



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**DINÂMICA DO FOGO NA REGIÃO DO MATOPIBA
UTILIZANDO DADOS DO SENSOR MODIS**

Estudante: Catherine Silva Menezes, matrícula: 09/91830
Orientador: Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Brasília-DF, 17 de novembro 2016.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**DINÂMICA DO FOGO NA REGIÃO DO MATOPIBA
UTILIZANDO DADOS DO SENSOR MODIS**

Estudante: Catherine Silva Menezes, matrícula 09/91830

RG: 3.491977 SSP/DF

CPF: 030.814.541-07

Linha de pesquisa: Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto

Orientador: Professor Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Brasília – DF, 17 de novembro de 2016.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**DINÂMICA DO FOGO NA REGIÃO DO MATOPIBA
UTILIZANDO DADOS DO SENSOR MODIS**

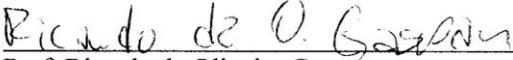
Estudante: Catherine Silva Menezes, matrícula 09/91830

Menção: SS

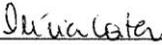
Banca examinadora:



Prof. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi
Dep. de Engenharia Florestal – UnB
(Orientador)



Prof. Ricardo de Oliveira Gaspar
Dep. de Engenharia Florestal – UnB
Membro



MSc. Olívia Bueno da Costa
Dep. Engenharia Florestal – UnB
Membro

Brasília – DF, 17 de novembro de 2016.

*Aos meus pais, Sérgio e Eurídice,
À minha irmã Caroline,
Ao meu filho Vicente,
e a toda minha família,
dedico.*

RESUMO

A expansão da fronteira agrícola na região do MATOPIBA (MAranhão, TOcantins, PIAui, BAhia) observada nas últimas décadas foi a principal responsável pelo aumento do desmatamento, incêndios e queimadas na região. Devido as inúmeras consequências da ocorrência do fogo no meio ambiente, com destaque à destruição de habitats e da biodiversidade, torna-se relevante o estudo e atividades de monitoramento e detecção das áreas afetadas pelo fogo. No presente estudo, foram testados e validados dados do MODIS MCD45A1 produzidos para detectar cicatrizes de áreas afetadas pelo fogo na região do MATOPIBA. Os resultados mostraram que o produto nível 4 do MCD45A1 apresentou a melhor acurácia global (79%) na detecção de áreas afetadas pelo fogo. O produto derivado do MCD45A1, que apresentou maior acurácia na detecção de áreas atingidas por fogo, foi utilizado para quantificar e analisar a frequência e espacialidade dos incêndios ocorridos na região de estudo no período de 2005 a 2015. Com base nos dados nível 4 do produto Modis MCD45A1, estima-se que aproximadamente 12,5 milhões de hectares queimaram pelo menos uma vez entre 2005 e 2015. Outros 2,46 milhões de hectares pelo menos duas vezes na região e período de estudo. Em geral, mais de 6% da região do MATOPIBA queimou pelo menos uma vez. As maiores quantidades de áreas afetadas por fogo foram observadas nos anos de 2007, 2010, 2012 e 2015, com totais anuais sempre superiores a 1 milhão de hectares, indicando influência climática na ocorrência do fogo na região. A maior parte dos incêndios ocorreu nas regiões do Oeste da Bahia, Oeste do Piauí, Leste do Tocantins e Sul do Maranhão, indicando relação direta com as atividades agrícolas desenvolvidas na região. Este estudo contribuiu com o melhor entendimento da distribuição e dinâmica espacial das áreas afetadas por fogo, indicando áreas prioritárias para a implementação de ações de prevenção e combate a incêndios florestais na região do MATOPIBA.

Palavras-chave: Incêndios florestais, Cerrado, MATOPIBA, MODIS-MCD45A1.

ABSTRACT

The expansion of the agricultural frontier in the MATOPIBA (MAranhao, TOcantins, PIAui, BAhia) region observed in recent decades has been the main responsible by the increase of deforestation and forest fires in that region. Studies and monitoring activities to detect and monitor forest fire scars are relevant because of several impacts that the fire may cause to the environment, especially habitat and biodiversity destruction. In this study, the MODIS MCD45A1 (developed to detect fire scars) was tested and validated for the MATOPIBA region. Based on this study results, the 4-level product of MCD45A1 showed the best overall accuracy (79%) for the fire scar detection. The product derived from MCD45A1 showed the highest accuracy to detect fire scars and was used to estimate and understand fire frequency and spatial distribution within the study region between 2005 and 2015. Based on the 4-level product MCD45A1 Modis, approximately 12.5 million hectares were burned in MATOPIBA in the studied period. An additional 2.46 million hectares were burned at least twice in the period and study region. Additionally, more than 6% the MATOPIBA region were burned at least once. The largest amounts of areas affected by fire were observed in 2007, 2010, 2012 and 2015, where more than 1 million hectares were annually burned, which indicates that climate may play an important role on fire frequency and propagation in the study region. Most of the fires occurred in Western Bahia, Southern Piauí, Eastern Tocantins and Southern Maranhão, which shows a direct relationship between forest fires and agricultural activities adopted in the study area. This study contributes to better understanding spatial distribution and dynamics of fire scars, indicating priority areas for implementing activities to prevent and combat forest fires in the MATOPIBA region.

Key words: Forest fires, Cerrado, MATOPIBA, MODIS-MCD45A1.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Limite do MATOPIBA (Adaptado da Embrapa, 2015).....	18
Figura 2. Pontos aleatorizados com restrição em imagem LANDSAT cena 220/68 RGB(6/5/4).	20
Figura 3. a) Cena LANDSAT 220/68 em composição de bandas RGB 6/5/4 utilizada para validação do produto, com áreas atingidas por fogo (cor mais escura) em 2015; b) destaque aos polígonos delimitados no produto MCD45A1 de áreas atingidas por fogo utilizadas para distribuir aleatoriamente 150 pontos para avaliação da acurácia do referido produto.	21
Figura 4. Área atingida por fogona região do Matopiba entre 2005 e 2015.....	26
Figura 5. Recorrência do fogo na região do Matopiba entre 2005 e 2015.	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Produtos gerados pelo MODIS para superfície Terrestre.....	15
Tabela 2- Níveis de confiança na detecção de áreas queimadas, onde 1 é o mais confiável e 4 menos confiável.....	17
Tabela 3. Índice Kappa e o correspondente desempenho da classificação.	23
Tabela 4- Matriz de confusão, acurácia do produtor e acurácia do usuário estimada a partir de comparação entre áreas queimadas detectadas no produto MODIS- MCD45A1 nível 4 e na cena LANDSAT-8 (OLI).....	24
Tabela 5. Matriz de confusão, acurácia do produtor e acurácia do usuário estimada a partir de comparação entre áreas queimadas detectadas no produto MODIS- MCD45A1 nível 2 e na cena LANDSAT-8 (OLI).....	24
Tabela 6. Matriz de confusão, acurácia do produtor e acurácia do usuário estimada a partir de comparação entre áreas queimadas detectadas no produto MODIS- MCD45A1 nível 3 e na cena LANDSAT-8 (OLI).....	24

Tabela 7. Matriz de confusão, acurácia do produtor e acurácia do usuário estimada a partir de comparação entre áreas queimadas detectadas no produto MODIS- MCD45A1 nível 4 e na cena LANDSAT-8 (OLI).....	25
Tabela 8. Área de recorrência do fogo entre 2005 e 2015 na região do MATOPIBA.	26
Tabela 9. Área de recorrência do fogo entre 2005 e 2015, por Estado, na região do MATOPIBA.	27
Tabela 10. Área de recorrência do fogo entre 2005 e 2015 na região do MATOPIBA nas de unidades de conservação ou terras indígenas.	29

SUMÁRIO

ABREVIações E TERMINOLOGIAS.....	X
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. PROBLEMA E QUESTõES DE PESQUISA	13
3. OBJETIVO GERAL.....	13
3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
4. REVISÃO DE LITERATURA	14
4.1. SENSOR MODIS.....	14
4.2.1. Produto MCD45A1	15
4.3. SATÉLITES DA SÉRIE LANDSAT	17
5. METODOLOGIA.....	18
5.1 ÁREA DE ESTUDO	18
5.2 ETAPAS DO TRABALHO.....	19
5.2.1 Determinação das áreas queimadas	19
5.2.2 Validação dos dados	20
5.2.3 Quantificação anual das queimadas e áreas de recorrência.....	23
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
6.1. AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DO PRODUTO MODIS MCD42A1	24
7. CONCLUSÃO.....	30
REFERÊNCIAS	31
APÊNDICES	35
APENDICE 1. ÁREAS ATINGIDAS PELO FOGO EM 2005	36
APENDICE 2. ÁREAS ATINGIDAS POR FOGO EM 2006.....	37
APENDICE 3. ÁREAS ATINGIDAS POR FOGO EM 2007	38
APENDICE 4. ÁREAS ATINGIDAS POR FOGO EM 2008.....	39
APENDICE 5. ÁREAS ATINGIDAS POR FOGO EM 2009.....	40
APENDICE 6. ÁREAS ATINGIDAS POR FOGO EM 2010.....	42

APENDICE 7. ÁREAS ATINGIDAS POR FOGO EM 2011	43
APENDICE 8. ÁREAS ATINGIDAS POR FOGO EM 2012.....	44
APENDICE 9. ÁREAS ATINGIDAS POR FOGO EM 2013.....	45
APENDICE 10. ÁREAS ATINGIDAS POR FOGO EM 2014.....	46
APENDICE 11. ÁREAS ATINGIDAS POR FOGO EM 2015.....	48

ABREVIACOES E TERMINOLOGIAS.

MATOPIBA: Acrnimo formado pelas iniciais dos estados do **MA**ranho, **TO**cantins, **PI**au e **BA**hia.

Fogo: Refere-se ao andamento simultâneo de calor, luz e chama produzido pela combustão viva de algum material combustível (IBAMA, 2016);

Queimada: É um termo prático atribuído, de forma geral,  queima controlada, isto é, o emprego do fogo como fator de produção e manejo em atividades agropastoris ou florestais, bem como para fins de pesquisa científica (IBAMA, 2016);

Incêndio Florestal:  termo atribuído para a ocorrência de fogo fora de controle em qualquer tipo de vegetação, onde muitas vezes pode ser ocasionado por queimadas que não foram devidamente autorizadas, aceiradas e monitoradas. (IBAMA, 2016).

Foco de calor: É o registro de calor detectado na superfície do solo por sensores a bordo de satélites de monitoramento (IBAMA, 2016);

1. INTRODUÇÃO

A utilização do fogo nas práticas antrópicas está bastante consolidada, principalmente quando se trata de atividades agrícolas e de pecuária para abertura e/ou consolidação de novas áreas desmatadas. O uso do fogo pelos seres humanos é antigo na região central do território brasileiro através do homem primitivo (GUIDON e DELIBRIAS, 1986).

No Brasil central, a ocorrência de fogo tem aumentado em área e frequência junto com o crescimento das atividades de agropecuária nas três últimas décadas, a maior parte com o manejo do pasto para criação de bovinos (RIVEIRA-LOMBARDI, 2003). O fogo é utilizado no manejo e renovação de pastagens na região do Cerrado durante o período seco, para estimular a rebrota da forragem, que é mais fresca e palatável para o gado. A expansão agrícola é uma atividade causadora de queimadas, já que é uma atividade controlada e incorporada ao sistema de produção (COUTINHO, 1980; PIVELLO & COUTINHO, 1996; RIVEIRA-LOMBARDI, 2003).

Dentre outros problemas eminentes com o uso do fogo ao meio ambiente estão as erosões, a compactação do solo e o aumento da ocorrência de espécies vegetais invasoras (ZANINI & DINIZ, 2006). Boa parte da vegetação do Cerrado está adaptada e depende da ocorrência do fogo, já que muitas plantas necessitam de seus efeitos para brotar, florescer e propagar, contribuindo de forma decisiva para a manutenção desse ciclo (FRANÇA, 2001a; FRANÇA, 2001b). Com efeito, a dinâmica de nutrientes para as plantas do Cerrado é altamente influenciada pelo fogo, pois as queimadas, com intervalos de três anos, são adequadas para promover a reciclagem dos nutrientes sem empobrecimento dos macronutrientes (WALTER, 2006).

Com o avanço tecnológico dos sensores orbitais, aliado às geotecnologias, tornou-se possível verificar como as ações humanas moldam o meio ambiente ao seu redor. Concomitantemente, foi possível embasar melhor a tomada de decisões públicas, as quais dependem do levantamento e análise de dados (cobertura vegetal, ocupação antrópica, entre outros) para auxílio na formulação de mitigações (FERREIRA et al., 2008).

