBY. UCLA radiocarbon dates V. **Radiocarbon** 8:467-497, 1966.
- BERTRAN, P. **História da terra e do homem no Planalto Central: eco-história do Distrito Federal – do indígena ao colonizador.** Brasília: Solo. 1994.
- BESKOW, Samuel et al. **Estimativa do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica com base em modelagem dinâmica e distribuída.** *Rev. Bras. Ciênc. Solo* [online]. 2009, vol.33, n.1, pp. 169-178. ISSN 0100-0683.
- BONNET, B.R.P.; FERREIRA, L.G.; LOBO, F.C. Sistema de Reserva Legal Extra-Propriedade no Bioma Cerrado: uma análise preliminar no contexto da bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 59/2, ago. 2006;
- BONNET, B. R. P.; FERREIRA JUNIOR, L. G.; LOBO, F. C. **Relações entre qualidade da água e uso do solo em Goiás: uma análise à escala da bacia hidrográfica.** *Revista Árvore*, v. 32, p. 311-322, 2008;
- BORSATO, F. H e MARTONI, A. M. **Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no município de Maringá no Estado do Paraná.** *Acta Scientiarum Human and Social Sciences*, Maringá, Paraná, v. 26, n° 2, p. 273-285. 2004;
- BRASIL. Lei Federal nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº. 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº. 7.990, de 28 de dezembro de 1989. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo*, Brasília, 9 jan. 1997. Seção 1, p. 470.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE/SBF. **Áreas prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira: atualização.** Portaria MMA n. 9, de 23 de janeiro de 2007. Brasília, 2007. (Série Biodiversidade, 31).

BRASIL. **Decreto de Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000.** Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm). Acesso em: 15 setembro, 2010.

CANÇADO, J.E.D. A poluição atmosférica e sua relação com a saúde humana na região canavieira de Piracicaba – SP [**tese de doutorado**]. São Paulo: Faculdade de Medicina USP; 2003.

CASTRO, L.H.R., MOREIRA, A.M.; ASSAD, E.D. Definindo padrões espaciais de precipitação no Cerrado Brasileiro. In: Chuvas nos Cerrados: Análise e Espacialização, ed. E.D. Assad, 423p, 1994, Brasília, DF: Embrapa-SPI.

CASTRO-NEVES, B. M. Efeitos de queimadas em áreas de cerrado Stricto Sensu e na biomassa de raízes finas. 2007. 82 f. **Tese** (Doutorado em Ecologia)-Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

COUTINHO, L. Aspectos ecológicos do fogo no Cerrado. II. A temperatura do solo durante as queimadas. **Revista Brasileira de Botânica** 1: 93-96. 1978.

COUTINHO, L.M. As queimadas e seu papel ecológico. **Brasil Florestal**, 10(44):7-23, 1980.

COUTINHO, L. M. Aspectos ecológicos do fogo no Cerrado: nota sobre a ocorrência e datação de carvões vegetais encontrados no interior do solo, em Emas, Pirassununga, S.P. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 4, p. 15-117, 1981.

COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: Goldammer, J.G.( ed.). Fire in the tropical biota. **New York: Springer-Verlag**, 1990. Cap. 6, p. 82-105. (Ecological Studies, 84).

COUTINHO, L. M. O Uso do Fogo em Pastagens Naturais Brasileiras. In: PUIGNAU, J. P. (Ed.). **Utilización y Manejo de Pastizales**. Montivideo: IICA-PROCISUR, 1994. p.159-168. (DIALOGO XL).

CHRISTOFOLETTI. A. **Análise de sistemas em geografia**. São Paulo. São Paulo: HUCITEC, 1979.

\_\_\_\_\_. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1980, 2a. ed.

\_\_\_\_\_. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Brucher, 1999.

EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: PINTO, M. N. (Ed.). **Cerrado**: caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília, DF: Editora da UnB, 1994. p. 17-73.

FRANÇA, H. ; SETZER, A. . AVHRR analysis of a savanna site trough a fire season in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 22, n. 13, p. 2449-2461, 2001a.

FRANÇA, H. **Metodologia de identificação e quantificação de áreas queimadas no cerrado com imagens AVHRR/NOAA**. Tese (Doutorado), Instituto de Biociências, USP, 2001b.

FRASER, R. H; LI, Z; LANDRY, R. SPOT VEGETATION for Characterising Boreal Forest Fires Research letter. **International Journal of Remote Sensing**. Vol. 21, 2000. pg. 3525-3532.

FRASER, R.; LI, Z. Estimating fire related parameters in boreal forest using SPOT VEGETATION. **Remote Sensing of Environment**. Vol. 82, 2002. pg. 95 – 110.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G.; HUETE, A. R.; PECCININI, A. A. Análise comparativa dos produtos MODIS ecologia para o monitoramento biofísico ambiental do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Geofísica**. Vol. 24, No. 2. pg.251 – 260. 2006.

FERREIRA, N. C.; FERREIRA, L. G. Modelo Conceitual, Lógico e Físico de um Sistema para o Monitoramento Integrado e Sistemático da Floresta Amazônica a partir da Análise de Produtos de Sensoriamento Remoto, Dados Censitários e Cartográficos. Goiânia: Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais, 2006 (**Tese de Doutorado**).

FERREIRA, N.C.; FERREIRA, L.G.; HUETE, A.R.; FERREIRA, M.E. 2007. An operational deforestation mapping system using MODIS data and spatial context analysis. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, p. 47-62.

