

**USO DE GEOTECNOLOGIA PARA DETECÇÃO
E ANÁLISE DE QUEIMADAS E FOCOS DE
CALOR EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO
NO NORTE DE MINAS GERAIS**

ALLAN ARANTES PEREIRA

2009

ALLAN ARANTES PEREIRA

**USO DE GEOTECNOLOGIA PARA DETECÇÃO E ANÁLISE DE
QUEIMADAS E FOCOS DE CALOR EM UNIDADES DE
CONSERVAÇÃO NO NORTE DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. José Aldo Alves Pereira

Coorientador

Prof. Luis Marcelo Tavares de Carvalho

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Pereira, Allan Arantes.

Uso de geotecnologia para detecção e análise de queimadas e focos de calor em unidades de conservação no norte de Minas Gerais / Allan Arantes Pereira. – Lavras : UFLA, 2009.
91 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.
Orientador: José Aldo Alves Pereira.
Bibliografia.

1. Incêndios florestais. 2. Monitoramento. 3. Geotecnologias. 4. Unidades de conservação. 5. Focos de calor. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 526.982
634.9618

ALLAN ARANTES PEREIRA

**USO DE GEOTECNOLOGIA PARA DETECÇÃO E ANÁLISE DE
QUEIMADAS E FOCOS DE CALOR EM UNIDADES DE
CONSERVAÇÃO NO NORTE DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 3 de julho de 2009

Prof. Luis Marcelo Tavares de Carvalho	UFLA
Alberto Waingort Setzer	INPE
Fabiano Morelli	INPE
Prof. José Marcio de Mello	UFLA

Prof. José Aldo Alves Pereira
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

“A vida só pode ser compreendida olhando-se para trás; mas só pode ser vivida,
olhando-se para frente.”

Soren Kierkegaard

Dedico este trabalho aos meus grandes heróis, Adair Pereira e Roberto Pereira.

Ao meu irmão e companheiro, Daniel Arantes Pereira, que acompanha minha jornada desde meus primeiros passos.

Às mulheres da minha vida, Vera Maria Arantes Pereira, Núbia Arantes Pereira e Grasiene Cristina da Silva.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por iluminar meus caminhos. Ao professor Dr. José Aldo, pela orientação, amizade e por colocar este trabalho nos trilhos. Ao pesquisador Dr. Fabiano Morelli, pela grande contribuição na realização deste trabalho, pela paciência de ler e reler várias vezes, pelos imensuráveis “palpites” e pela amizade. Ao pesquisador Dr. Alberto Setzer, pela grande contribuição científica a este trabalho. Aos professores do Laboratório de Manejo Florestal, Fausto Acerbi, José Luis, José Marcio Mello (membro da banca), Luis Marcelo (Passarinho) e Scolforo. Agradeço também ao grande mestre das ciências florestais, professor Sylvio Péllico, pelos ensinamentos e amizade.

Ao Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais e à Universidade Federal de Lavras, por viabilizarem a realização deste trabalho.

Aos amigos da “Mata do Sylvio”, mestre Sr. Antônio Damas, Antônio Marcos e família, Alvarino, Mancebo e Dr. Marcio Coraiola.

Aos amigos cassienses Everaldo Borges, Luis Otávio (Totá), Luiz Gustavo (Zecão), Dimas Arantes e Josiane Arantes.

Companheiros de repúblicas da UFLA, Daniel Arantes, Zecão, Frederico Diniz (Tintino), Gervásio Magno, Matheus Ambrósio, José Ricardo (Zezé) e Núbia Arantes.

Aos amigos da Engenharia Florestal da UFLA, Eduarda (Duda), Maíra Dzedze, Crec, Leo Mano, Carlos Augusto, Leandro Grande, Pinguim, Luciano Bodim, D’Brito, República Masmorra e amigos participantes do Inventário Florestal de Minas Gerais.

Aos grandes amigos e companheiros de IEF, Átila Dultra Sanglard e Anderson Rocha Campos, pelas inesquecíveis viagens no estado de Minas Gerais, pelo apoio na dissertação e constante aprendizado.

A Laudicena Curvelo Pereira e Cláudia Melo Martins, pela credibilidade e confiança, as quais viabilizaram a realização desta dissertação em conjunto com o trabalho do IEF.

Aos funcionários do IEF, setor Previncêndio, Maria Angélica, Marli Lacerda, Simone, Jarbas (Curinga), Aparecida, Esterzinha, Mariana, Rogério Martins e Mateus. Aos Funcionários da Base de Combate a incêndios Florestais de Curvelo e Januária, Ana Paula, Aldrovando, Felipe, Talita e brigadistas.

Aos amigos “esparramados” pelo estado de Minas Gerais, Dimas Vital, Fabio Paixão (Jaíba), Geraldo “Ser Humano”, Daniel (IEF-Januária), Diego (IEF – ex-Januária), Solange Papagaio (IEF - Baependi), Gabriel Biribiri (IEF - Diamantina), Alexandre (IEF - Monte Azul), Ricardo Barbacena (IEF – Itamarandiba), Jorge (IEF - Serro), Valter (IEF – Januária), Caetano (Januária), Maria Isabel e Gabriel (IEF - Arinos).

Aos amigos do corpo de bombeiros do estado de Minas Gerais e amigos do PQE Rola Moça, em especial Virgínia Gusmão (IEF – Rola Moça), que me acolheu por algum tempo.

Companheiros de república da grande BH, Mayara Pereira, Danilo Pereira, Duda e Guto.

Agradeço a minha esposa, Zi, pelo incentivo, paciência e grande apoio na realização deste trabalho e também por abdicar de alguns feriados para me acompanhar nessa jornada.

A todos os familiares que acreditaram em mim, em especial Tio Flavio Pereira, fonte de inspiração em meus estudos.