O monitoramento sistemático da ocorrência do fogo é imprescindível para a prevenção e combate a incêndios, assim como traçar metas no planejamento do controle e gerenciamento eficiente nos anos seguintes. Uma das formas de administrar a ocorrência de fogo é por meio do sensoriamento remoto que nos permite obter informações sobre extensas áreas afetadas pelo fogo e/ou áreas de difícil acesso (PIROMAL et al., 2008; PEREIRA et al., 1997).

O sensor MODIS é um dos cinco instrumentos a bordo do satélite TERRA. É considerado o principal deles por possuir ampla cobertura espacial, espectral e temporal. Tais características são favoráveis na orientação de pesquisas de mudanças globais (BARKER et al.,1992).

Com a finalidade de monitorar apenas as áreas atingidas por fogo, o produto MCD45A1 derivado do sensor MODIS, apresentam boa acuidade em relação aos dados gerados pelo EFFIS (*The European Forest Fires Information Service*). Ambos cobrem uma área igual de 2.429 Km², representando 82,7% e 88,7% da área total discriminada como queimada pelo MCD45A1 (2.927 Km²) e EFFIS (2.722 Km²), respectivamente (BOSCHETTI et al. 2008).

Em outra análise para validação do produto MCD45A1, Roy & Boschetti (2009) compararam três produtos (MODIS *burned area*, L3JRC e *GlobCarbon*) de sensoriamento remoto para detecção de área queimada na região Sul do continente africano. Os resultados obtidos indicaram que o MCD45A1 apresentou maior acurácia no mapeamento de cicatrizes de fogo e de fragmentos menores, devido à precisa calibração, geolocalização, correção atmosférica, mascaramento de nuvens e a resolução espacial de 500 m. Os outros dois produtos (L3JRC e *GlobCarbon*) apresentam resolução espacial de 1 km, e erro de comissão menor que o erro de omissão (ROY & BOSCHETTI, 2009).

No presente estudo, buscou-se avaliar a acurácia dos diferentes níveis do produto MCD45A1 derivado do sensor MODIS para detecção de áreas atingidas por fogo na região do MATOPIBA no período entre 2005 e 2015. Adicionalmente, busca-se entender a dinâmica espaço-temporal da ocorrência dos incêndios, possibilitando a definição de estratégias de controle, prevenção e combate deste fenômeno na região de estudo.

2. PROBLEMA E QUESTÕES DE PESQUISA

A última década no Brasil foi marcada pela expansão da produção da agricultura de *commodities*, especialmente na região Amazônica e Cerrado brasileiro. A região do MATOPIBA foi marcada pelas maiores taxas de expansão das áreas agrícolas, notadamente os plantios de soja. Os incêndios florestais estão em sua maioria associados à presença humana e ao uso intensivo do solo para fins agrícolas. Entretanto, são raros os estudos mais detalhados sobre as áreas afetadas pelo fogo na região do MATOPIBA durante este período de maior expansão agrícola na região. Diante desta problemática, buscou-se nesta pesquisa responder as seguintes questões: O produto MODIS-MCD45A1 apresenta boa acurácia na detecção de áreas atingida por fogo? Qual foi a área e a frequência da ocorrência dos incêndios na região do MATOPIBA? Onde estavam localizados?

3. OBJETIVO GERAL

O objetivo desta pesquisa é entender a dinâmica espacial e temporal da ocorrência dos incêndios florestais nos últimos anos na região do MATOPIBA, utilizando dados de sensoriamento remoto, buscando oferecer informações técnicas para o seu monitoramento e controle.

3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a acurácia dos níveis de dados do produto MODIS MCD45A1 e seu potencial na detecção e monitoramento dos incêndios florestais na área de estudo.
- Detectar as áreas afetadas por fogo na região MATOPIBA entre 2005 e 2015, utilizando o produto MODIS MCD45A1.
- Analisar a dinâmica espaço-temporal da ocorrência dos incêndios na região de estudo.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Sensor MODIS

O MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) é o principal instrumento presente nos satélites *Terra* e *Aqua* lançados em 1999 e 2002, respectivamente. Ambos integram o sistema de observação da Terra da NASA (EOS). Desde fevereiro de 2000, o MODIS vem gerando uma série de produtos da superfície terrestre para atender as demandas da agência de Ciência da Terra da NASA (JUSTICE et al., 1998).

A órbita do satélite da Terra é sincronizada com a órbita do satélite *Aqua* para que passe de norte a sul na linha do equador na parte da manhã, enquanto que o *Aqua* passe de sul para norte no período da tarde. O Terra MODIS e o *Aqua* MODIS percorrem a superfície terrestre entre 1 a 2 dias, gerando alta resolução temporal (MODIS Website, 2016). Além da resolução temporal, este sensor possui uma série de características melhoradas em relação a outros sensores como, por exemplo, melhor resolução espectral e radiométrica (JUSTICE et al., 2002). O Sensor MODIS também apresenta melhor resolução espacial nas bandas espectrais da região do visível e infravermelho próximo e médio (comparados à satélites geoestacionários).

O sensor MODIS nada mais é que um espectroradiômetro imageador de resolução espacial variada, entre 250m e 1000m, composto por um *scanner* óptico de varredura transversal e um conjunto de elementos detectores capazes de fornecer imagens da superfície terrestre em 36 bandas espectrais distribuídas entre o visível e o infravermelho termal (JUSTICE et al, 2002). Este sensor foi projetado para atender as demandas de três campos de estudos: atmosfera, oceano e continente, com resolução espectral e espacial adaptadas para o conhecimento de diferentes necessidades observacionais, além de oferecer uma cobertura global diária (Justice et al, 2002). Os produtos derivados do sensor MODIS para análises na superfície terrestre estão apresentados na **Tabela 1**.

Tabela 1. Produtos gerados pelo MODIS para superfície Terrestre.

ESDT	PRODUTOS
Produtos relacionados ao balanço energético	
MOD09	Reflectância da superfície
MOD11	Temperatura e emissividade da superfície da Terra
MOD43	BRDF/Albedo
MOD10	Cobertura da neve
MOD29	Extensão de Gelo no Mar
Produtos relacionados à vegetação	
MOD13	Índices de vegetação
MOD15	Índice de área foliar
MOD17	Fotossíntese líquida/produktividade primária
Produtos voltados à cobertura terrestre	
MOD12	Cobertura da Terra e mudanças
MOD14	Anomalias termais e fogo
MOD44	Cobertura vegetal/Conversão

FONTE: Adaptado de Justice (2002a).

4.2.1. Produto MCD45A1

O produto de área queimada derivado do sensor MODIS, MCD45A1, é mensal e possui nível 3 de processamento com resolução espacial de 500m. As qualidades de informação e quantidade de área queimada são disponibilizadas pixel por pixel. É produzido a partir dos dados de reflectância da superfície do sensor MODIS, abordo do satélite *Terra* e *Aqua*. O algoritmo utilizado analisa a dinâmica diária de reflectância da superfície para localizar mudanças rápidas e assim, consegue mapear a data aproximada da queima, além da extensão espacial (BOSCHETTI et al., 2013).

O produto MCD45A1 possui oito subprodutos. Porém, na intenção de mapear somente as áreas de queimadas, serão utilizados apenas 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 e 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; ROY et al, 2008).

Os oito subprodutos disponibilizados são detalhados a seguir (BOSCHETTI et al., 2013):

1. **Burn date** (2 bytes): Dias julianos aproximado da queima para oito dia antes de começar o mês e oito dias depois de terminar o mês. Os códigos indicam a situação do pixel.
 - 0 – Não queimado
 - 1 – 366 – dia juliano da queima
 - 900 – Neve ou aerossóis
 - 9998 – Corpos d'água (continentais)
 - 9999 – Corpos d'água (mares e oceanos)
 - 10000 – Dados insuficientes
2. **BA pixel QA** (1 byte): Nível de confiança da detecção da queimada. Varia de 1 a 5, onde 1 são os *pixels* de confiança máxima, 4 são os *pixels* de confiança mínima e 5 são os *pixels* classificados como áreas queimadas, mas ocorrem sobre agricultura (com base no produto MCD12).
3. **Number of Passes** (1 byte): Número de observações quando passa pelo teste de consistência temporal.
4. **Number Used** (1 byte): Número de observações usado pelo teste de consistência.
5. **Direction** (1 byte): Direção no tempo em que a queimada foi detectada (frente, atrás ou os dois).
6. **Surface Type** (1 byte): Informações sobre o tipo de cobertura e suas propriedades.
7. **Gap Range 1** (2 bytes): Indica o maior período em que ficou nublado, ou seja, dificultou a identificação das áreas queimadas.
8. **Gap Range 2** (2 bytes): Indica o segundo maior período em que ficou nublado, ou seja, dificultou a identificação das áreas queimadas.

Enquanto o *Burndate* fornece dados da detecção e delimitação das áreas queimadas, o *burn quality assesment* nos diz da qualidade das áreas geradas pelo *burndate*. Os níveis de confiança para o produto de estudo estão detalhados na **Tabela 2**.

Tabela 2- Níveis de confiança na detecção de áreas queimadas, onde 1 é o mais confiável e 4 menos confiável.

Classificação*	Descrição
1	<i>Pixels</i> mais confiável independente da direção temporal
2	<i>Pixels</i> onde a informação temporal anterior e posterior predizem a mesma mudança
3	<i>Pixels</i> selecionados na primeira fase da análise contextual
4	<i>Pixels</i> selecionados na segunda fase da análise contextual

4.3. Satélites da Série LANDSAT

A série de satélites LANDSAT (*Land Remote Sensing Satellite*) teve início na década de 60, como parte de um projeto da Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA). O primeiro satélite foi lançado em 1972, o ERTS-1, sendo posteriormente chamado de LANDSAT 1. A série teve sequência com os LANDSAT 2, 3, 4, 5, 7 e 8. O principal objetivo do sistema LANDSAT foi o mapeamento multiespectral em alta resolução da superfície da Terra.

Neste trabalho serão utilizadas imagens oriundas do sensor OLI multiespectral a bordo do satélite LANDSAT 8, lançado em fevereiro de 2013. Cada imagem tem uma área de abrangência de 185 x 185 km, com resolução espacial de 30 m, para as bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6, e 7. As imagens do satélite LANDSAT 8, sensor OLI (*Observer Land Imager*) serão utilizadas para avaliar a acurácia dos produtos MODIS.

5. METODOLOGIA

5.1 Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho de pesquisa envolve aproximadamente 73 milhões de hectares incluindo os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (**Figura 1**) e 31 microrregiões (EMBRAPA, 2015). Mais conhecida pelo acrônimo MATOPIBA, a região se caracteriza pela expansão da fronteira agrícola baseada em tecnologias modernas e alta produtividade (EMBRAPA, 2015).