FRIEDL, M. A; SULLA-MENASHE. D; TAN, B; SCHNEIDER, A; RAMANKUTTY, N; SIBLEY, A; HUANG, X. MODIS Collection 5 Global Land Cover: Algorithm Refinements and Characterization of New Datasets. **Remote Sensing of Environment**. No. 114, 2010. pg. 168-182; DOI: 110.1016/j.rse.2009.1008.1016.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. São Paulo: ed. Egard Blucher, 1999. 291 p.;

GERARD, F; PLUMMER, S; WADSWORTH, R; FERRERUELA, A; ILIFFE, L; BALZTER, H; WYATT, B. Forest fire scar detection in the boreal forest with multi-temporal SPOT-VEGETATION. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**.Vol. 41, 2003. pg.2575-2585.

GIGLIO, L. **MODIS Collection 5 Active Fire Product User's Guide. Version 2.4**, 2010. Disponível em:  
<[http://www.fao.org/fileadmin/templates/gfims/docs/MODIS\\_Fire\\_Users\\_Guide\\_2.4.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/gfims/docs/MODIS_Fire_Users_Guide_2.4.pdf)>. Acessado em: 15/08/2010.

GOMES, H; NETO, A. T; BARBOSA, A. S. Geografia: Goiás-Tocantins. 2. Ed. Ver. e ampl. – Goiânia: Editora da UFG, 2004. 270 p.;

GUERRA, J. T. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 392 p.

GUIDON, N.; DELIBRIAS, G. Carbon-14 dates point to man in the Americas 32,000 years ago. **Nature**, v. 321, n. 6072, p. 769-771, 1986.

GUIMARÃES, R. J. P. S. **Seleção das bandas do sensor Modis Airbone Simulator (MAS) na discriminação de queimadas**. São José dos Campos: INPE, 2000. 84p.

IBGE. (2004) **Mapas interativos** (Mapa de Biomas). [WWW document]. URL <http://www.ibge.gov.br/mapas/>

JIANG, L.; QI, Q.; ZHANG, Z.; HAN, J.; CHENG, X.; ZHANG, A. **The generalization method research of river network based on morph structure and catchments' character knowledge**. In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B4. Beijing, 2008;

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Editora Parêntese, São José dos Campos, SP. 2009.

JUSTICE, C; VERMOTE, E; TOWNSHEND, J. R. G; DEFRIES, R; ROY, D. P; HALL, D. K; SALOMONSON, V. V; PRIVETTE, J; RIGGS, G; STRAHLER, A; LUCHT, W; MYNENI, R; KNJAZIHHIN, Y; RUNNING, S; NEMANI, R; WAN, Z; HUETE, A; VAN LEEUWEN, W; WOLFE, R. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, Vol. 36(4), 1998. Pg. 1228-1249

JUSTICE, C.O; GIGLIO, L; KORONTZIA, S; OWENSA, J; MORISETTE, J.T; ROYA, D; DESCLOITRES, J; ALLEAUMED, S; PETITCOLINE, F; KAUFMAN, Y. The MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**. No. 83, 2002. Pg. 244 – 262.

JUSTICE, C. O; GIGLIO, L.; BOSCHETTI, L.; ROY, D. P.; CSISZAR I.; MORISETTE, J.; KAUFMAN, Y. **MODIS fire products - algorithm technical background document, version 2.3**, October, 2006. Disponível em: [http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod14.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod14.pdf) . Acesso em: 28/06/2010.

KAUFMAN, Y. J; JUSTICE, C; FLYNN, L; KENDALL, J; PRINS, E; WARD D. E; MENZEL, P; SETZER, A. Monitoring Global Fires from EOS-MODIS. **Journal of Geophysical Research**. Vol. 103. 1998. pg. 32215-32238.

KLINK, C.A.; MACHADO, R.B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19 (3): 707-713, 2005.

KRUG, T.; RIVERA-LOMBARDI, R. J.; DOS SANTOS, J. R. Burned area, Recurrence of Fires and Permanence of Burnt scars in Selected Areas of the Brazilian Cerrado Using TM-Landsat Imagery. In: **XXth International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress**, 2004, Istanbul. . XXth ISPRS Congress: Geo-Imagery Bridging Continents. Istanbul: ISPRS, 2004. Istanbul: M.Orhan Altan, Congress Director, 2004. v. XXXV. p. 243-246.

LENTILE, L.B.; HOLDEN, Z.A.; SMITH, A.M.S.; FALKOWSKI, M.J.; HUDAK, A.T.; MORGAN, P.; LEWIS, S.A.; GESSLER, P.E.; BENSON, N.C. Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. **International Journal of Wildland Fire**. 2006. 15: 319-345. [doi: 10.1071/WF05097].

LI, R.R. KAUFMAN, Y. J.; HAO, W. M.; SALMON, M.; GAO, B. G. A Technique for Detecting Burn Scars Using MODIS Data. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, vol. 42, 2004.

LOPES, F.S; RIBEIRO, H. Mapeamento de internações hospitalares por problemas respiratórios e possíveis associações à exposição humana aos produtos da queima da palha de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. **Revista Brasileira Epidemiologia**. 2006; 9(2):215-25.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE/SBF. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002**. Secretária de Biodiversidade e Florestas. 5ª. ed. Aum. Brasília: MMA/SBF, 2004. 56p.