Por fim, peço desculpas se me esqueci de alguém, mas agradeço a todos que contribuíram, diretamente e indiretamente, para a minha formação pessoal e profissional.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO GERAL	i
GENERAL ABSTRACT	iii
CAPÍTULO 1.....	1
1 Introdução geral	1
2 Referencial teórico.....	5
2.1 O fogo no Bioma Cerrado.....	5
2.2 Uso do fogo em áreas rurais: permissões e definições legais	6
2.3 Monitoramento das queimadas: detecção de fogo ativo e cartografia de áreas queimadas	8
2.3.1 Detecção de fogo ativo	8
2.3.2 Satélites utilizados na detecção de focos de calor.....	9
2.3.3 Cartografia de áreas queimadas	11
2.3.4 Características do satélite LandSat utilizado neste trabalho para mapear de áreas queimadas	13
2.4 Análise da distribuição espacial.....	14
2.5 Função K de Ripley	16
2.6 Validação dos focos de calor	19
3 Referências bibliográficas.....	21
CAPITULO 2: Análise exploratória e distribuição espacial de queimadas em unidades de conservação no norte de Minas Gerais	29
1 Resumo	29
2 Abstract.....	30
3 Introdução	31
4 Materiais	33
4.1 Área de estudo	33
4.2 Base de dados	41
4.2.1 Imagens LandSat.....	41
4.2.2 Imagens Geocover	43
4.2.3 Dados cartográficos	43
4.2.3.1 Limites das unidades de conservação	43
4.2.3.2 Mapa da fisionomia vegetal da área de estudo:	44
5 Metodologia.....	45
5.1 Procedimentos para cartografia das queimadas	45
5.1.1 Pré-processamento das imagens	45
5.1.2 Cálculo do índice de vegetação e imagem diferença:	45
5.1.3 Segmentação semiautomática e vetorização	47
5.2 Quantificação das queimadas por unidade de conservação	48

5.3 Caracterização das queimadas por classes de tamanho	48
5.4 Caracterização da vegetação atingida pelas queimadas.....	49
5.5 Análise da distribuição espacial das queimadas	49
6 Resultados e discussões	52
6.1 Cartografia e quantificação das áreas queimadas	52
6.2 Distribuição das frequências de queimadas por classes de tamanho:	55
6.3 Caracterização e quantificação da área queimada por fisionomia vegetal....	57
6.4 Distribuição espacial das queimadas.	59
7 Conclusões.....	62
8 Referências bibliográficas.....	64
CAPITULO 3: Validação do sistema de monitoramento orbital de queimadas através de imagens TM.....	67
1 Resumo	67
2 Abstract.....	68
3 Introdução	69
4 Materiais	71
4.1 Área de estudo	71
4.2 Base de dados	73
4.2.1 Focos de calor.....	73
4.2.2 Imagens LandSat.....	74
4.2.3 Dados cartográficos	75
5 Metodologia.....	76
5.1 Processamento das Imagens.....	76
5.2 Cálculo do índice de vegetação e da imagem diferença	76
5.3 Segmentação semiautomática e vetorização	77
5.4 Caracterização das queimadas por classes de tamanho	78
5.5 Validação dos focos de calor	78
5.6 Grau de incerteza da localização dos focos de calor.....	80
6 Resultados e discussões	82
6.1 Mapeamento das áreas queimadas e frequência por classes de tamanho.....	82
6.2 Validação dos focos de calor	82
6.3 Grau de incerteza da localização dos focos de calor.....	85
7 Conclusões.....	88
8 Referências bibliográficas.....	90

RESUMO GERAL

PEREIRA, Allan Arantes. **Uso de geotecnologia para detecção e análise de queimadas e focos de calor em unidades de conservação no norte de Minas Gerais**. 2009. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.*

A pesquisa realizada está relacionada ao uso de geotecnologias para análise exploratória de queimadas e validação do sistema de monitoramento dos focos de calor em unidades de conservação do norte de Minas Gerais. Sendo assim, com a realização deste estudo, espera-se contribuir para entender como ocorrem as queimadas, como estão distribuídas no espaço e as limitações técnicas do sistema de monitoramento orbital. Para isso, pretendeu-se responder às seguintes questões: (1) Quais as unidades de conservação mais críticas em relação às queimadas? (2) Qual a fisionomia vegetal mais atingida? (3) Existe um padrão na distribuição espacial das queimadas? (4) Qual a frequência delas nas diferentes classes de tamanho? (5) Quais as limitações técnicas do sistema de monitoramento orbital quanto à detecção e à localização dos focos de calor? Diante dessas indagações, estruturou-se este trabalho em três capítulos. No capítulo 1, faz-se um breve referencial teórico que serve como base para o entendimento de conceitos abordados nos capítulos subsequentes. No capítulo 2, foram exploradas as quatro primeiras questões supracitadas e, por fim, no capítulo 3, são abordadas as limitações do sistema de monitoramento orbital das queimadas. Os resultados obtidos nos capítulos 2 e 3 mostram o potencial das ferramentas de geotecnologias nas análises propostas por esta dissertação. Por meio dessas ferramentas, foi possível mapear e quantificar as queimadas, o que possibilitou averiguar as questões abordadas no trabalho. Nas análises propostas no capítulo 2, verificou-se que é nas unidades de conservação pertencentes à categoria Áreas de Proteção Ambiental que mais ocorrem queimadas, devido às características de grande extensão territorial e por permitirem atividades agrícolas. Nestas áreas sugere-se a adoção de uma política de extensão rural orientando o produtor rural sobre alternativas de uso do solo e o uso adequado do fogo sob forma de queima controlada, quando a legislação ambiental permitir. Verificou-se também que a vegetação nativa mais atingida foi o Cerrado Stricto Sensu, fisionomia mais abundante na área. No entanto, deve-se atentar também para as Veredas, fisionomia de baixa resiliência ao fogo e de grande relevância ecológica. Com relação ao tamanho das queimadas, verificou-se que a maioria delas tem tamanho entre 10,01 a 100 ha. As maiores queimadas, apesar de menos frequentes, quando somadas, representam uma

* Comitê Orientador: José Aldo Alves Pereira – UFLA (Orientador), Luis Marcelo Tavares de Carvalho – UFLA (Coorientador) – UFLA.

maior área atingida, o que evidencia a necessidade de mantê-las nas classes de menores tamanhos. Ainda no capítulo 2, foram detectados padrões agregados na distribuição espacial das queimadas, o que sugere uma investigação mais sucinta sobre possíveis interações socioambientais que favoreçam esses agrupamentos. Já no capítulo 3, no âmbito da validação do sistema de monitoramento dos focos de calor, como era de se esperar, quanto menor a queimada, menores as chances de ser detectada. No entanto, foram detectadas queimadas menores que 100 ha, dimensão que representa um pixel das imagens dos sensores MODIS e NOAA (no nadir). Foram averiguados também casos de omissões de grandes queimadas, sugerindo uma investigação para possíveis melhorias no sistema de detecção. Espera-se que os resultados gerados por essas análises sirvam de subsídios ao entendimento de como e onde ocorrem as queimadas e também para o avanço tecnológico do sistema de monitoramento orbital das mesmas.

Palavras-chave: incêndios florestais, monitoramento, geotecnologias, unidades de conservação, focos de calor.