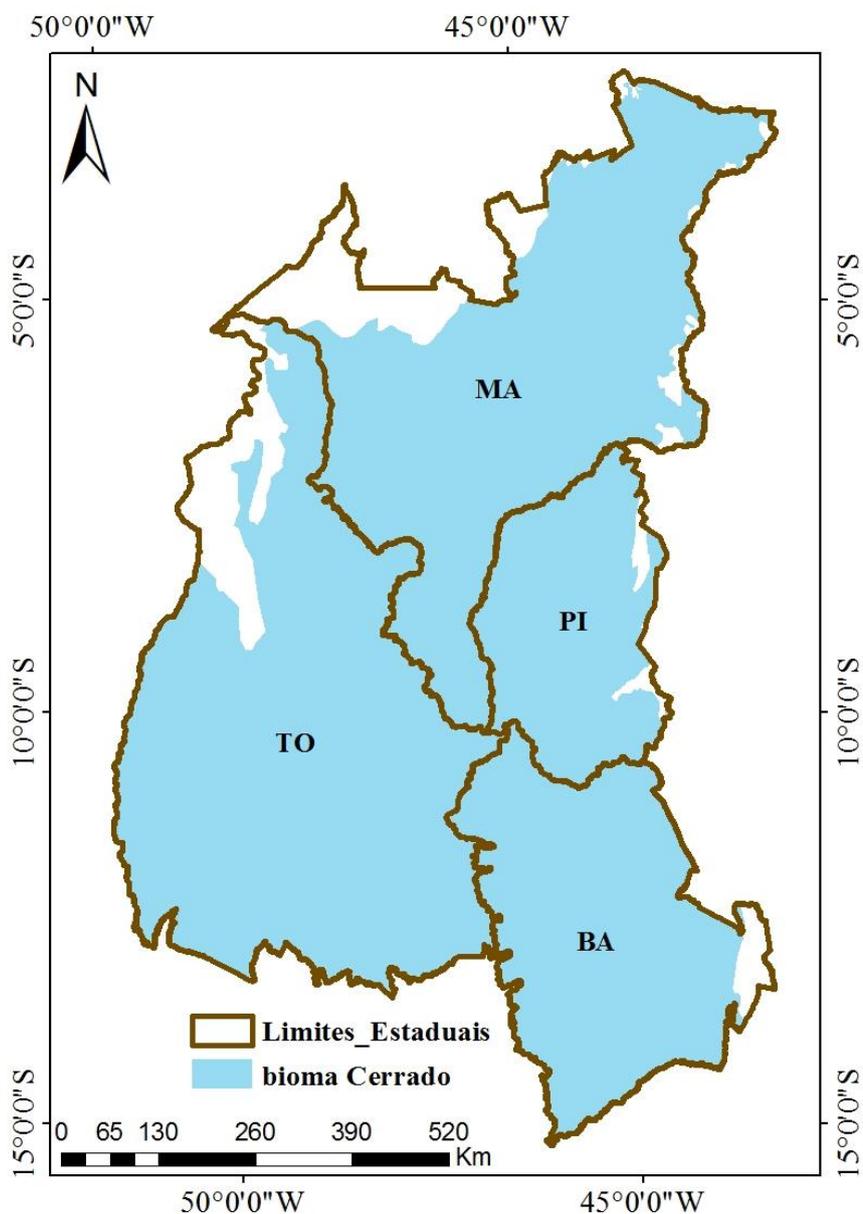


Figura 1. Limite do MATOPIBA (Adaptado da Embrapa, 2015)

A maior parte do limite proposto para a região do MATOPIBA é composto pelo Bioma Cerrado (Figura 1). A oeste do Tocantins e Maranhão tem resquícios do bioma amazônico e a leste áreas do bioma Caatinga.

5.2 Etapas do Trabalho

Uma das principais utilizações das técnicas de sensoriamento remoto é aplicação em mapeamento da cobertura do solo de áreas extensas. Esses mapeamentos visam representar da forma mais precisa a cobertura real encontrada em campo. Apesar das técnicas mais robustas serem utilizadas ainda sim encontramos limitações. Dentre elas, podemos destacar: a presença de nuvens, erro posicional, erro de retificação, erro de posicionamento, erro temático, resolução espacial dos sensores e erros provenientes da classificação digital das imagens, tornando fundamental a determinação da acurácia dos mapas temáticos gerados a partir do processamento de imagens de sensoriamento remoto (MELLO et. al., 2009).

Para a execução desse trabalho foram utilizadas três etapas, sendo essas, a aquisição das imagens e determinação das áreas queimadas; a segunda etapa consistiu na validação dos dados determinados como área queimada pelo produto MCD45A1, com imagens LANDSAT OLI. E, por fim, a terceira etapa fundamentou-se na quantificação das áreas queimadas ano a ano e na análise de recorrência de queimadas.

5.2.1 Determinação das áreas queimadas

A Obtenção do produto MODIS MCD45A1 foi feita no sítio da internet do Serviço de Pesquisas Geológicas Americano (USGS) dos Estados Unidos (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). O produto de área queimada (MCD45A1) é mensal de nível 3, disponibilizado por cenas. Para cobrir a área de estudo foram necessárias duas cenas MODIS, H13V09 e H13V10, para cada ano do período de estudo. O produto possui oito subprodutos, mas para a análise foram utilizados apenas dois deles, o subproduto área queimada (*burndate*) e o de índice de confiabilidade do pixel definido como queimada (*ba_qa*).

No *software* ArcGIS 10.1® separou-se os *pixels* relativos ao índice de confiabilidade para definir qual o melhor para região de estudo. A partir de cada índice, sendo 1 mais confiável e 4 menos confiável, fez-se uma avaliação tomando como base cena 220/68 do satélite LANDSAT OLI, obtida em 16/10/2015. Neste trabalho, foi escolhido o mês de outubro como base para o mapeamento, uma vez que, de maneira geral, é o mês em se têm o maior número de focos de calor na região.

5.2.2 Validação dos dados

A avaliação começou a partir da distribuição de 150 pontos imagem LANDSAT (Figura 2). Os pontos foram alocados de forma aleatória dentro de polígonos que continham as áreas queimadas para que a chance de os pontos caírem em área de queima fosse maior (Figura 3). A partir disso, os pontos foram avaliados visualmente se coincidiam ou não com a classificação realizada pelo produto MCD45A1.

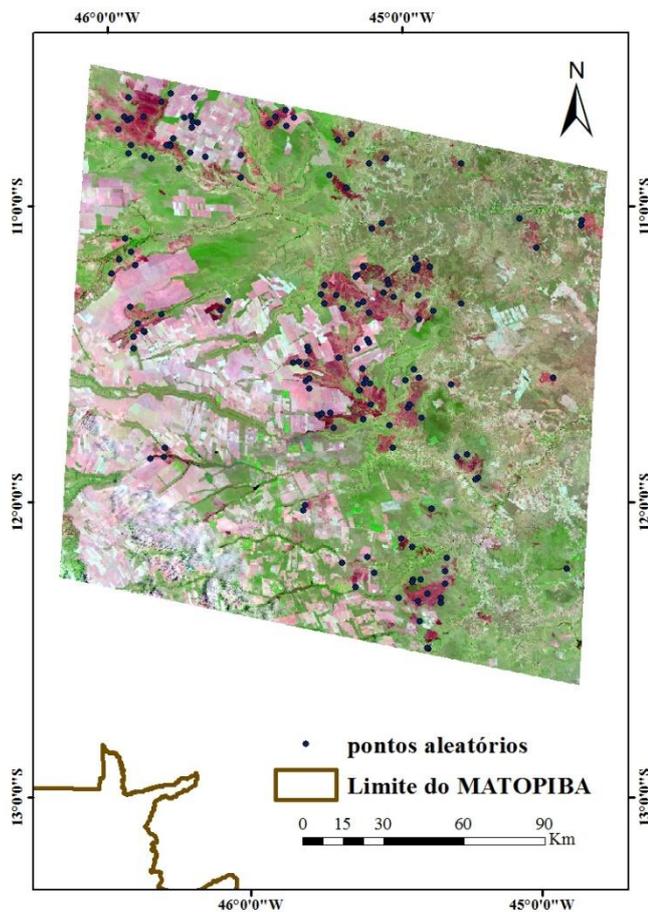


Figura 2. Pontos aleatorizados com restrição em imagem LANDSAT cena 220/68 RGB(6/5/4).

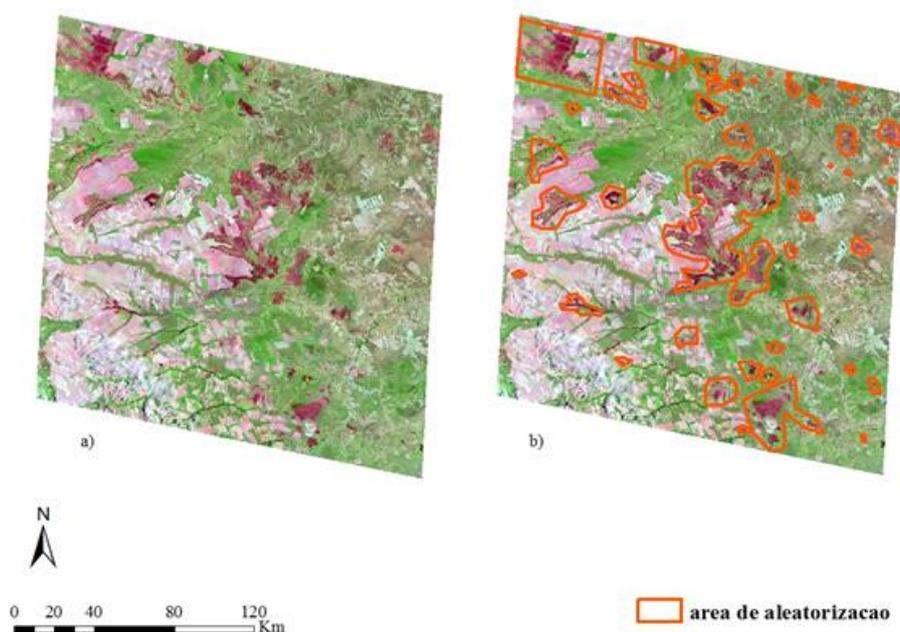


Figura 3. a) Cena LANDSAT 220/68 em composição de bandas RGB 6/5/4 utilizada para validação do produto, com áreas atingidas por fogo (cor mais escura) em 2015; b) destaque aos polígonos delimitados no produto MCD45A1 de áreas atingidas por fogo utilizadas para distribuir aleatoriamente 150 pontos para avaliação da acurácia do referido produto.

Uma imagem LANDSAT-8 sensor OLI (*Operational Land Imager*) foi utilizada como verdade terrestre por apresentar melhor resolução espacial do que o produto MCD45A1 derivado do sensor MODIS. Ambos, o produto MCD45A1 e a imagem Landsat-8 OLI, foram adquiridos em 2015. Em síntese, a comparação entre o produto MODIS e a imagem Landsat foi feita utilizando uma matriz de confusão e as medidas dela derivados incluíram a exatidão Global e o índice *Kappa*.

A matriz de confusão é composta por um arranjo quadrado de números dispostos em linhas e colunas que expressam o número de unidades de amostras de uma categoria particular relativa – inferida por um classificador (ou regra de decisão), comparado com a categoria atual verificada no campo. Comumente, abaixo das colunas retrata-se o conjunto de dados de referência que é comparado com os dados do produto da classificação que são apresentados ao longo das linhas. Os elementos da diagonal principal indicam o nível de acerto, ou concordância, entre os dois conjuntos de dados (CONGALTON, 1991).

O método padrão para avaliação da precisão temática atualmente tem sido índices derivados da matriz de confusão. A matriz de confusão fornece a base para descrever a precisão da classificação e caracterizar os erros, ajudando a refinar a classificação. De uma matriz de confusão podem ser derivadas várias medidas de precisão da classificação, sendo a exatidão global uma das mais conhecidas (FOODY, 2002).

No presente estudo, a partir da matriz de confusão, foi calculada a exatidão global pela divisão das somas das entradas que formam a diagonal principal da matriz. Neste caso, a exatidão global avalia a acurácia do classificador indicando como a precisão é distribuída através das classes individuais (CONGALTON & GREEN, 2009).

Outra medida descritiva e bastante utilizada na avaliação dos resultados de classificação é o índice *Kappa* (K), coeficiente de concordância para escalas nominais mede a proporção de concordância, depois que a concordância atribuída à casualidade é retirada de consideração (Cohen, 1960). Este coeficiente varia de 0 (concordância nula) a 1 (concordância perfeita) (MENESES & SANO, 2012; FOODY, 2002), dado pela seguinte equação:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^c x_{ii} - \sum_{i=1}^c x_{i+}x_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^c x_{i+}x_{+i}} \quad (2.1) \quad (\text{eq.1})$$

Onde, x_{ii} é o valor na linha i e coluna i ; x_{i+} é a soma da linha i e x_{+i} é a soma da coluna i da matriz de confusão; n é o número total de amostras e c o número total de classe.

A análise de *Kappa* é uma técnica multivariada discreta usada na avaliação da precisão temática e utiliza todos os elementos da matriz de confusão no seu cálculo. O coeficiente *Kappa* (K) é uma medida da concordância real (indicado pelos elementos diagonais da matriz de confusão) menos a concordância por chance (indicado pelo produto total da linha e coluna, que não inclui entradas não reconhecidas), ou seja, é uma medida do quanto à classificação está de acordo com os dados de referência (FIGUEIREDO & VIEIRA, 2007).

Embora o coeficiente *Kappa* seja muito utilizado na avaliação da exatidão de mapeamento, não existe uma fundamentação teórica para recomendar quais os níveis mínimos aceitáveis deste coeficiente numa classificação. Entretanto, a **Tabela 3** apresenta níveis de desempenho da classificação para o valor de *Kappa* obtido, normalmente aceitos pela comunidade científica.

Tabela 3. Índice Kappa e o correspondente desempenho da classificação.

Índice Kappa	Desempenho
<0	Péssimo
$0 < k \leq 0,2$	Ruim
$0,2 < k \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < k \leq 0,6$	Bom
$0,6 < k \leq 0,8$	Muito Bom
$0,8 < k \leq 1,0$	Excelente

Fonte: Fonseca (2000).