\_\_\_\_\_. **Mapeamento da cobertura vegetal do bioma cerrado, relatório final**. Edital Probio 02/2004. Projeto Executivo B.02.02.109. Brasília, junho 2007.

MIMS, F.M. 3rd. Health effects of tropical smoke. **Nature**, 1997; 390: 222-3

MANTOVANI, J.E.; PEREIRA, A. Estimativa da integridade da cobertura de vegetação do Cerrado através de dados Landsat - TM. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 9, Santos, SP, 1998 (versão em CD-ROM).

MARTÍN, M. P; CHUVIECO, E. Mapping and evaluation of burned land from multitemporal analysis of AVHRR NDVI images. **EARSel Advances in Remote Sensing**. Vol. 4. No. 3, 1995. pg. 7-13.

MASCARENHAS, M. D. M. et al. **Anthropogenic air pollution and respiratory disease-related emergency room visits in Rio Branco, Brazil - September, 2005**. *J. bras. pneumol.* [online]. 2008, vol.34, n.1, pp. 42-46. ISSN 1806-3713.

MIRANDA, E.E. de; MANTOVANI, L.E.; PIEROZZI Jr., I.; TAKEDA, A.M.; MATTOS, C. de O.; MANGABEIRA, J.A. de C.; FILARDI, A.L. **O impacto ambiental das queimadas da palha de cana-de-açúcar**: Parecer técnico científico. Campinas: MARA, Embrapa Monitoramento por Satélite, 1993.

MIRANDA, H. S.; SATO, M. N.; ANDRADE, S. M. A.; HARUDASAN, M.; MORAIS, H. C. **Queimadas de Cerrado: caracterização e impactos**. In: Aguiar, L. M. S.; Camargo, A. J. A (Org). *Cerrado: ecologia e caracterização*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. Cap. 3, p. 69-123.

MIZIARA, F.; FERREIRA, N.C. Expansão da fronteira agrícola e evolução da ocupação e uso do espaço no Estado de Goiás: subsídios à política ambiental. In: Laerte Guimarães

Ferreira Jr. (Org.). **A encruzilhada socioambiental** - biodiversidade, economia e sustentabilidade no cerrado. 1 ed. Goiânia: Editora UFG, v. 1, p. 107-125, 2008.

MORISSETTE, J. T; GIGLIO, L; CSISZAR, I; SETZER, A; SCHROEDER, W; MORTON, D; JUSTICE, C. O. Validation of MODIS active fire detection products derived from two algorithms. *Earth Interactions*. Vol. 9. No. 9, 2005. pg. 1-23.

MOTTA, P.E.F., CURI, N. & FRANZMEIER, D.P. Relation of soils and geomorphologic surfaces in the Brazilian Cerrado. In: *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a Neotropical savanna*, eds. P.S. Oliveira & R.J. Marquis, pp 13-32. Columbia, NY: University Press, 2002.

MYERS, N., MITTERMEIER, R.A., MITTERMEIER, C.G., DA FONSECA, G.A.B. & KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403: 853-858, 2000.

NASCIMENTO. W. M. & VILAÇA, M. G. Bacias Hidrográficas: Planejamento e Gerenciamento. Publicado na revista eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros, Três Lagoas, n. 7, maio de 2008.

NASCIMENTO, D. T. F.; ARAÚJO, F. M. de; FERREIA, L. G. J. . Análise dos Padrões de distribuição espacial e temporal dos focos de calor no bioma Cerrado. RBC. *Revista Brasileira de Cartografia*, 2009.

PEREIRA, M.C.; SETZER. A.W. Spectral characteristics of fire scars in Landsat-5 TM images of Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 14, n. 11, p. 2061-2078, 1993.

PFAFSTETTER, O. **Classificação de bacias hidrográficas: metodologia de codificação**. Rio de Janeiro, RJ: Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), 1989. 16 p. Trabalho não publicado;

PIROMAL, R. A. S.; RIVEIRA-LOMBARDI, R. J.; SHIMABURURO, Y.E.; FORMAGGIO, A. R.; KRUG, T. Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia. *Revista Acta Amazonica*. Vol. 38 (1), 2008. pg. 77 – 84.

PIVELLO, V. R.; COUTINHO, L. M. Transfer of Macro-Nutrients to the Atmosphere during Experimental Burnings in a Open Cerrado (Brazilian Savanna). **Journal of Tropical Ecology**. Vol. 8, No 4. p. 457-497, 1992.

PIVELLO, V. R.; NORTON, G. A. FIRETOLL: an expert system for the use of prescribed fires in Brazilian savannas. **The Journal of Applied Ecology**. Vol. 33, No. 2. 1996. p. 348-356.

PIVELLO, V. R. & COUTINHO, L. M. A qualitative successional model to assist in the management of Brazilian cerrados. **Forest Ecology and Management** **87**(1-3): 127-138. 1996.

PIVELLO, V.R.; CARVALHO, V.M.C.; LOPES, P.F.; PECCININI, A.A. & ROSSO, S. Abundance and distribution of native and alien grasses in a “cerrado” (Brazilian savanna) biological reserve. *Biotropica*, 31(1): 71-82. 1999a.

PIVELLO, V.R.; SHIDA, C.N. & MEIRELLES, S.T. Alien grasses in Brazilian savannas: a threat to the biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 8(9): 1281-1294. 1999b.