GENERAL ABSTRACT

PEREIRA, Allan Arantes. **Use of geotechnology for detection and analysis of fires and heat focuses in conservation units in northern Minas Gerais.** 2009. 91 p. Dissertation (Master's degree in Forest Engineering) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.*

This research work is related to the use of geotechnologies for exploratory analysis of fires and validation of the heat focus monitoring system in conservation units of Northern Minas Gerais. Thus, this study aims to contribute towards the understanding of how fires occur, how they are distributed in space and the technical limitations of the orbital monitoring system. So, the following questions were intended to be answered: (1) what the most critical conservation units as regards fires? (2) What the most harmed plant physiognomy? (3) There is a standard in the space distribution of fires? (4) What is the frequency of those in the different size classes? (5) What the technical limitations of orbital monitoring system as to the detection and localization of heat focuses? Before those inquiries, this work was structured into three chapters. Chapter 1 brings a short theoretical referential which works as a basis for the understanding of concepts approached in the subsequent chapters. In chapter 2, the four first above cited questions were exploited and at last, chapter 3 approaches the limitations of the orbital monitoring systems of fires. The results obtained in chapters 2 and 3 show the potential of geotechnology tools in the analyses proposed by this dissertation. Through these tools, one could map and quantify the fires, which made it possible to ascertain the questions approached in this work. In the analyses proposed by chapter 2, it was found that the conservation units belonging to the category Environmental Protection Areas, these are the areas where fires occur the most due to the characteristics of large territorial extent and for allowing agricultural activities. In these areas, a policy of rural extension advising the farmer about alternatives of soil use and the adequate use of controlled fire, when the environmental legislation allows. It was also that the most harmed native vegetation was the Cerrado Stricto Sensu, the most abundant vegetation in the area. Nevertheless, one should take into account also the Veredas, physiognomy of poor resilience to fire and of great ecological relevance. Concerning the size of the fires, it was verified that most of the fires averages from 10.01 to 100 ha. The largest fires, in spite of less frequent, when

* Guidance Committee: José Aldo Alves Pereira – UFLA (Major Professor), Luis Marcelo Tavares de Carvalho – UFLA (Co-Advisor)

summed together, stand for an increased area reached by the fires, which stresses the need to maintain the fires in the classes of smallest sizes. Further in chapter 2, clustered standards were detected in spatial distribution of fires, which suggests a more brief investigation on the possible socioenvironmental interactions which support these groupings. But in chapter 3, in the range of the validation of the monitoring system of heat focus, as it was seen to come, the smaller the fire the smaller the chances to be detected, nevertheless, fires smaller than 100 ha were detected, a dimension which represents a pixel of the images of the MODIS and NOAA images sensors (at nadir). Cases of omissions of large fires were also ascertained, suggesting an investigation for possible improvements in the detection system. It is hoped that the results generated by those analyses lend themselves as supports to the understanding of how and where the fires occur and also for the technologic advancement of the orbital monitoring system of fires.

Key words: forest fires, monitoring, geotechnologies, conservation units, heat focuses.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os incêndios florestais recorrentes e abrangentes são considerados a principal ameaça às unidades de conservação, devido às consequências ambientais, desgastes dos combatentes e gastos excessivos nos combates.

Como consequências, podemos citar a poluição do ar, as emissões de gases de efeito estufa, como CO₂ e CH₄ (Crutzen & Andreae, 1990; Freitas et al., 2005), a redução da biodiversidade (GEO, 2002) e o empobrecimento e erosão do solo (Mueller-Dumbois & Goldammer, 1990).

Devido à importância do assunto, organizações conservacionistas e instituições governamentais de vários países têm se reunido para debater este tema (Soares & Santos, 2002; Batista, 2005), tanto no âmbito de combate a incêndios como na prevenção e em pesquisas (Ramos, 1995).

A gestão do controle das queimadas é atribuição do estado. Esta gestão deve ser fundamentada com informações e dados estatísticos que propiciem eficiência nas ações de prevenção e controle das queimadas.

Uma base de dados consistente sobre os desflorestamentos e tendências de mudanças na cobertura vegetal nativa permite que os gestores públicos responsáveis pela execução das políticas ambientais direcionem ações e políticas de preservação dos remanescentes florestais (Carvalho et al., 2008). Esta base de dados propicia a geração de informações e análises que auxiliam na compreensão da dinâmica do uso da terra.

As análises geradas a partir de dados históricos possibilitam inferir sobre as causas e as áreas mais críticas de queimadas? Como estão distribuídas no espaço geográfico? Como se dá a evolução ecológica de uma área após a queimada? Quais são as limitações do sistema de monitoramento? Estas

questões só poderão ser respondidas por meio de uma base de dados consistente sobre os registros das queimadas.

Portanto, este trabalho foi realizado com o objetivo de propor procedimentos de análises das queimadas e dos focos de calor em unidades de conservação de Minas Gerais, a partir de uma base de dados derivadas de geotecnologias.

Para alcançar o objetivo proposto, esta dissertação foi dividida em três capítulos, sendo o primeiro um breve referencial teórico e os outros dois, focados nas análises propostas por este trabalho. Estes capítulos estão descritos a seguir de forma sucinta:

Capítulo 1: Referencial teórico

Este capítulo tem o objetivo de introduzir a definição de termos utilizados nos capítulos subsequentes, além de trazer um breve referencial teórico.

O fogo no Bioma cerrado

Uso do fogo em áreas rurais: Permissões e definições legais

Monitoramento: detecção de fogos ativos e cartografia de áreas queimadas

Análise da distribuição espacial

Função K de Ripley

Validação dos focos de calor

Capítulo 2: Análise exploratória e distribuição espacial de queimadas em unidades de conservação no norte de Minas Gerais

O objetivo foi propor procedimentos de análise, no intuito de gerar subsídios ao entendimento de onde e como ocorrem as queimadas. A caracterização foi possível por meio da detecção bitemporal e do mapeamento

das cicatrizes deixadas pelas queimadas nas imagens LandSat, utilizando-se técnicas de sensoriamento remoto. Após esta etapa, os dados cartográficos foram inseridos em um programa de sistema de informações geográficas, possibilitando a caracterização das queimadas quanto à área atingida por unidades de conservação, área queimada por vegetação, classe de tamanho e distribuição espacial das queimadas. As informações geradas pelas análises propostas neste capítulo possibilitam que o órgão gestor direcione ações de prevenção, acompanhe a evolução ecológica do ambiente pós-fogo e subsidie ações de recuperação do dano ambiental ocorrido.

Capítulo 3: Validação do sistema de monitoramento orbital de queimadas por meio de imagens LandSat TM5

A preocupação com o monitoramento dos recursos naturais fomentou tecnologias que possibilitam detectar onde está ocorrendo o dano ambiental. No caso das queimadas, é possível monitorar os focos de calor em uma determinada área, por meio de informações provenientes do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>).