O coeficiente *Kappa* considera ainda todos os elementos da matriz de erros, diferentemente dos que consideram apenas aqueles que se situam na diagonal principal da mesma, estimando assim a soma da coluna e linha marginais (COHEN, 1960).

Os cálculos foram feitos nos quatro níveis de acurácia do MCD45A1, e a partir dos melhores valores encontrados a partir da matriz de confusão foi escolhido a melhor.

5.2.3 Quantificação anual das queimadas e áreas de recorrência

Após o mapeamento e validação dos dados, utilizou-se os dados de melhor acurácia para quantificar anualmente as áreas queimadas ainda no *software* ArcGIS 10.1®. A quantificação das queimadas foi feita na tabela de atributos das matrizes das áreas afetadas por fogo, multiplicando o número de pixel ditos como área queimada por 500m² e dividido por 1 hectare.

A recorrência anual das queimadas durante o período analisado foi obtida através da interseção, ano a ano, dos pixels classificados como queimada pelo produto MODIS MCD45A1. Para isso, primeiramente, produziu-se uma sequência binária para cada ano, ou seja, zero (0) quando não queimada e um (1) quando queimada. Posteriormente, foi realizada uma álgebra de mapas, através da ferramenta *Raster Calculator*, do software ArcGIS 10, isto é, foi realizada uma soma da interseção pixel a pixel de todos os anos.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Avaliação da acurácia do produto MODIS MCD42A1

Os resultados das matrizes de confusão, acurácia de usuário e produtor, para os níveis 1, 2 e 3 são apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6, respectivamente.

Tabela 4. Matriz de confusão, acurácia do produtor e acurácia do usuário estimada a partir de comparação entre áreas queimadas detectadas no produto MODIS- MCD45A1 nível 4 e na cena LANDSAT-8 (OLI).

		PRODUTO		Total	AP (%)
		MCD45A1			
Verdade	0	0	1	91	98
	1	39	20		
TOTAL		128	22	150	
AU (%)		70	91		

Tabela 5. Matriz de confusão, acurácia do produtor e acurácia do usuário estimada a partir de comparação entre áreas queimadas detectadas no produto MODIS- MCD45A1 nível 2 e na cena LANDSAT-8 (OLI).

		PRODUTO		Total	AP (%)
		MCD45A1			
Verdade	0	0	1	91	98
	1	39	20		
TOTAL		128	22	150	
AU (%)		70	91		

Tabela 6. Matriz de confusão, acurácia do produtor e acurácia do usuário estimada a partir de comparação entre áreas queimadas detectadas no produto MODIS- MCD45A1 nível 3 e na cena LANDSAT-8 (OLI).

		PRODUTO		Total	AP (%)
		MCD45A1			
Verdade	0	0	1	91	95
	1	29	30		
TOTAL		115	35	150	
AU (%)		75	86		

A partir dos resultados das Tabelas 4, 5, 6 e 7 foi escolhido o nível de menor superestimação dos resultados, sendo esse o nível 4. Os resultados da matriz de confusão e a estimativa da acurácia do nível 4 do produto MODIS-MCD45A1 são apresentados na **Tabela 7**.

Tabela 7. Matriz de confusão, acurácia do produtor e acurácia do usuário estimada a partir de comparação entre áreas queimadas detectadas no produto MODIS- MCD45A1 nível 4 e na cena LANDSAT-8 (OLI).

		PRODUTO MCD45A1			
Verdade		Não-queimado	Queimado	Total	AP (%)
	Não-queimado	84	7	91	92
Queimado	25	34	59	58	
TOTAL	109	41	150		
AU (%)	77	83		EG= 79%	

Em que: AU = Acurácia do usuário; AP = Acurácia do produtor; EG = Exatidão global; 0 = Não queimado; 1 = Queimado.

Com base na matriz de confusão (**Tabela 7**), estimou-se que o produto MODIS-MCD45A1 alcançou 79% de exatidão global. O mesmo produto alcançou ainda uma exatidão de 92% para detecção de áreas não queimadas, considerado um resultado muito bom de exatidão do produto (CONGALTON e GREEN, 2009). Para a classe queimada o produto alcançou uma exatidão de 58%, que é considerada uma classificação boa. Estes valores de acurácia indicam que houve uma subestimação de 8% e 42% para áreas não queimadas e queimadas, respectivamente.

Para a acurácia do usuário, estimou-se que 77% de exatidão na detecção de áreas não queimadas e 83% das áreas queimadas. A acurácia do usuário indica a probabilidade que um pixel classificado no produto MODIS-MCD45A1 representa a categoria na imagem de referência, resultando então em uma superestimação da classe não-queimada e queimada de 23% e 17%, respectivamente.

Adicionalmente, estimou-se um índice *Kappa* de 0,53, que segundo Fonseca (2000) é considerado bom. De acordo com os dados de áreas queimadas detectadas pelo produto MODIS-MCD45A1 para a área e período de estudo, a maior área queimada foi observada em 2007, totalizando 2.655.550 hectares, seguido por 2015, com 1.757.250 hectares (**Figura 4**).

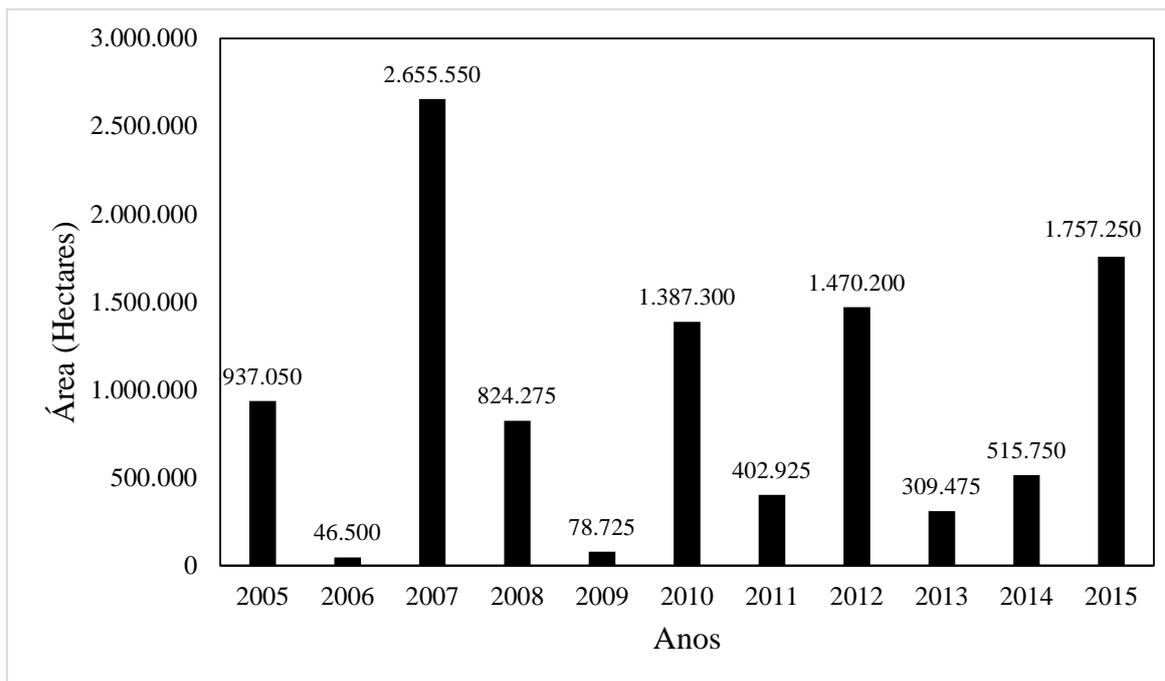


Figura 4. Área atingida por fogo na região do Matopiba entre 2005 e 2015.

Nos anos de maior quantidade de áreas queimadas (2005, 2007, 2008, 2010, 2012 e 2015), o fogo predominantemente atingiu a região central, centro-sul, centro-leste, centro-oeste, sudeste e sudoeste da área de estudo. Deste modo, o fogo ocorreu em sua maioria no leste da Bahia, oeste do Tocantins, e sul do Piauí. A distribuição espacial das áreas atingidas por fogo detectadas a cada ano no período e área de estudo estão apresentadas nos Apêndices 1 a 15. Estas também são as áreas de maior concentração e desenvolvimento da agricultura de commodities. Quando sobrepostas, as áreas atingidas por fogo anualmente indicam que 9,6% da região de estudo queimou pelo menos uma vez entre 2005 e 2015. As áreas atingidas uma vez por fogo entre 2005 e 2015 totalizaram mais de 6,9 milhões de hectares. Já as áreas atingidas mais de uma vez no período de estudo totalizaram mais de 1,5 milhões de hectares. Mais detalhes das áreas e frequência do fogo na região de estudo são apresentados na **Tabela 8**.

Tabela 8. Área de recorrência do fogo entre 2005 e 2015 na região do MATOPIBA.

Número de queimadas	Área	
	Hectares	%
Não queimou	64.629.100,0	88,32011
Queimou no mínimo 1 vez	6.994.750,0	9,558807
Queimou no mínimo 2 vezes	1.300.650,0	1,777428
Queimou no mínimo 3 vezes	220.275,0	0,301021
Queimou no mínimo 4 vezes	28.225,0	0,038571
Queimou no mínimo 5 vezes	2.625,0	0,003587
Queimou no mínimo 6 vezes	350,0	0,000478
Total	73.175.975,0	100

O Estados que tiveram o maior número de recorrências de fogo, totalizando 6 vezes em dez anos, foram o Maranhão e o Tocantins. As áreas atingidas pelo fogo no Maranhão totalizaram 1.147.775 de hectares e no Tocantins 2.687.750 de hectares. Apesar de não ter o maior número de recorrências do fogo, a Bahia foi o Estado com a maior área de queima, 2.855.625 hectares. Os valores para os demais Estados estão na **Tabela 9**.

Tabela 9. Área de recorrência do fogo entre 2005 e 2015, por Estado, na região do MATOPIBA.

NÚMERO DE QUEIMADAS	Área (ha) PI	Área (ha) BA	Área (ha) MA	Área (ha) TO	%
Não queimou	6348950	10359075	22835250	25086875	88,3201
Queimou 1 vez	1443375	2352775	1015100	2183600	9,55879
Queimou 2 vezes	346600	433925	117825	402325	1,77743
Queimou 3 vezes	58350	63725	12375	85825	0,30102
Queimou 4 vezes	7225	4875	1750	14375	0,03857
Queimou 5 vezes	300	325	425	1575	0,00359
Queimou 6 vezes			300	50	0,00048

As regiões com maiores casos de recorrência do fogo incluem o Oeste da Bahia, Sul do Piauí, Sul do Maranhão e Leste do Tocantins. A ocorrência do fogo nestas regiões está relacionada com o maior grau de antropismo e as atividades de produção agrícola e pecuária que utilizam o fogo como forma de manejo.

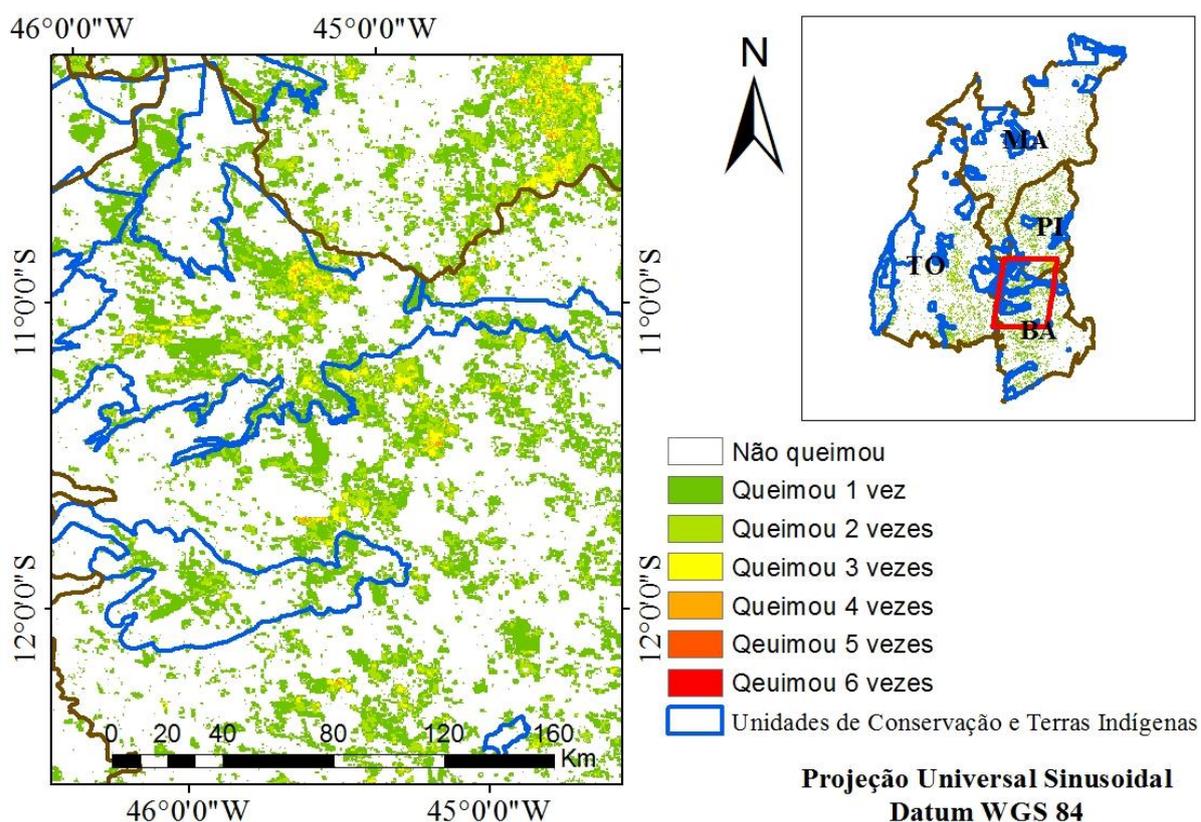


Figura 5. Recorrência do fogo na região do Matopiba entre 2005 e 2015.