PIVELLO, V.R. Manejo de fragmentos de cerrado: princípios para a conservação da biodiversidade. In: *Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação*. A. Scariot, J. C. Sousa Silva & J. M. Felfili (Eds.). Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, 2006. pp.402-413. (ISBN85-87166-81-6)

PIVELLO, V.R. Invasões Biológicas no Cerrado Brasileiro: Efeitos da Introdução de Espécies Exóticas sobre a Biodiversidade. *ECOLOGIA.INFO* 33, 2008. Disponível em: <<http://www.ecologia.info/cerrado.htm>>. Acessado em: 01/08/2010.

RAMOS-NETO, M. B. & PIVELLO, V. R., 2000, Lightning fires in a Brazilian savanna National Park: rethinking management strategies. **Environmental Management** Vol. 26, No. 6. 2000. p. 675-684.

RIBEIRO, H.; ASSUNÇÃO, J. V. **Efeitos das queimadas na saúde humana**. *Estud. av.* [online]. 2002, vol.16, n.44, pp. 125-148. ISSN 0103-4014.

RIBEIRO, H. **Queimadas de cana-de-açúcar no Brasil: efeitos à saúde respiratória**. *Rev. Saúde Pública* [online]. 2008, vol.42, n.2, pp. 370-376. Epub Feb 29, 2008. ISSN 0034-8910.

RIVERA-LOMBARDI, R. J. Estudo da recorrência de queimadas e permanência de cicatrizes do fogo em áreas selecionadas do cerrado brasileiro, utilizando imagens TM/Landsat. São José dos Campos: INPE, 2003. 172p. – (INPE-12663-TDI/1006)

RIVERA-LOMBARDI, R. J. Estimativa de áreas queimadas com produtos MODIS como subsídio à estimativa de emissões de gases de efeito estufa pela queima de biomassa na Amazônia e Cerrado brasileiros. **Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto)**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2009.

ROCHA, G.F.; FERREIRA, L.G.; FERREIRA, N.C.; FERREIRA, M.E. Detecção de desmatamentos no bioma cerrado entre 2002 e 2009: padrões, tendências e impactos. *Revista Brasileira de Cartografia*. 2010. (submetido).

ROCHA, G. F. et al.. Mapeamento e análise dos desmatamentos no bioma cerrado para o período 2004-2005. *Simposio Nacional Cerrado*, 9. Brasília, 12-17 out. 2008. *Anais do IX Simposio Nacional dos Cerrados*.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. **Técnicas Fundamentais para o Estudo de Bacias Hidrográficas**. In: Venturi, L. A. B. (Org). *Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental*. 1. ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2005. Cap. 9, p.147-166;

ROY, D.P.; BOSCHETTI, L. 2009, Southern Africa Validation of the MODIS, L3JRC and GlobCarbon Burned Area Products. **IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing**. vol. 47(4), pp. 1032 – 1044. 2009

ROY, D.P.; BOSCHETTI, L.; JUSTICE, C. O.; JU, J. The Collection 5 MODIS Burned Area Product - Global Evaluation by Comparison with the MODIS Active Fire Product. **Remote Sensing of Environment**, 112, 3690-3707, 2008.

RYLANDS, A. B; BRANDON, K. Unidades de Conservação Brasileiras. Megadiversidade. Volume 1. N° 1, 2005.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.; FERREIRA JR., L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 43, p. 153-156, 2008.

SANO, E. E. ; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA JUNIOR, L. G. . Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment (Print)** <sup>JCR</sup>, v. 166, p. 113-124, 2010.

SANO, E.E.; ROSA, R.; B., J.L.S.; FERREIRA JR., L.G. **Mapeamento da cobertura vegetal do bioma Cerrado: estratégias e resultados**. Brasília: Embrapa Cerrados, 2007. (Documentos).

SILVEIRA, A.L.L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. São Paulo: EDUSP, 2000. p 35-51.

SISTEMA NACIONAL DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DA NATUREZA – SNUC, lei n° 9.985, de 18 de julho de 2000; decreto n°4.340, de 22 de agosto de 2002. 5ª. ed. Aum. Brasília: MMA/SBF, 2004. 56p.

SOUZA, E.R. & FERNANDES, M.R. Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais. *Inf. Agropec.*, Belo Horizonte, 207: 15-20, 2000.

STROPPIANA, D; GRÉGOIRE, J-M; PEREIRA, J. M. C. The use of SPOT VEGETATION data in a classification tree approach for burnt area mapping in Australian savanna. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 24. No. 10, 2003a. pg. 2131 – 2151.

STROPPIANA, D; TANSEY, K; GRÉGOIRE, J-M; PEREIRA, J.M.C. An algorithm for mapping burnt areas in Australia using SPOT-VEGETATION data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* , Vol. 41. No. 4, 2003b. pg. 907-909.

SCHROEDER, W.; PRINS, E.; GIGLIO, L.; CSISZAR, I.; SCHMIDT, C.; MORISETTE, J.; MORTON, D. Validation of GOES and MODIS active fire detection products using ASTER and ETM+ data. *Remote Sensing of Environment*, 2008. p. 2711–2726.

TANSEY, K., et al. Vegetation burning in the year 2000: Global burned area estimates from SPOT VEGETATION data. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 109, 2004. doi:10.1029/2003JD003598.

TEIXEIRA, A. A. (et al). Topologia Hídrica: uma proposta para estão de recursos hídricos utilizando sistema de informações geográficas. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, INPE, 2007.