A crescente utilização de dados orbitais preconiza validar essas informações para dar credibilidade e também subsidiar o avanço tecnológico do monitoramento.

Neste capítulo, o objetivo foi validar os focos de calor quanto à eficiência na detecção, possíveis falsos alarmes e erros de localização. Para isso, foram mapeadas as queimadas do mês mais crítico de ocorrência no ano de 2008, o que permitiu averiguar quais foram detectadas e omitidas pelos focos de calor. O mapeamento possibilitou também analisar a distância dos focos de calor com relação às cicatrizes das queimadas.

Os resultados deste trabalho geram subsídios ao entendimento das prováveis causas de omissão e comissão, sugerindo uma análise mais específica

desses casos. As análises foram feitas também por classes de tamanho, com a finalidade de identificar possíveis casos de correlação. Já a análise dos erros de localização dos focos sugere quais desses produtos são mais precisos. Essas informações serão utilizadas nas bases de combate a incêndios florestais do estado de Minas Gerais.

Enfim, é necessário ressaltar que as geotecnologias são ferramentas imprescindíveis para qualquer pesquisador e planejador que age no espaço, permitindo a visualização da distribuição de fenômenos, o que facilita tomadas de decisões (Prudente & Rosa, 2009). Assim, espera-se que os resultados deste trabalho tragam uma real contribuição para o entendimento do perfil das queimadas nas unidades de conservação analisadas e para o avanço tecnológico do monitoramento orbital dos focos de calor.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O fogo no Bioma Cerrado

O fogo é uma reação química que envolve uma fonte de ignição (energia), material combustível e oxigênio. Em alguns ecossistemas florestais, esse fenômeno ocorre naturalmente, como no caso do bioma Cerrado, onde a vegetação aberta, a baixa umidade relativa do ar e as altas temperaturas propiciam a origem de queimadas naturais, principalmente por descarga elétrica (Coutinho, 1980, 1990).

Defini-se bioma como uma área do espaço geográfico, com dimensões territoriais de mais de um milhão de quilômetros quadrados e que tenha por características a uniformidade de um macroclima definido, de fitofisionomia, organismos vivos associados e outras condições ambientais, como, por exemplo, ocorrência do fogo. Todas essas características conferem estrutura, funcionalidades e ecologia peculiares (Coutinho, 2006).

Considerado o segundo maior bioma do Brasil, superado apenas pela floresta amazônica (Ribeiro & Walter, 1998), o Cerrado destaca-se pela biodiversidade do ambiente, da fauna e flora (Rezende, 1998), sob o ponto de vista farmacológico (Almeida et al., 1998) e devido à abundância em fontes de água límpidas.

Por milhares de anos, o fogo exerceu papel importante no estabelecimento de comunidades da fauna e da flora do bioma cerrado, por meio de adaptações às condições adversas deste fenômeno. Coutinho (1977) demonstrou a existência de tipo de adaptações pirofíticas (adaptações ao fogo), em espécies vegetais do cerrado. Outros estudos experimentais mostram a importância desse fenômeno no processo dinâmico do crescimento, morte e sucessão das comunidades vegetais, constituindo parte integrante desse ecossistema (Coutinho, 1990).

Características da paisagem, tais como formações rochosas (que servem de abrigos), grande variedade de frutos e riqueza em caça, favoreceram a ocupação e a fixação humana no cerrado, bem como no desenvolvimento dos aspectos culturais específicos e as interações com o meio ambiente (Barbosa & Schmitz, 1998).

Com a ocupação do cerrado pelo homem, o advento do fogo tornou-se mais frequente, sendo utilizado para abrir novas frentes agrícolas, para limpeza de área para plantios, para a formação de pastagens ou por incendiários (Soares, 1988).

No final da década de 1970, a principal atividade humana no cerrado era a pecuária, a qual dependia da pastagem nativa e também o garimpo em pequena escala. Naquela mesma época, dava-se início ao incentivo governamental para abertura de novas frentes agrícolas por meio de tecnologias que visavam o uso intensivo da área, fato que propiciou a conversão do cerrado em terras agricultáveis, muitas vezes utilizando o fogo (Almeida et al., 1998).

Desde então, o cerrado vem sofrendo constantes pressões antrópicas e, por isso, foi incluído na lista das “hotspots” (Silva & Bates, 2002), áreas prioritárias para direcionar recursos destinados à preservação. Apesar desse reconhecimento, o uso indiscriminado do fogo para manejo de pastagens, abertura de novas frentes agrícolas e preparo do solo para plantio ainda provoca perturbações em grande escala, o que afeta o equilíbrio desse bioma.

2.2 Uso do fogo em áreas rurais: permissões e definições legais

Devido às consequências ambientais dos incêndios florestais, este assunto é tratado pela legislação brasileira, sendo proibido, por Lei, a utilização do fogo em florestas e nas demais formas de vegetação. No entanto, o parágrafo único deste artigo permite o uso do fogo em propriedades rurais para fins agropastoris, desde que as peculiaridades da região justifiquem essa prática (Brasil, 1965).

Mediante a necessidade de regulamentar a prática de queima controlada e definir conceitos legais que abordem o assunto, em 1998, foi assinado o Decreto Federal 2.661/98, que define queimada controlada e incêndios florestais, da seguinte forma:

Queimada controlada: uso do fogo como ferramenta para eliminar restos de exploração florestal, restos de cultura e para a renovação de pastagens, de forma dirigida, circunscrita ou limitada a uma área previamente determinada, conforme técnicas pré-estabelecidas, com a finalidade de manter o fogo dentro dos aceiros (Brasil, 1998).

Incêndio florestal: Trata-se de “todo fogo sem controle que incide sobre qualquer forma de vegetação, podendo tanto ser provocado pelo homem (intencional ou negligência), ou por fonte natural (raio)” (Brasil, 1998).

A queima controlada em unidades de conservação federal somente é permitida quando for previsto no plano de manejo da unidade. Em Minas Gerais, o Decreto Estadual 39.792, de 1998, proíbe a queima controlada em unidades de conservação do território mineiro, independente da categoria a que pertença, seja de uso sustentável ou de proteção integral (Minas Gerais, 1998). No entanto, em 2004, uma portaria estadual do IEF obriga a vistoria prévia do técnico para autorização de queima controlada em áreas de proteção ambiental (APAs). Essa vistoria prévia se estende às zonas de amortecimento das unidades de conservação.