A recorrência do fogo é muito importante para identificar as áreas críticas e definir estratégias de prevenção dos incêndios florestais na região de estudo. A recorrência do fogo depende da distribuição do material combustível, sua frequência de combustão, conteúdo de umidade e dos agentes promotores da ignição do fogo. Em áreas caracterizadas por precipitações sazonais, onde se verifica um acúmulo de matéria orgânica durante o período úmido, a recorrência de queimadas tende a aumentar quando o período seco é suficientemente longo (SCHÜLE, 1990), como é o caso do Cerrado. As áreas mais próximas de estradas e centros urbanos tendem a apresentar maior frequência da ocorrência do fogo.

No Brasil, as causas dos incêndios florestais nas Unidades de Conservação têm sido principalmente devido ao uso incorreto do fogo por pessoas, para renovação de pastagens e limpeza de restos de cultura nas propriedades vizinhas (MEDEIROS, 2002).

A ocorrência de incêndios florestais em Unidades de Conservação pode ser considerada uma grave ameaça para a conservação da biodiversidade e manutenção de processos ecológicos. Estes incêndios são particularmente graves para áreas pequenas, em

ecossistemas muito sensíveis ao fogo, áreas isoladas por cidades ou monoculturas agrícolas e áreas com espécies raras e/ou ameaçadas de extinção. Nestas áreas, há maior possibilidade de grandes incêndios comprometerem a manutenção de populações de algumas espécies. Deve-se considerar ainda que grande parte das Unidades de Conservação no Brasil apresenta uma ou mais destas características vulneráveis.

Nas últimas décadas, com a crescente ocupação e conversão do cerrado em áreas agrícolas, as Unidades de Conservação localizadas neste bioma têm sido constantemente impactadas pela ação frequente de incêndios florestais. Na **Tabela 10**, estão os dados da recorrência de fogo nas unidades de conservação e terras indígenas dentro do limite do Matopiba.

Tabela 10. Área de recorrência do fogo entre 2005 e 2015 na região do MATOPIBA nas de unidades de conservação ou terras indígenas.

NÚMERO DE QUEIMADAS	Área (ha) Total	Área (ha) BA	Área (ha) MA	Área (ha) PI	Área (ha) TO
Não queimou	10272200	1175750	3212100	1288600	5335825
Queimou 1 vez	970800	466300	75650	280600	330575
Queimou 2 vezes	144875	84200	13500	43200	31725
Queimou 3 vezes	21875	15950	1500	6700	3025
Queimou 4 vezes	2650	2000	150	1100	450
Queimou 5 vezes	200	100	100	25	
Queimou 6 vezes	25		25		

A área total de unidades de conservação e terras indígenas nos limites do Matopiba totalizam 11.412.625 hectares, dos quais 970.800 hectares queimaram pelo menos uma vez. No Tocantins, os incêndios nas unidades de conservação, teve o menor número de recorrências, 4, com um total de 365.775 de área atingida pelo fogo. A Bahia foi o Estado com a maior área de recorrência, 568.550 hectares entre os anos de 2005 a 2015.

7. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo indicam que o nível 4 do produto MODIS-MCD45A1 tem melhor acurácia para detecção de áreas atingidas por fogo na região do MATOPIBA. Em geral, este nível 4 do produto foi considerado um classificador muito bom para detectar áreas atingidas por fogo (cicatrizes de fogo) para a região de estudo inserida no bioma Cerrado. Devido a sua alta acuidade, o MCD45A1, mostrou-se como um produto de sensoriamento remoto apropriado para o monitoramento do fogo em grandes regiões a baixo custo e de fácil acesso, podendo ser utilizado como ferramenta para subsidiar a definição de políticas de comando e controle para o combate e prevenção de incêndios florestais na região de estudo.

A quantidade de áreas atingidas por fogo variou substancialmente ano a ano no entre 2005 e 2015. Tal variação indica que os fatores climáticos têm grande influência na ocorrência e propagação do fogo na região. Adicionalmente, a distribuição espacial das áreas atingidas por fogo na região de estudo foi predominantemente observada no Oeste da Bahia, Sul do Piauí, Sul do Maranhão e Leste do Tocantins. A maior ocorrência do fogo nestas áreas parece estar relacionada a distância das principais vias de acesso e áreas de maior quantidade de atividades antrópicas (centros urbanos, agricultura e pecuária) praticadas na região. Tais regiões deveriam, portanto, ser consideradas prioritárias para a implementação de ações de combate ao fogo e ao desmatamento, especialmente por apresentar alto potencial para expansão do uso intensivo da terra para produção de *commodities* agrícolas.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, F. M. DE. & FERREIRA, L. G. Jr. **Validação do produto MODIS MCD45A1 área queimada utilizando imagens LANDSAT TM para o bioma Cerrado.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 6410-6417. Disponível na biblioteca digital URLib: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1569.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2016.
- BOSCHETTI, L.; ROY, D.; HOFFMANN, A. A; HUMBER, M. **MODIS Collection 5.1 Burned Area Product - MCD45. User's Guide.** Version 3.0.1. 2013.
- 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**, v. 29, p. 2433-2436. 2008.
- BOSCHETTI, L.; ROY, D.; HOFFMANN, A. A. **MODIS Collection 5 Burned Area Product - MCD45 User's Guide.** Version 2.0. 2009.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. **Segunda edição. New York: Lewis Publishers, 2009, 183 p.**
- CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, n. 12, p. 1671-1678, 1991.
- EMBRAPA, **Caracterização Territorial Estratégica do Matopiba.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/ite/projetos/matopiba/150317_MATOPIBA_WEBSITE.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2016.
- FIEDLER, N.C.; MERLO, D.A.; MEDEIROS, M.B. Ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n.2, p.153-161, 2006.

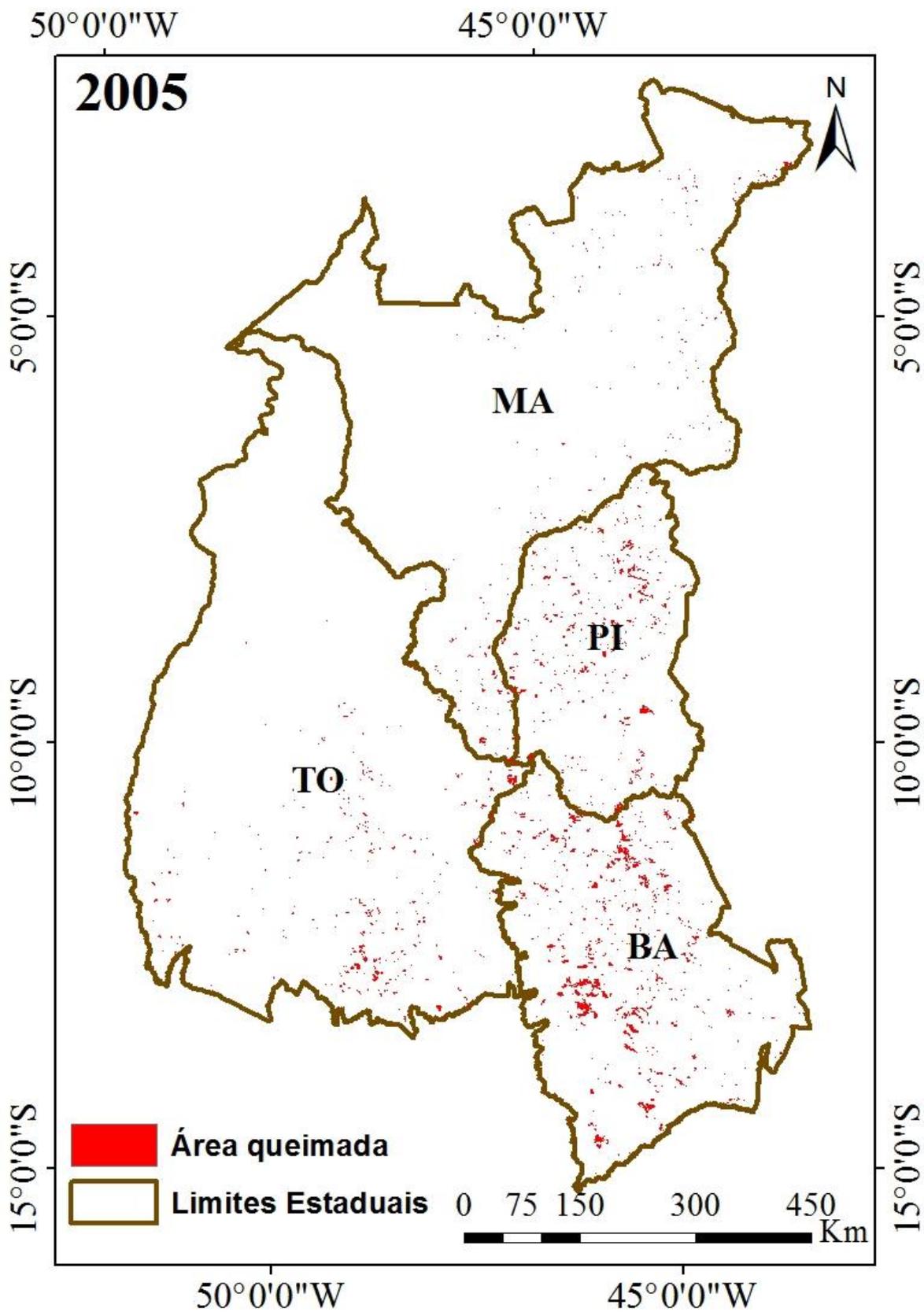
- FONSECA, L. M. G. **Processamento digital de imagens**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 105p. 2000.
- FOODY, G. Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sensing of Environment**, vol. 80, n. 1, p. 185-201, 2002.
- FRANÇA, H.; SETZER, A. AVHRR analysis of a savanna site through a fire season in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 13, p. 2449-2461, 2001a.
- FRANÇA, H. **Metodologia de identificação e quantificação de áreas queimadas no cerrado com imagens AVHRR/NOAA**. 2001. 75f. Tese (Doutorado), Instituto de Biociências, USP, São Paulo. 2001b.
- FERREIRA, L.G., FERREIRA, N.C., FERREIRA, M.E. Sensoriamento remoto da vegetação: Evolução e estado da arte. **Acta Scientiarum Biological Sciences**. V.30, n.4, p 379-390, 2008.
- FIGUEIREDO, G.C.; VIEIRA, C.A.O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. Anais...Viçosa: INPE, 2007. p. 5755-5762. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.13.17.35/doc/5755-5762.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2016.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Satélites e Sensores. São José dos Campos, SP. Disponível em: <http://www.inpe.br>. Acesso em: 10 ago. 2016.
- JUSTICE, C. O., VERMOTE, E., TOWNSHEND, J. R. G., DEFRIES, R., ROY, D. P., HALL, D. P., SALOMONSON, V. V., PRIVETTE, J. L., RIGGS, G., STRAHLER, A., LUCHT, W., MYNENI, R., KNYAZIKHIN, Y., RUNNING, S. W., NEMANI, R. R., WAN, Z., HUETE, A., VAN LEEUWEN, W., WOLFE, R. E., GIGLIO, L., MULLER, J.-P., LEWIS, P., & BARNSLEY, M. J. The moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.36, p. 1228-1247. 1998.

- JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J.R.G.; VERMOTE, E.F., MASUOKA, E., WOLFE, R.E., SALEOUS, N., ROY, D.P., MORISETTE, J.T. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n.1-2, p 3 –15. 2002a.
- JUSTICE, C.O.; GIGLIO, B.; KORONTZI, S.; OWENS, J.; MORISETTE, J.T.; ROY, D.P.; DESCLOITRES, J.; ALLEAUME, S.; PETITCOLIN, F.; KAUFMAN, Y. The MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, 2002b.
- JUSTICE, C. O., & KORONTZI, S. A review of the status of satellite fire monitoring and the requirements for global environmental change research. **The Hague: SPB Academic Publishing**, 2001.
- MEDEIROS, M. B. Manejo de Fogo em Unidades de Conservação do Cerrado. **Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer**, v. 10, p. 75-88, 2002.
- MELLO, J. M., BRITO, A., CARVALHO, L. M. T., JUNIOR, F. W. A., SILVEIRA, E. M. O. Validação do Mapeamento da Flora Nativa e dos Reflorestamentos de Minas Gerais. In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 2009. INPE, 2009. p. 2831-2838.
- MENESES, P. R. & SANO, E. E. Classificação pixel a pixel de imagens. In: MENESES, P. R. & ALMEIDA, T. de (Orgs.). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 1 ed. Brasília: UnB/CNPq, v.1, 2012.
- NASA, MODIS. Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/>>. Acesso em 15 de mar. 2016.
- PIROMAL,R. A. S.; RIVERA-LOMBARDI, R. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, R.; KRUG, T. Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 1, p. 77-84, 2008.
- RIVERA-LOMBARDI, R. Estudo da recorrência de queimadas e permanência de cicatrizes do fogo em áreas selecionadas do cerrado brasileiro, utilizando imagens TM/Landsat. 2003. Dissertação (Mestrado) - INPE, São José dos Campos. 159p. 2003.

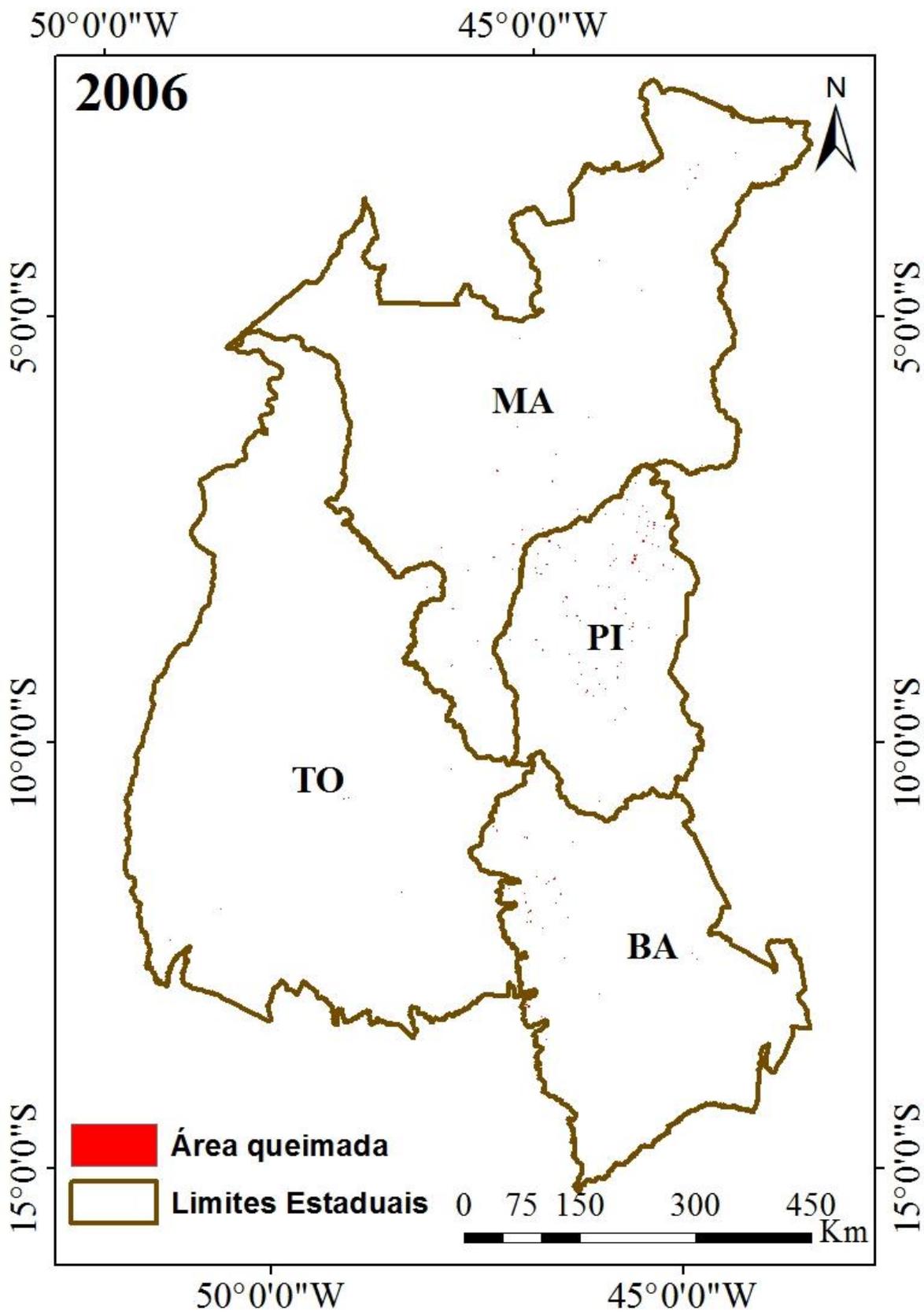
- ROY, D. P.; BOSCHETTI, L.; JUSTICE, C. O.; JU, J. The collection 5 MODIS burned area product – Global evaluation by comparison with the MODIS active fire product. **Remote Sensing of Environment**, vol. 112, p. 3690-3707, 2008.
- SCHÜLE, W. **Landscape and climate in prehistory: Interaction of wildlife, man, and fire.**
In: Goldammer, J.G., ed. Fire in the tropical biota. New York: Springer-Verlag. Cap. 13, p. 273-318. 1990.
- WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas. 2006. 386f. Tese (Doutorado em ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília. 2006.
- 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, n. 3. Espanha, 2006.

APÊNDICES

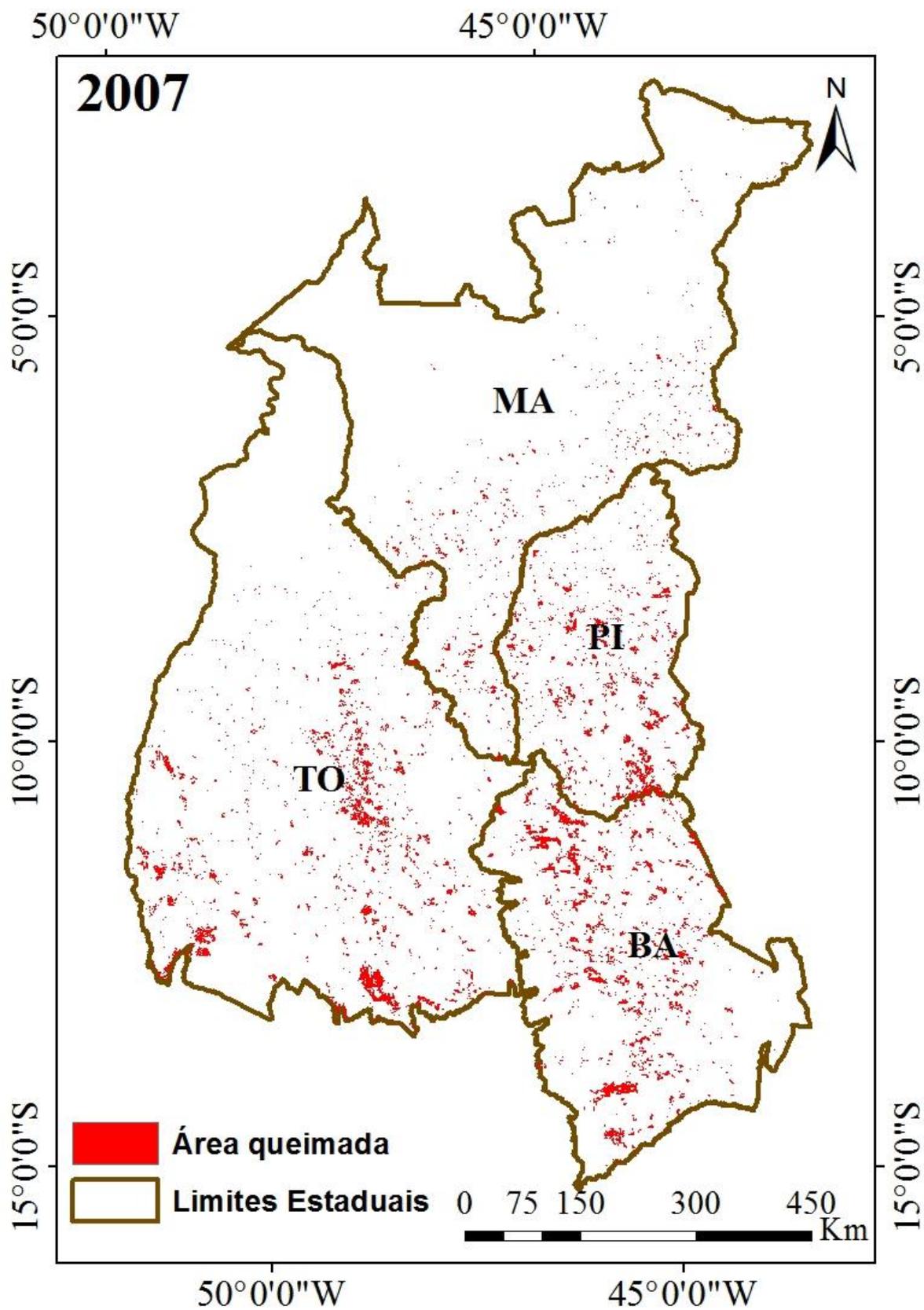
APENDICE 1. Áreas atingidas pelo fogo em 2005



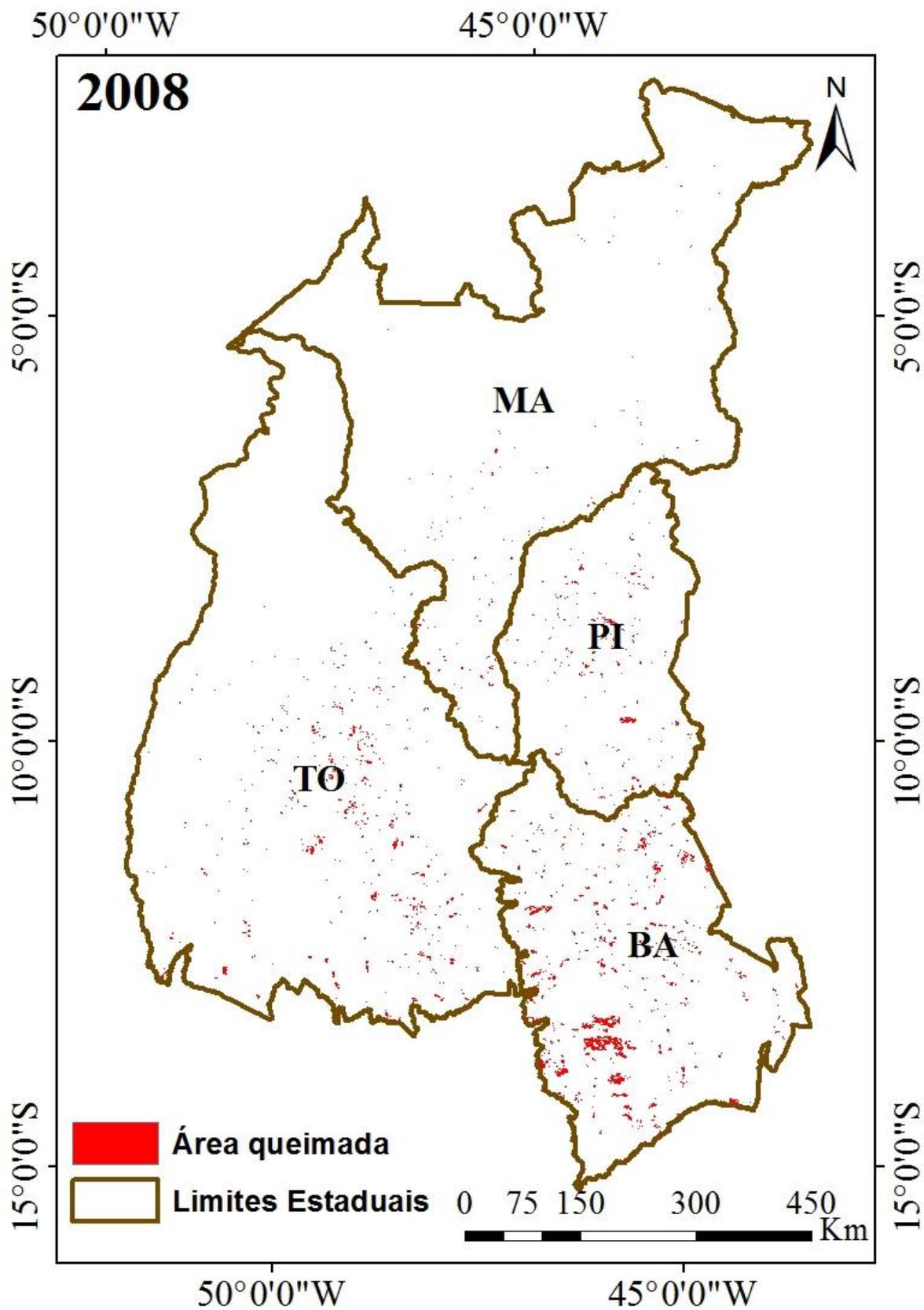
APENDICE 2. Áreas atingidas por fogo em 2006