TUCCI, C.E.M. **Impactos da variabilidade climática sobre os recursos hídricos do Brasil**. Brasília, ANA, 2002. 150p. (Relatório de Consultoria)

TUCCI, C.E.M.; CLARKE, R.T. 1980. **Adaptive forecasting with a conceptual rainfall-runoff model. Hydrological Forecasting**. Proc. Oxford Symp., IAHS n.129 pp425-454

TANSEY, K., et al. Vegetation burning in the year 2000: Global burned area estimates from SPOT VEGETATION data. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 109, 2004. doi:10.1029/2003JD003598.

TEIXEIRA, A. A. (et al). Topologia Hídrica: uma proposta para estão de recursos hídricos utilizando sistema de informações geográficas. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, INPE, 2007.

TUCCI, C.E.M. **Impactos da variabilidade climática sobre os recursos hídricos do Brasil**. Brasília, ANA, 2002. 150p. (Relatório de Consultoria)

TUCCI, C.E.M.; CLARKE, R.T. 1980. **Adaptive forecasting with a conceptual rainfall-runoff model. Hydrological Forecasting**. Proc. Oxford Symp., IAHS n.129 pp425-454

VILAÇA, M.F. et al. **Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento e Gestão: O Estudo de Caso do Ribeirão Conquista no Município de Itaguara – MG**. In: XIII Simpósio de Geografia física Aplicada – SBGFA, 2009, Viçosa, MG.

WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas. Tese de Doutorado**. Universidade de Brasília. 2006. 389p.

YAMASOE, E., M.A.; ARTAXO, P.; MIGUEL, A.H. & ALLEN, A.G. Chemical composition of aerosol particles from direct emissions of vegetation fires in the Amazon Basin: water-soluble species and trace elements. *Atmospheric Environment*, 34, p. 1641-1653, Elsevier, Great Britain, 2000.

YOUNG, C. E. F. Mecanismos de Financiamento para a Conservação no Brasil. **Megadiversidade**. Volume 1. N° 1, 2005. Disponível em: [http://www.conservacao.org/publicacoes/files/27\\_Carlos\\_Eduardo.pdf](http://www.conservacao.org/publicacoes/files/27_Carlos_Eduardo.pdf). Acesso em: 20 de setembro de 2010.

ZANINI, A. M.; DINIZ, D. Efeito da Queima sob o Teor de Umidade, Características Físicas e Químicas, Matéria Orgânica e Temperatura no Solo sob Pastagem. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 7, nº 3. Espanha, 2006.

## APÊNDICE A

### COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS MCD45A1 E “ÁREA QUEIMADA GIGLIO”

Os dados MCD45A1 e “área queimada Giglio” são produtos obtidos através do sensor MODIS abordo dos satélites TERRA e AQUA. Os dados de “área queimada Giglio” é um novo produto para discriminação de cicatrizes de queimadas, ainda em fase de testes, os quais foram cedidos gentilmente pela equipe do Prof. Louis Giglio, à frente do desenvolvimento desse produto.

Através da espacialização dos dois dados de áreas queimadas referentes ao bioma Cerrado, observa-se que o produto de área queimada Giglio (ou *Burnt* Giglio) discriminou mais cicatrizes de queimadas do que o produto MCD45A1 (somente pixels com alta confiabilidade, i.e. BA pixel QA com valores 1). Entre 2002 a 2009 os produtos *Burnt* Giglio e MCD45A1 registraram, respectivamente, 582.575 Km<sup>2</sup> e 398.111 Km<sup>2</sup> de área queimada (Tabela 1). O produto *Burnt* Giglio registrou uma área 32% maior que o produto MCD45A1, sendo que, entre os anos presentes na análise, o ano de 2006 foi o que teve a maior diferença entre os dois mapeamentos, já que o MCD45A1 discriminou uma área queimada (total) 45% menor que o *Burnt* Giglio. Por outro lado, para ano de 2008 temos a menor diferença de área queimada registrada entre os dois mapeamentos, 12%.

Tabela 1 – Área queimada registrada no bioma Cerrado entre 2002 a 2009 pelos produtos MCD45A1 e *Burnt* Giglio.

<b>Área Queimada (Km<sup>2</sup>) - Bioma Cerrado</b>		
<b>ANO</b>	<b>MCD45A1</b>	<b><i>Burnt</i> Giglio</b>
<b>2002</b>	59.523	88.591
<b>2003</b>	32.053	51.919
<b>2004</b>	47.174	70.875
<b>2005</b>	46.933	85.404
<b>2006</b>	27.550	38.405
<b>2007</b>	128.505	178.963
<b>2008</b>	45.604	51.923
<b>2009</b>	10.769	16.495
<b>Total</b>	398.111	582.575

A figura 1 mostra a variação do registro de áreas queimadas entre 2002 a 2009 no bioma Cerrado a partir dos dados obtidos pelos dois produtos da análise, MCD45A1 e *Burnt*

Giglio. É interessante observar nesta figura que, ainda que as áreas, ano a ano, sejam diferentes, os dois produtos analisados mostram as mesmas tendências temporais quanto à área queimada, em particular, o pico em 2007, a partir do qual as áreas queimadas tendem a diminuir.