O território no qual se concentrou o presente trabalho contempla seis unidades de conservação estaduais, sendo duas APAs (áreas onde, segundo a Lei, é necessária a vistoria prévia antes da autorização), dois parques, um refúgio da vida silvestre e uma reserva extrativista de desenvolvimento sustentável. O uso do fogo nessas unidades é proibido e é obrigatória a vistoria prévia das áreas no entorno, antes de autorizar o uso do fogo quando for requerido e a legislação permitir.

2.3 Monitoramento das queimadas: detecção de fogo ativo e cartografia de áreas queimadas

A detecção e a quantificação de áreas queimadas a partir de dados orbitais são abordadas sob pontos de vista distintos. A primeira refere-se à detecção dos focos de calor associada a fogos ativos (Phulpin et al., 2002; Justice et al., 2006; Setzer et al., 2007). A segunda linha está relacionada à cartografia das queimadas e concentra-se na quantificação e na espacialização das áreas afetadas por esse fenômeno (Chuvieco & Congalton, 1988; Herdina-Laclaustra et al., 2003; Pereira et al., 2008, 2009).

2.3.1 Detecção de fogo ativo

O uso de técnicas de sensoriamento remoto para a detecção de queimadas iniciou-se nos Estados Unidos, com o programa Project Fire Scan, no início da década de 1960 (1961-1962), utilizando sensores aerotransportados. Durante oito anos de pesquisa, estudaram-se as características espectrais das queimadas, dos sensores e alvos, até o desenvolvimento, em 1962, de um sistema de imageamento aerotransportado biespectral (3 a 4 μm e 8,5 a 11 μm) para a detecção de queimadas (Hirsch, 1968).

No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desenvolve trabalhos de monitoramento desde a década de 1980 (Souza et al., 2004), sendo disponibilizado, na internet, um banco de dados com informações sobre focos de calor (<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>). Tais informações são utilizadas por diferentes usuários, como instituições governamentais, pesquisadores, mídia, etc. Entre os mais importantes estão os responsáveis pelo combate e o monitoramento, como o caso do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA) e o Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais (IEF).

Já no final da década de 1990, as informações de focos de calor disponibilizadas pelo INPE foram integradas ao monitoramento da Amazônia, auxiliando as operações de combate aos incêndios florestais por meio do Programa de Monitoramento e Combate a Incêndios Florestais da Amazônia, o PROARCO (Batista, 2004).

Na esfera estadual, podemos citar alguns exemplos de ações voltadas ao monitoramento dos focos de calor, como no estado do Paraná, onde Depp & Paula (2004) desenvolveram um programa de sistema de informações geográficas para a detecção e a montagem de estratégia de combate a incêndios.

Em Roraima, foi criada a sala de situação desde 1999, que funciona como centro de informações sobre focos de calor e condições meteorológicas e auxiliando nas operações de prevenção e combate aos incêndios florestais (Gouvea & Morais, 2004).

Em Minas Gerais, as informações de focos de calor, fornecidas pelo INPE, são monitoradas, dentro e no entorno das unidades de conservação, pela base de combate a incêndios florestais do IEF. As coordenadas dos focos de calor são repassadas aos responsáveis das unidades de conservação que verificam a se há ou não a ocorrência de incêndios florestais (Pereira et al., 2007).

2.3.2 Satélites utilizados na detecção de focos de calor

Os focos de calor fornecidos pelo site INPE (<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>) e utilizados para monitoramento das queimadas são gerados a partir de diferentes metodologias que utilizam imagens de sensores a bordo dos satélites polares da série NOAA, EOS (TERRA e AQUA) e os satélites geoestacionários GOES E METEOSAT. Estes são satélites com finalidades meteorológicas e possuem distintas características espaciais, temporais e espectrais e radiométricas.

Os satélites de órbitas polares se deslocam sentido norte-sul; já os satélites geoestacionários estão em órbita equatorial geoestacionária, mantendo uma posição constante com relação à Terra.

A diferença entre os tipos de órbitas além da direção do deslocamento é a distância entre o sensor e a Terra. Sensores de órbita equatorial geoestacionária têm seu ponto de observação mais distantes da Terra, enquanto satélites de órbita polar têm menor distância com a Terra (Liu, 2007).

Dentre esses sensores, um dos mais utilizados para monitorar focos de calor é o AVHRR/NOAA, pois, devido à sua resolução radiométrica de 10 bits, seu sensor termal pode estimar a temperatura superficial dos alvos terrestres com maior exatidão (França, 2004).

O sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer*, ou AVHRR, é o principal instrumento dos satélites polares *National Oceanic and Atmospheric Administration*, ou NOAA. Trata-se de uma série de satélites lançados, e cada um passa pelo mesmo local uma vez a cada doze horas (uma de dia e outra à noite). Eles possuem um radiômetro com cinco canais espectrais, incluindo visível, infravermelho próximo, infravermelho médio e dois infravermelhos termais. A resolução espacial desses sensores no nadir é de 1,1 km (Liu, 2007).

O sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*, ou MODIS, é considerado o principal instrumento a bordo dos satélites TERRA e AQUA. Foi projetado para fornecer uma série de observações globais da superfície terrestre, oceanos e atmosfera nas regiões do visível e do infravermelho. Possui alta sensibilidade radiométrica (12bits) em 36 bandas espectrais. A resolução espacial no canal termal é de 1 x 1 km no nadir (Soares & Batista, 2007). Os focos de calor AQUA, TERRA e MODIS são versões provenientes do mesmo sensor, porém, são processados por diferentes algoritmos.

Os satélites da série GOES são de órbita geoestacionária e cobrem todo o globo com a finalidade de fazer previsões meteorológicas. O satélite gira a cem

rotações por minuto e, em cada rotação, um radiômetro varre a superfície terrestre de oeste para leste, podendo gerar até 96 imagens diárias. Os principais sensores do satélite GOES são radiométricos nas faixas espectrais do visível e infravermelho (Liu, 2007). A resolução espacial do canal termal no nadir é de 4 x 4 km.

O satélite METEOSAT tem órbita geoestacionária e cobre apenas parte da América do Sul. É um satélite de origem europeia e tem o objetivo de coletar informações meteorológicas. Sua resolução espacial no nadir é de 3 x 3 km no canal termal.

As características espaciais, temporais e canal termal dos satélites utilizados no monitoramento das Unidades de Conservação em Minas Gerais são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 Características orbitais, espaciais*, temporais e canal termal dos satélites utilizados neste trabalho.