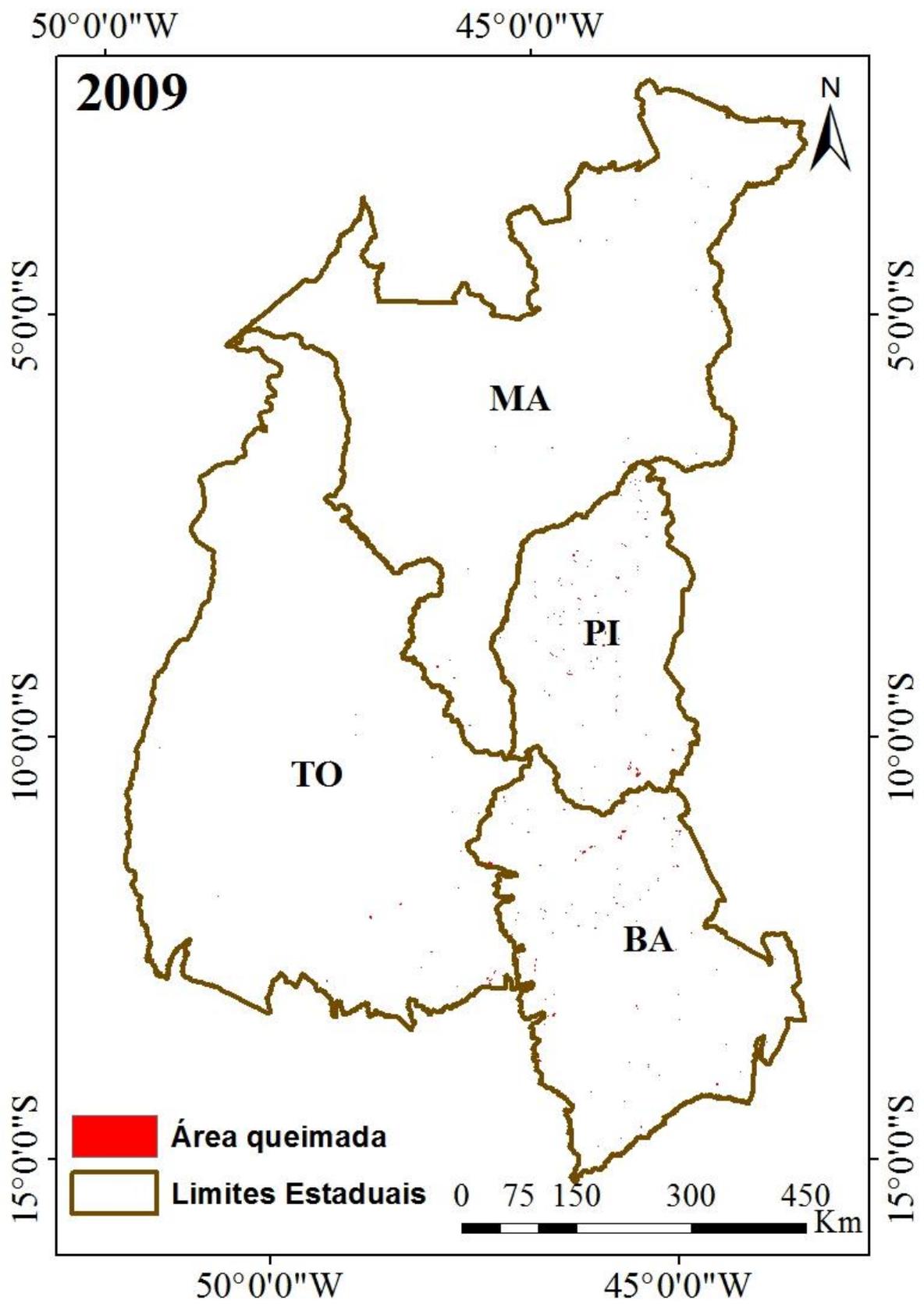
APENDICE 3. Áreas atingidas por fogo em 2007



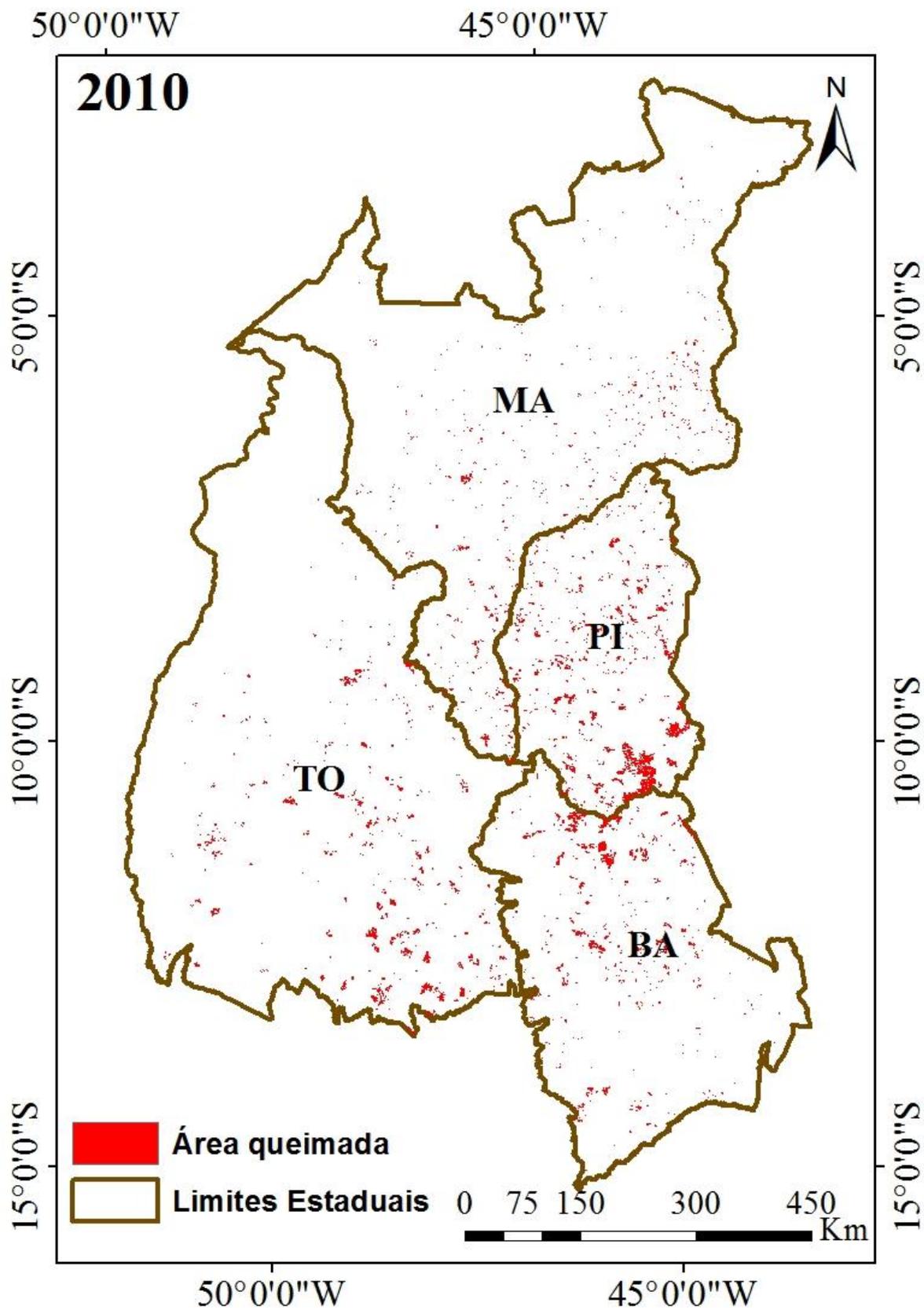
APENDICE 4. Áreas atingidas por fogo em 2008



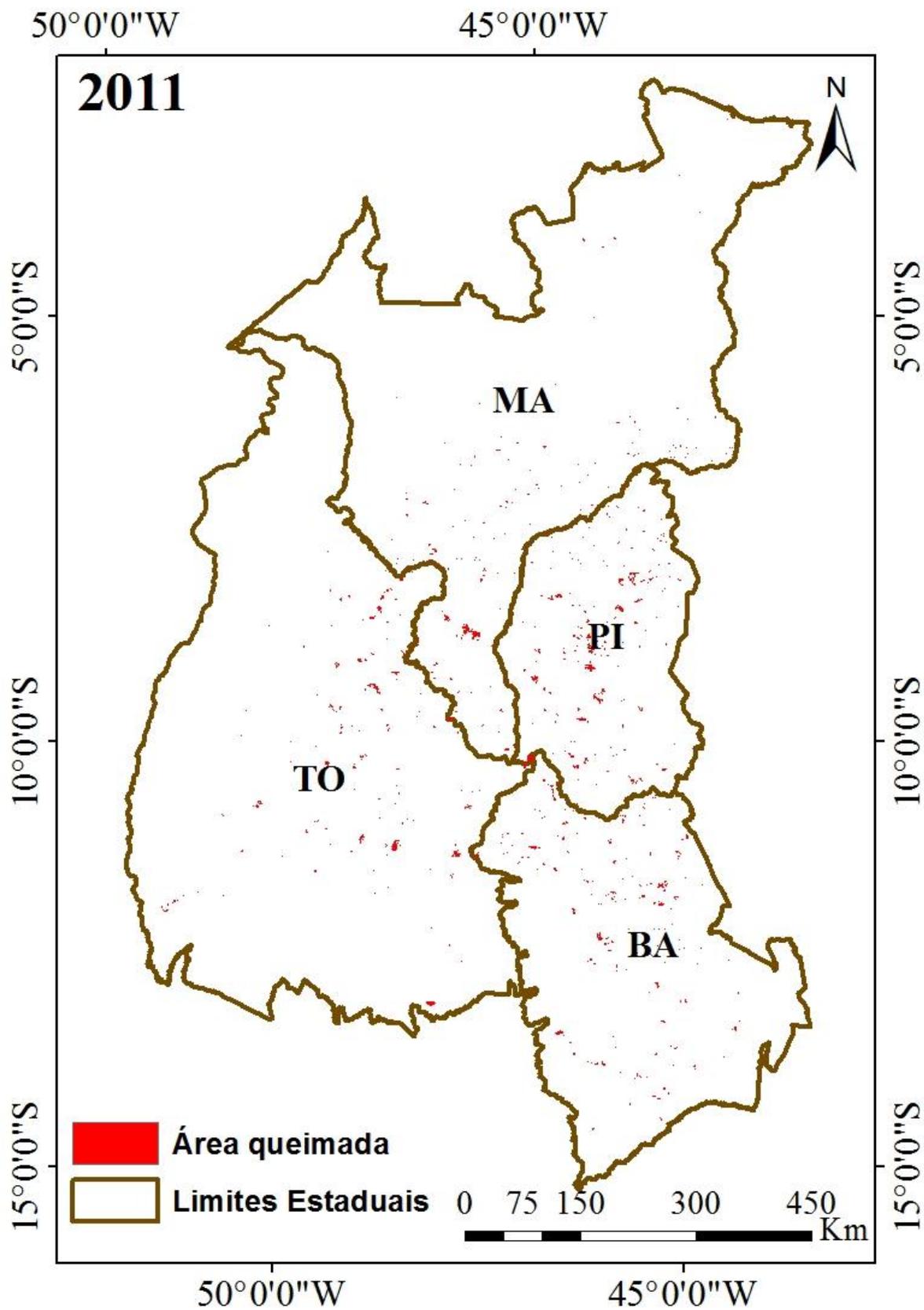
APENDICE 5. Áreas atingidas por fogo em 2009