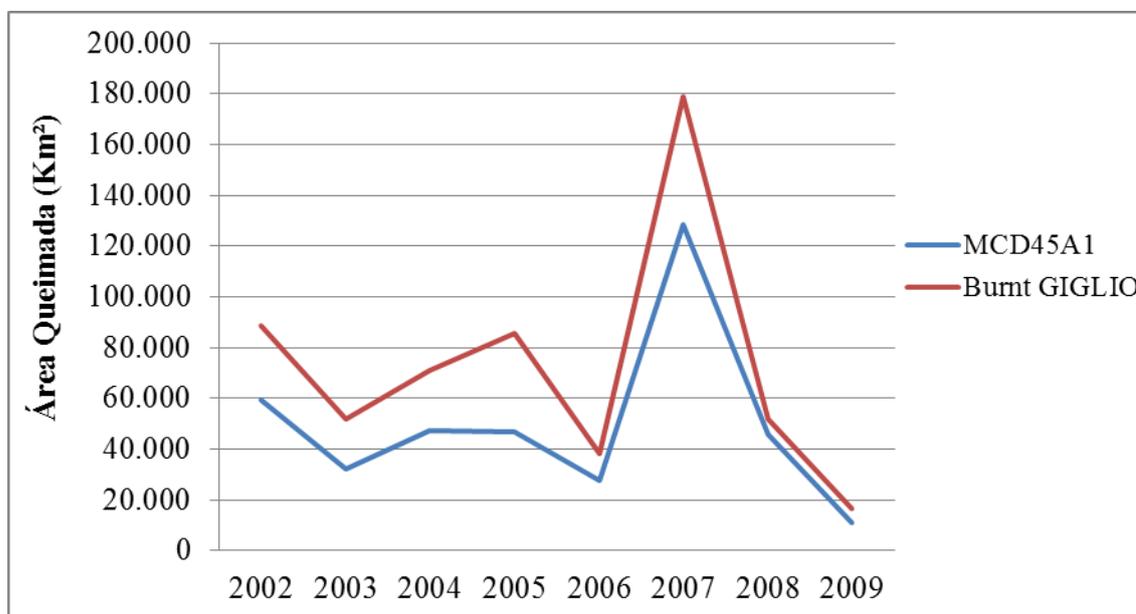


Figura 1 – Distribuição da área queimada no bioma Cerrado (2002 a 2009), conforme detectadas pelos produtos MCD45A1 e *Burnt* Giglio.

Nas figuras 2 e 4 e 3 e 5 temos, respectivamente, a espacialização das áreas queimadas registradas pelos produtos *Burnt* Giglio e MCD45A1. Nas figura 2 e 4, podemos notar que o algoritmo de detecção de cicatrizes de queimadas do produto *Burnt* Giglio define melhor o contorno da queimada discriminada na imagem LANDSAT TM, a qual possui resolução espacial de 30 metros. Ao contrário, a área queimada discriminada pelo algoritmo do produto MCD45A1 mostra-se mais fragmentada e menos delineada (figuras 3 e 5). É importante ressaltar que esta fragmentação se deve em parte ao fato de só considerarmos na análise do produto MCD45A1 os pixels de maior confiabilidade (QA com valor 1), em detrimento aos pixels de menor qualidade (i.e. QA com valores 2, 3 e 4) (figura 4).

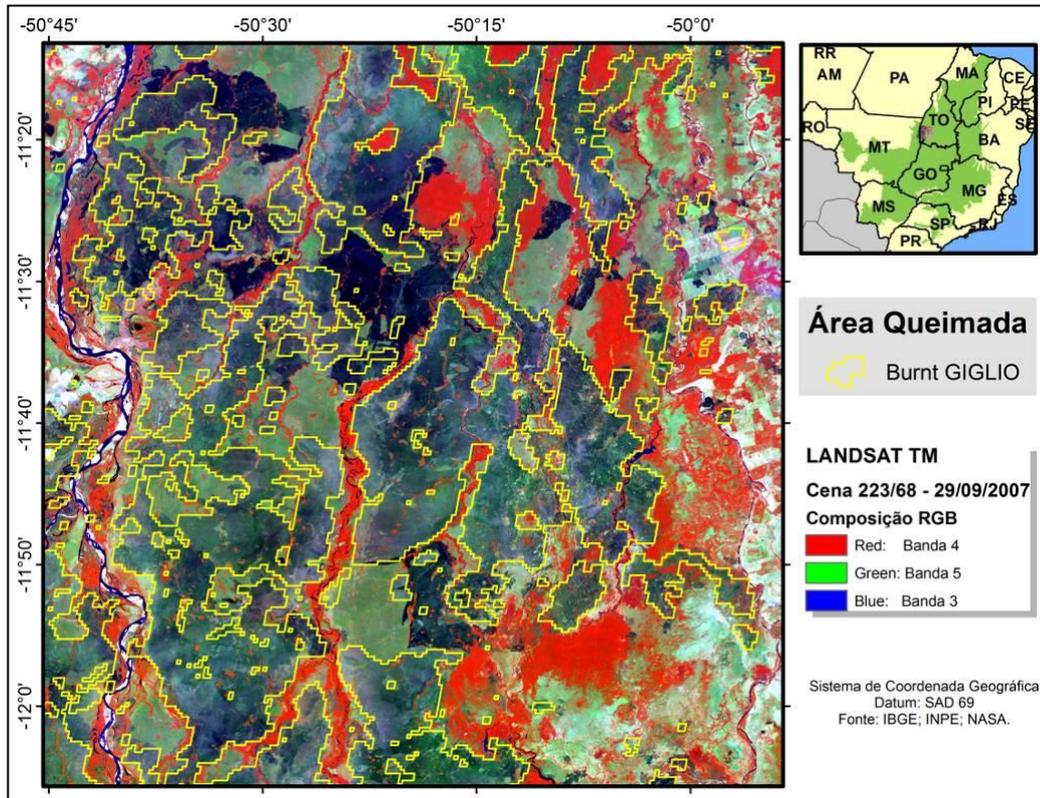


Figura 2 – Espacialização da área queimada (2007) discriminada pelo produto *Burnt* Giglio em relação à cena LANDSAT TM 223/68.