Satélites	Órbita	Resolução espacial* (km)	Frequência temporal	Canal termal
AQUA/TERRA	Polar	1 x 1	2x2/dia	20 (3,66-3,84um)
NOAAs	Polar	1,1 x 1,1	2x2/dia	3 (3,55-3,93um)
GOES	Geoestacionária	4 x 4	96x/dia	2 (3,8-4um)
METEOSAT	Geoestacionária	3 x 3	96x/dia	4 (3,48-4,36um)

*resolução espacial no canal termal

2.3.3 Cartografia de áreas queimadas

Após a ocorrência de uma queimada, é papel da ciência geográfica orientar a evolução espacial das consequências do mesmo. Isso implica em quantificar e mapear as áreas queimadas para analisar suas consequências e os efeitos ecológicos ao longo do tempo (Chuvieco et al., 1998).

O mapeamento das queimadas não distingue queima controlada de incêndio florestal. No entanto, por dedução, podemos inferir que grandes

queimadas com perímetro irregular são incêndios florestais. Porém, para este trabalho, adotou-se a nomenclatura de queimadas, conforme o uso popular, que abrange qualquer queima de vegetação, incluindo para fins agropastoris e os incêndios florestais.

A cartografia de áreas queimadas é fundamental para o aprimoramento e a manutenção das atividades preventivas, aumentando a eficiência técnica e econômica dos trabalhos de controle deste sinistro (Fonseca & Ribeiro, 2003). Um sistema de gestão de prevenção, controle e fiscalização de queimadas deve identificar, de forma rápida, precisa e economicamente acessível, os limites das áreas queimadas (Bastarrika & Chuvieco, 2006).

Além de auxiliar na fiscalização, a cartografia de áreas queimadas gera subsídios para análises espaciais e temporais das ocorrências. Constituem também importante base de dados nas estimativas dos impactos das mesmas sobre o meio ambiente e para estudos dos efeitos ecológicos, atmosféricos e de mudanças climáticas (Zhan et al., 2002).

Em diversas situações, é extremamente difícil delimitar áreas queimadas in loco, devido ao fato de as unidades de conservação, geralmente, envolverem áreas extensas de difícil acesso. Nesse contexto, o sensoriamento remoto é uma ferramenta muito útil para quantificação e delimitação dessas áreas, pois possibilita extrair informações por meio de imagens orbitais (Pereira, 1999).

Ferramentas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas têm sido amplamente utilizadas no setor florestal, seja para planejamento de atividades ou para elucidar questões ecológicas (Santos et al., 2006). No âmbito das áreas queimadas, essas ferramentas auxiliam em atividades ligadas a mapeamento, caracterização e monitoramento.

Heredia-Laclaustra et al. (2003) utilizaram técnicas para cartografia de áreas queimadas próximas a Madri, na Espanha, por meio do processamento de imagens TM LandSat multitemporais e compararam o resultado com a

delimitação de GPS realizada pelo Serviço Florestal da Comunidade de Madri, mostrando que os dados obtidos por meio das imagens são mais precisos. Os autores sugerem que mapear as queimadas possibilita estudar a evolução da cobertura do solo atingida e conhecer a dinâmica espacial posterior ao evento.

Bastarrika & Chuvieco (2006) aplicaram o algoritmo baseado em crescimento de regiões em imagens TM pós-incêndio para cartografar automaticamente áreas queimadas na região do Mediterrâneo. Os resultados comprovaram a eficiência desse algoritmo na cartografia de áreas queimadas.

Pereira et al. (2008, 2009) utilizaram técnicas de processamento multitemporal de imagens TM LandSat para delimitar georreferenciar e caracterizar áreas queimadas em unidades de conservação do norte do estado de Minas Gerais. Os resultados deste trabalho mostraram que é viável a utilização dessa técnica e das imagens TM para cartografia das áreas queimadas.

Maillard et al. (2009) mapearam a ocorrência de um grande incêndio ao entorno do Parque Estadual Veredas do Peruaçu por meio de imagens do satélite Sino-Brasileiro CBERS, o que possibilitou quantificar e caracterizar a área queimada de cada fisionomia vegetal.

Os estudos citados mostram a utilização das ferramentas de geotecnologias para o mapeamento das queimadas e a importância dessas análises ao gerar subsídios para o entendimento desse sinistro, como, por exemplo, as áreas de ocorrência.

2.3.4 Características do satélite LandSat utilizado neste trabalho para mapear de áreas queimadas

A série Landsat (Land Remote Sensing Satellite) iniciou em 1972, com o lançamento do satélite ERTS-1. Ela teve sequência com os Landsat 2, 3, 4 e, sobretudo, com o 5 e o 7. O principal objetivo desse sistema foi o mapeamento multispectral da superfície da Terra (Liu, 2007).

A resolução espacial do sensor TM (*Thematic Mapper*):

Resolução espacial: 120 x 120m na região do termal

30 x 30m nas demais bandas

Resolução espectral: 7 bandas

Resolução radiométrica: 8 bits

Resolução temporal: 16 dias

TABELA 2 Bandas espectrais – Sensor TM.

Banda	Faixa espectral (μm)	Região espectral
1	0,45–0,52	Azul
2	0,52–0,60	Verde
3	0,63–0,69	Vermelho
4	0,76–0,90	IV próximo
5	1,55–1,75	IV próximo
6	10,4–12,5	IV termal
7	2,08–2,35	IV médio

2.4 Análise da distribuição espacial

Estudar a análise espacial de eventos ocorridos no espaço propicia uma percepção visual da distribuição espacial do problema abordado e também pode traduzir os padrões existentes. Além disso, a relação espacial entre os dados contribui significativamente para o avanço da compreensão do fenômeno (Druck et al., 2004).

Na caracterização de análise espacial são considerados de três tipos de dados: eventos ou padrões pontuais (distribuição espacial), superfícies contínuas ou áreas com contagens e taxas agregadas. A análise feita por este trabalho é a de eventos ou padrões pontuais, que pode ser entendida como o conjunto de

pontos distribuídos dentro de uma determinada região do espaço, e a locação dos pontos denominada eventos (Andersen, 1992).

O primeiro passo no estudo da distribuição espacial é a descrição do padrão espacial, o que implica no teste da hipótese do padrão espacialmente aleatório contra duas hipóteses alternativas: padrão agregado e padrão regular (Ludwig & Reynolds, 1988; Cressie, 1993).

A análise de padrões espaciais é amplamente utilizada em várias ramificações da ciência (ecologia, epidemiologia, economia, criminologia), no intuito de aumentar o entendimento do processo pontual analisado.

Anjos (1998), Anjos et al. (2004) e Pereira et al. (2006) analisaram a distribuição espacial de espécies florestais, a fim de detectar os padrões no arranjo espacial e gerar subsídios ao entendimento da dispersão dessas espécies.