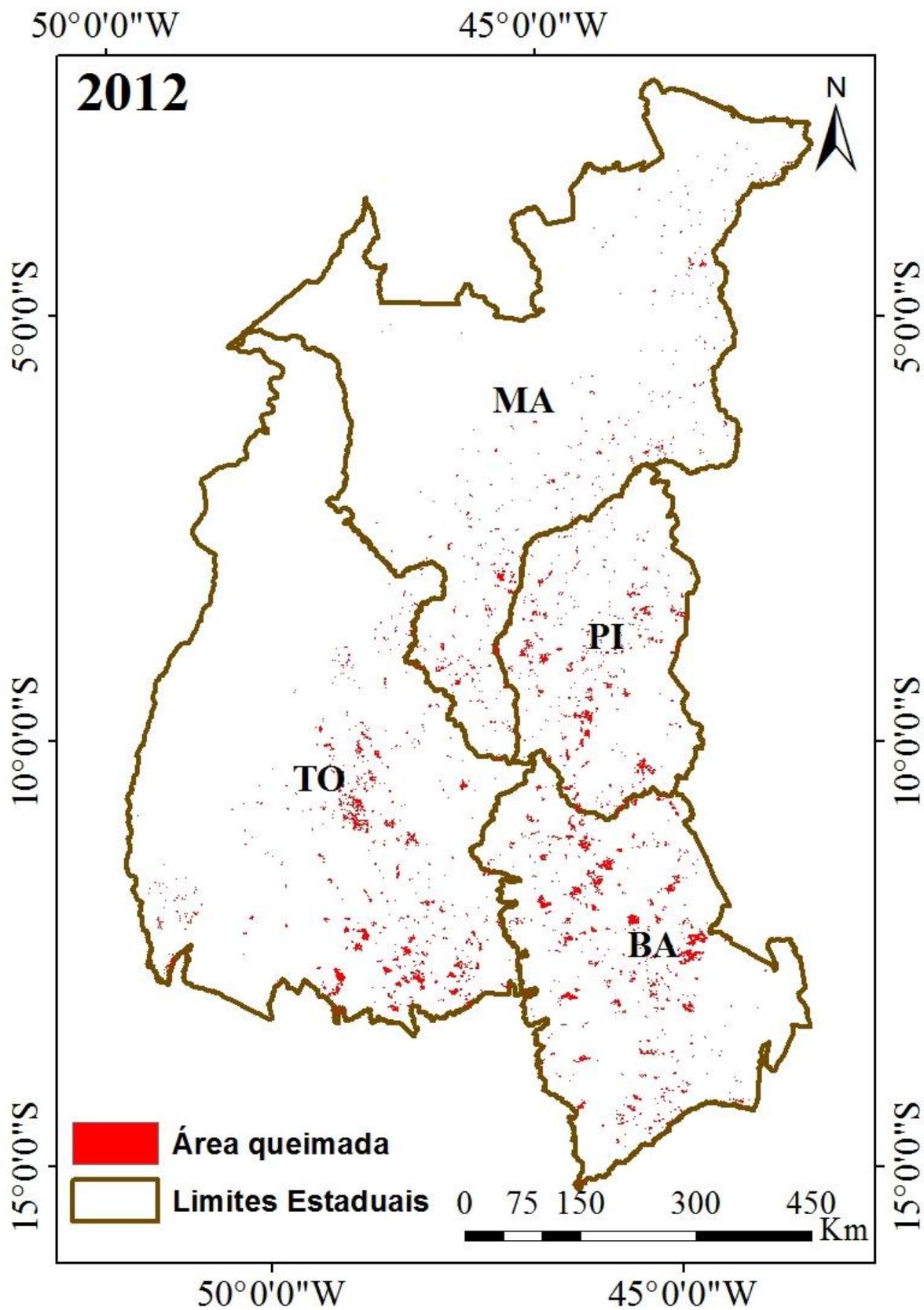
APENDICE 6. Áreas atingidas por fogo em 2010



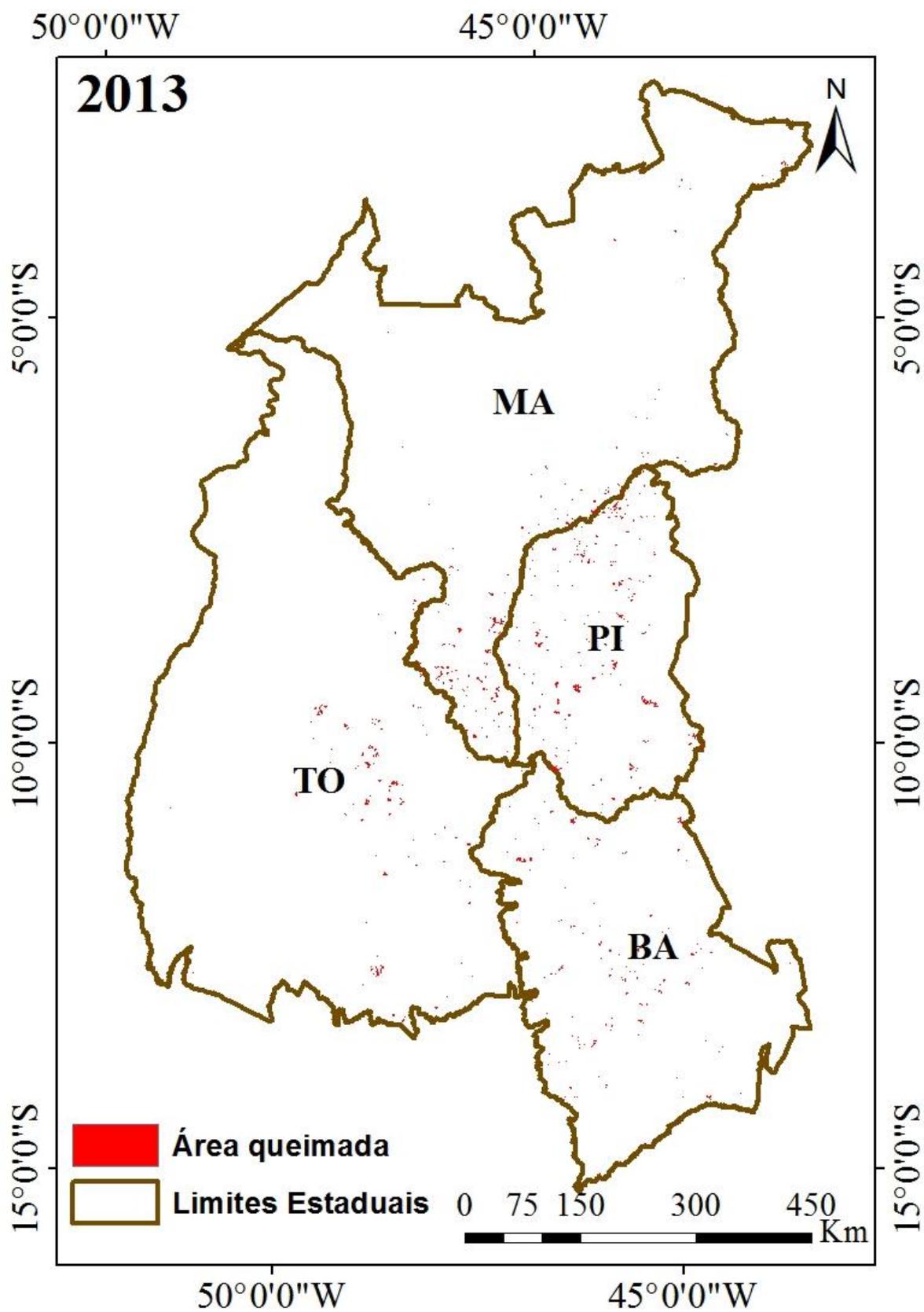
APENDICE 7. Áreas atingidas por fogo em 2011



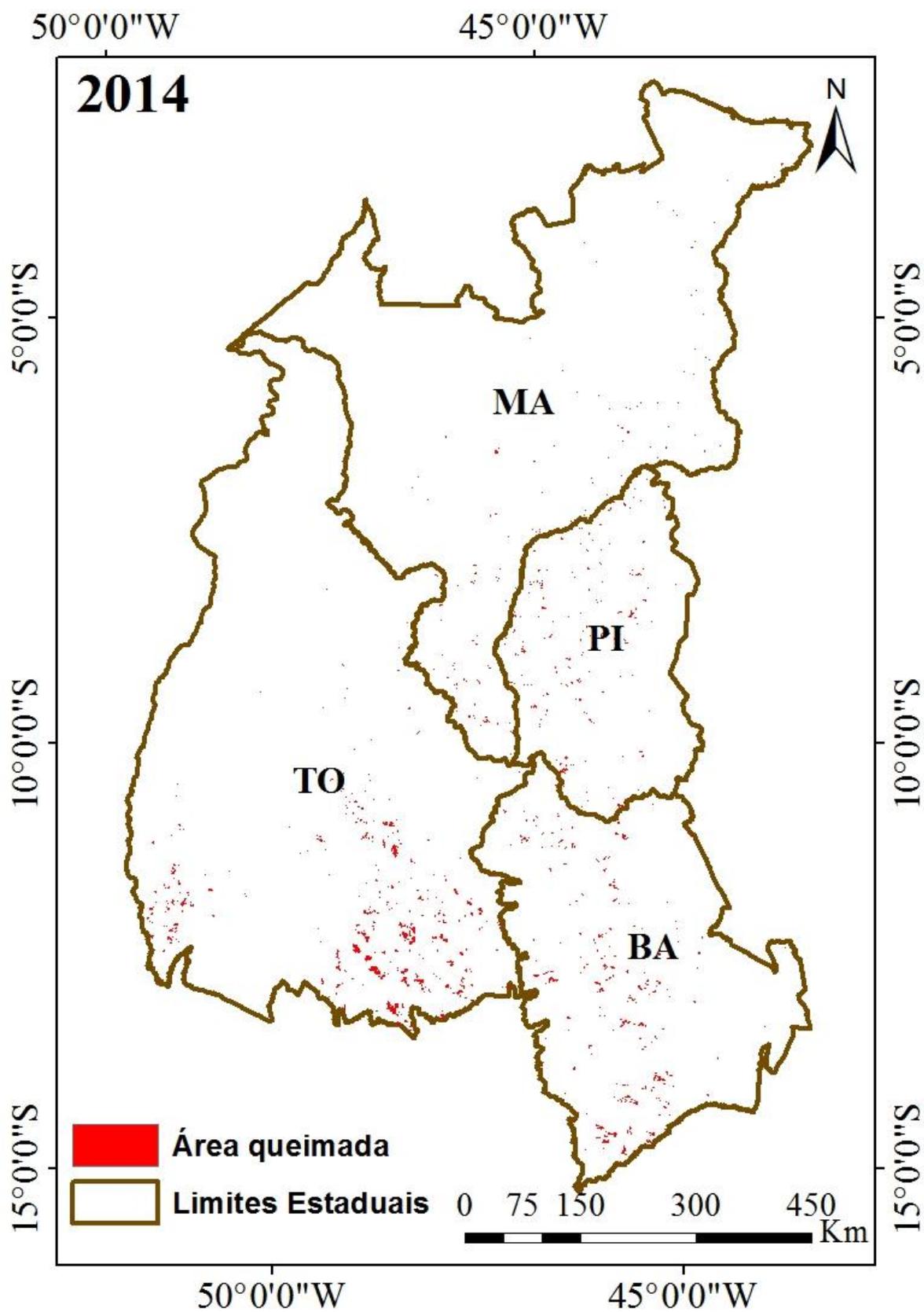
APENDICE 8. Áreas atingidas por fogo em 2012



APENDICE 9. Áreas atingidas por fogo em 2013



APENDICE 10. Áreas atingidas por fogo em 2014



APENDICE 11. Áreas atingidas por fogo em 2015