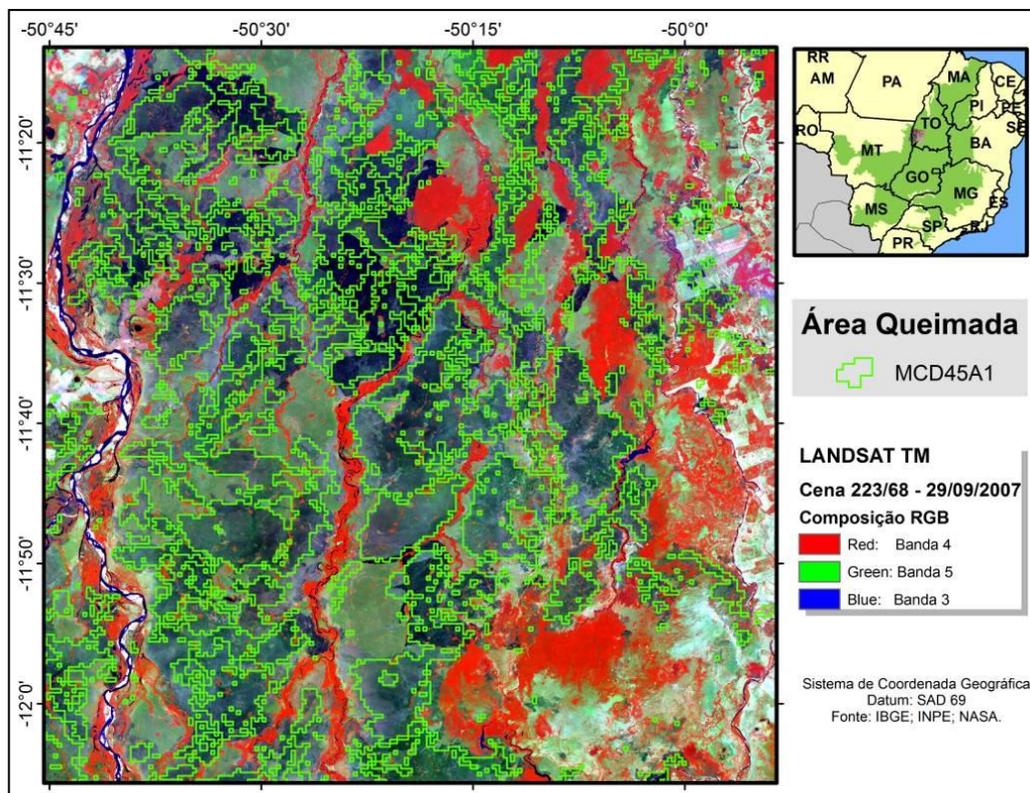


Figura 3 – Espacialização da área queimada (2007) discriminada pelo produto MCD45A1 em relação à cena LANDSAT TM 223/68.