Carvalho (1997) estudou a dinâmica e a distribuição espacial de clareiras em floresta de mata atlântica, no intuito de elucidar questões ecológicas das ocorrências de clareiras na floresta.

Na área de ciências econômicas, Alexandre et al. (2005) analisaram a distribuição espacial da atividade bancária no Brasil, o que possibilitou apontar as dimensões e os indicadores dessa atividade.

Na criminologia, pode-se citar o trabalho de Ned Levine (2002), do Instituto Nacional de Justiça de Washington, Estados Unidos, onde desenvolveram um programa de análise espacial de incidência de crimes, o que permite detectar padrões dando subsídios para ações preventivas.

Na área da saúde, Tassinari et al. (2004) avaliaram a distribuição espacial da leptospirose no município do Rio de Janeiro durante três anos, o que gerou um maior entendimento espacial da ocorrência dessa doença.

Outros trabalhos que analisam a distribuição espacial de eventos podem ser encontrados em Francisco Filho (2004) e Caldeira et al. (2005).

Nesta dissertação, procurou-se detectar o padrão de distribuição espacial das queimadas, observando se elas se encontram distribuídas aleatoriamente ou agrupadas. O agrupamento sugere uma investigação mais sucinta quanto aos fatores sócio-ambientais que favoreçam as queimadas nestes locais e, então, direcionar ações preventivas.

2.5 Função K de Ripley

A função K de Ripley é amplamente utilizada nas análises de padrões espaciais, tendo aplicações em diversas áreas como nos trabalhos supracitados. É uma função considerada de segunda ordem (Ripley, 1977), pois suas estimativas baseiam-se no princípio da isotropia, ou seja, assumem que não há variações na intensidade que ocorrem os eventos nas direções x , y .

A função K de Ripley tem como principais vantagens a possibilidade de detectar o padrão espacial em diversas escalas de distâncias simultaneamente e avaliar a dependência espacial entre grupos de árvores (Capretz, 2004).

A popularidade da função K encontra-se, primeiramente, na facilidade de sua estimação, se comparada com outras medidas de segunda ordem para processos pontuais, como a função intensidade de segunda ordem (Assunção & Lopes, 2006).

Porém, a princípio, a função K utiliza uma medida de primeira ordem, assumindo que não há tendências na intensidade de um evento (no caso deste trabalho, queimadas) a uma distância “ x ”. Parte do princípio de que a intensidade em que ocorre um evento é constante em toda área e é indicada pela frequência média em que ocorre, a uma distância ‘ x ’ (princípio da estacionariedade).

A medida de primeira ordem pode ser representada pela função $\lambda(x)$, em que λ representa a intensidade média do número de eventos que ocorrem em uma área com um raio “ x ”.

$\lambda = N/A$

em que

λ é a intensidade média que ocorre o evento.

N é o número de pontos em uma área A .

A é a área considerada a um raio “ x ”.

A função K é caracterizada por combinar as funções de primeira e de segunda ordem, fornecendo interpretações diretas na descrição do padrão espacial do evento,

As interpretações diretas são:

- $\lambda K(x)$ = número de eventos esperados a uma distância ‘ x ’ de um evento arbitrário (primeira ordem);
- $\lambda^2 K(x)$ = o número de pares de eventos esperados, cuja distância entre eles seja $\leq x$ (segunda ordem).

As interpretações acima evidenciam a característica acumulativa da função K na escala estudada, o que deve ser considerado nas análises dos resultados (Capretz, 2004).

A função K pode ser definida como:

$K(x) = \lambda^{-1} E$ (# eventos contidos a uma distância “ x ” de um evento arbitrário).

em que

E = é o operador de estimativa,

λ = é a intensidade ou média de eventos por unidade de área.

A estimativa de K é calculada em função do um raio “ x ” e é resultante da intensidade em que ocorrem os eventos contidos nessa área. O estimador K pode ser representado pela seguinte fórmula:

$$K(x) = \lambda^{-1} N^{-1} \sum_{j=1}^N \sum_{j \neq i} K_{ij}$$

em que

λ = é a intensidade ou a média de eventos por unidade de área;

'x' = é o raio do centrado em cada evento com incremento fixo até a distância máxima da análise;

N = número de pontos em uma área de raio 'x';

i = evento no qual é centrado o raio 'x'.

j = evento que ocorre dentro do círculo de raio 'x' centrado em i.

$K_{ij} = 1$, quando a distância entre i e j \leq 'x'

$K_{ij} = 0$, quando a distância entre i e j $>$ 'x'.

Basicamente, um círculo de raio 'x' é centrado em cada evento e calculada a frequência em que ocorrem os outros eventos na área deste círculo (Anjos et al., 2004). A análise é feita, então, na área de um círculo de raio 'x', crescente com um incremento constante, até a escala máxima da análise.

Para analisar os dados graficamente, são construídos intervalos de confiança pelas simulações de Monte Carlo, realizadas por meio do modelo de completa aleatoriedade espacial (CAE), que representa um padrão espacial aleatório. Então, é calculada a função K para os resultados das simulações, armazenando-se os valores de máximo e mínimo da estimativa de K utilizados para gerar o intervalo de confiança (Capretz, 2004).

É comum utilizar a função transformada L(x) para facilitar a interpretação gráfica da função K de Ripley, que é interpretada como

$$L(x) = (K(x)/\pi)^{1/2} - x,$$

Valores positivos de L(x) representam uma atração espacial entre os eventos, ou agrupamento, na escala considerada. Assim, se todos os valores de L(x) forem positivos e acima do intervalo de confiança, o agrupamento está em

toda a escala do estudo. Já valores negativos e abaixo do intervalo de confiança indicam evidência de repulsão espacial ou regularidade entre os eventos nessa escala e valores dentro do intervalo de confiança são considerados aleatórios.

Para evitar interpretações erradas, são realizadas correções de bordas, uma vez que os eventos fora da área de estudo não são contabilizados, o que pode gerar uma subestimativa. A correção proposta por Ripley verifica se, para todos os pontos, o limite da área de estudo está próximo ao evento. Se estiver, a área utilizada para cálculo da frequência se limita apenas à área que está dentro área de análise. Trabalho sobre correção de borda da função K de Ripley pode ser encontrado em Goreaud & Pélissier (1999).

2.6 Validação dos focos de calor

O monitoramento do fogo ativo utilizando a faixa do infravermelho termal de sensores meteorológicos está bastante avançado (Arino & Mellinotte, 1998), no entanto, a baixa resolução espacial desses sensores pode ocasionar estimativas errôneas, subestimando as ocorrências de queimadas (Setzer et al., 1994).