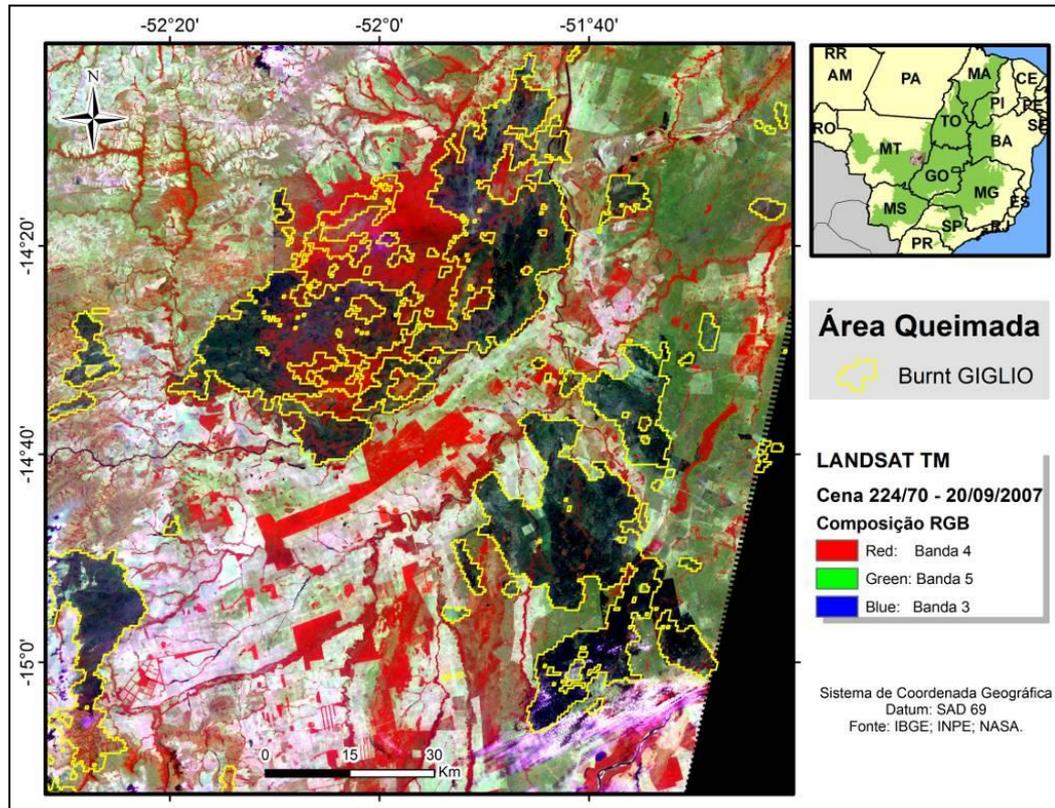


Figura 4 – Espacialização da área queimada (2007) discriminada pelo produto *Burnt* Giglio em relação à cena LANDSAT TM 224/70.

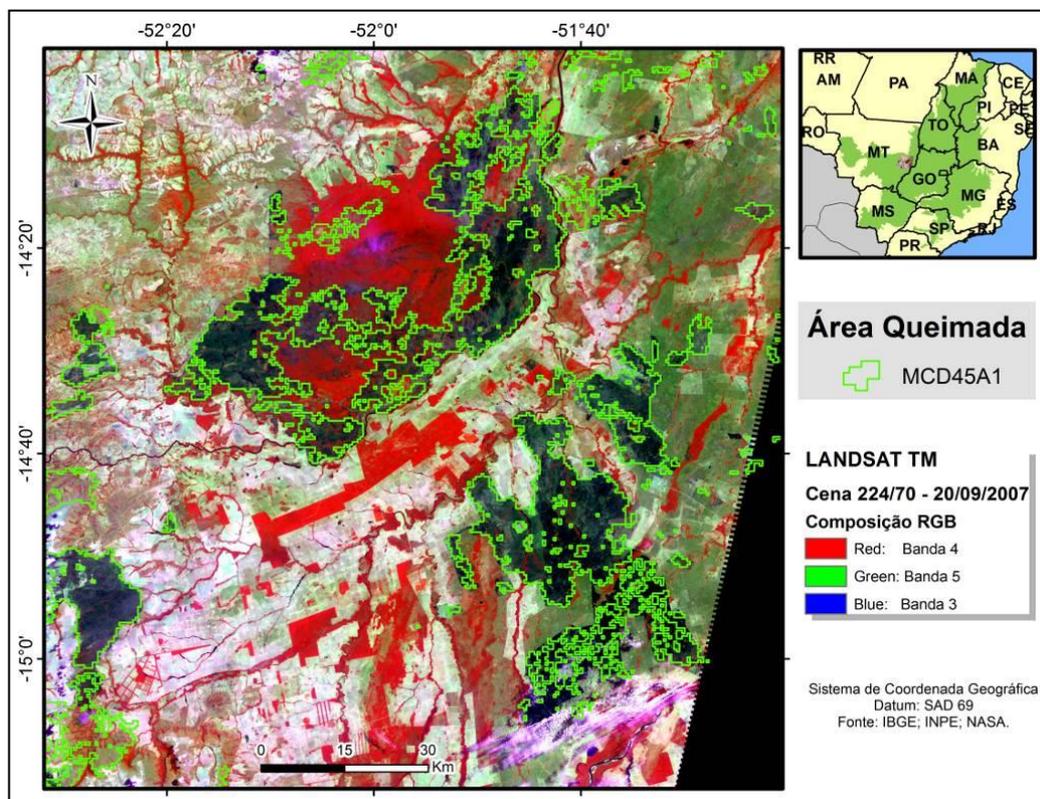


Figura 5 – Espacialização da área queimada (2007) discriminada pelo produto MCD45A1 em relação à cena LANDSAT TM 224/70.

A partir dos exemplos mostrados nas figuras anteriores, fica evidente que ambos os produtos de discriminação de área queimada delimitam com alta acuidade as áreas atingidas pelo fogo no bioma Cerrado, sendo que, o produto *Burnt Giglio* apresenta um melhor delineamento de áreas queimadas em relação ao dado MCD45A1 com alta confiabilidade (Ba pixel Qa 1). Outro fator a ser levantado é que, basicamente, os dois produtos de mapeamento da área queimada analisados pontuam a mesma área afetada pelo fogo, mas devido à precisão do algoritmo, a mesma área queimada é discriminada totalmente ou parcialmente.

Devido à fragmentação da área queimada com alta confiabilidade obtida pelo algoritmo do MCD45A1, temos que parte da área queimada que ocorreu dentro dos limites do bioma Cerrado, entre os anos analisados, foi omitida. Se por um lado, o produto MCD45A1 (dados referentes ao QA valor 1) tende a subestimar a extensão da área queimada total, constata-se que o produto *Burnt Giglio*, apesar de apresentar melhor delineamento das cicatrizes de queimada, tende a superestimar a extensão da área afetada pelo fogo.

**APÊNDICE B**  
**ESPACIALIZAÇÃO DA ÁREA QUEIMADA TOTAL (2002 A 2008) CONFORME AS ÁREAS PRIORITÁRIAS LOCALIZADAS NO BIOMA CERRADO**