Portanto, torna-se importante promover trabalhos de validação desses produtos que possibilitem o aperfeiçoamento tecnológico do monitoramento das queimadas (Morisete & Khorram, 2000).

Estudos recentes de validação utilizam imagens de melhor resolução espacial que as utilizadas na detecção dos focos e sobrepõem essas duas imagens. Então, contam-se quantos pixels detectados como focos de calor na banda termal das imagens de melhor resolução contêm no pixel das imagens de baixa resolução apontado como focos de calor. A probabilidade de detecção dos focos é dada em função do número de pixels saturados nas imagens de média resolução que contém em um pixel nas imagens de baixa resolução (Morisette et al., 2004, 2005; Justice et al., 2006; Schroeder et al., 2008).

Outra forma de validação dos focos de calor é por meio da coleta de dados de campo. Em geral, são traçadas rotas de voo e verificam-se os casos de queimadas detectadas, omissões e possíveis erros de comissão (falsos alarmes) com dados de campo ou videografia. Essa abordagem pode ser verificada em trabalhos realizados no estado do Acre, por Selhorst & Brown (2003) e Pantoja et al. (2005, 2007). Em ambos os trabalhos, foram encontrados altos erro de omissão e nenhum erro de comissão. Esses trabalhos não associam os erros ao tamanho da área queimada e também não avaliam a localização dos focos de calor sob as queimadas.

Nesta dissertação, procurou-se explorar melhor os casos de detecção e omissão das queimadas por meio do cruzamento de informações de focos de calor com o mapeamento das queimadas realizado por meio de técnicas de sensoriamento remoto em imagens TM LandSat. Isso possibilitou traçar o perfil das queimadas detectadas e omitidas, bem como verificar qual satélite se mostrou mais eficiente na detecção das queimadas. Foram analisados os casos de detecção e omissão por classes de tamanho e a distância dos focos de calor em relação a cicatrizes de queimadas. Os resultados dessas análises possibilitam averiguar os casos de omissões dos grandes incêndios, a fim de promover o avanço tecnológico do monitoramento e, também, instruir os agentes envolvidos no combate aos incêndios a respeito de qual satélite é mais preciso quanto à sua localização.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDRE, M.; LIMA, G. T.; CANUTO, O. Distribuição espacial da atividade bancária no Brasil: dimensões e indicadores. **Nova economia**, Belo Horizonte, v. 15, n. 1, p. 11-33, jan./abr. 2005.
- ALMEIDA, S. P.; PROENÇA, C. E. B.; SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado**: espécies vegetais úteis. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. 464 p.
- ANDERSEN, M. Spatial analysis of two-species interactions. **Oecologia**, Berlin, v. 91, n. 1, p. 134-140, Aug. 1992.
- ANJOS, A. **Análise do padrão de distribuição espacial do palmiteiro (Euterpe edulis) utilizando a função K de Ripley**. 1998. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- ANJOS, A.; MAZZA, M. C. M.; SANTOS, A. C. M. C.; DELFINI, L. T. Análise do padrão de distribuição espacial da Araucária (Araucária Angustifolia) em algumas áreas do Paraná, utilizando a função K de Ripley. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 36-45, dez. 2004.
- ARINO, O.; MELLINOTTE, J. M. The 1993 Africa fire map. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 19, n. 11, p. 2019-2023, July 1998.
- ASSUNÇÃO, R. M.; LOPES, D. L. Medida de correlação entre padrões pontuais de origem-destino. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOINFORMÁTICA, 8., 2006, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: GEOINFO, 2006. p. 315-320.
- BARBOSA, A. S.; SCHMITZ, P. I. Ocupação indígena do cerrado. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cerrado**. Brasília, 1998. p. 3-42.
- BASTARRIKA, A.; CHUVIECO, E. Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes TM y ETM+. **GeoFocus**, Jacupiranga, n. 6, p. 182-204, out. 2006.
- BATISTA, A. **Estadística de incendios forestales en las Unidades de Conservación Federales del Brasil**: periodo 2000-2004. Curitiba: UFPR, 2005. 3 p.

BATISTA, A. C. Detecção de incêndios florestais por satélites. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 2, p. 237-241, maio/ago. 2004.

BRASIL. **Decreto nº 2.661**, de 8 de julho de 1998. Regulamenta o parágrafo único do art. 27 da Lei nº 4.771, de 15 de agosto de 1965, do Código Florestal. Brasília, 1998. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2661.htm>. Acesso em: 10 mar. 2009.

BRASIL. **Lei nº 4.771**, de 15 de agosto de 1965. Institui o novo código florestal do Brasil. Brasília, 1965. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L4771.htm>. Acesso em: 10 mar. 2009.

CALDEIRA, M. A.; ZANETTI, R.; MORAES, J. C.; ZANUNCIO, J. C. Distribuição espacial de saueiros em eucaliptais. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 34-39, jan./mar. 2005.

CAPRETZ, R. L. **Análise dos padrões espaciais de árvores em quatro formações florestais do estado de São Paulo, através de análises de segunda ordem, como a função k de Ripley**. 2004. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura de “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

CARVALHO, L. M. T. **Dinâmica de clareiras em uma floresta de nuvem na serra do Ibitipoca, Minas Gerais**. 1997. 52 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CARVALHO, L. M. T.; SCOLFORO, J. R. S.; CANDEIAS, H. Tendências de ocupação do solo nas áreas modificadas. In: CARVALHO, L. M. T.; SCOLFORO, J. R. S. (Ed.). **Inventário florestal de Minas Gerais**. Lavras: UFLA, 2008. v. 1, p. 329-354.

CHUVIECO, E.; CONGALTON, R. G. Mapping and inventory of Forest fires from digital processing of TM data. **Geocarto International**, Hong Kong, n. 4, p. 41-53, Dec. 1988.

CHUVIECO, E.; MARTÍN, M. P.; MARTÍNEZ, J.; SALAS, F. J. **Geografía e incendios forestales**. Alcalá: Universidad de Alcalá de Henares, 1998. 17 p. (Serie Geográfica, 7).

COUTINHO, L. M. Aspectos ecológicos do fogo no cerrado: as queimadas e a dispersão de sementes em algumas espécies anemocóricas do estrato herbáceo subarbustivo. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 57-64, mar. 1977.

COUTINHO, L. M. As queimadas e seu papel ecológico. **Brasil Florestal**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 44, p. 7-23, 1980.

COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 20, n. 1, mar. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-33062006000100002&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 9 jul. 2009.

COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: GOLDAMMER, J. G. (Ed.). **Fire in the tropical biota**. Berlin: Springer-Verlag, 1990. p. 82-105.

CRESSIE, N. A. C. **Statistics for spatial data**. New York: Wiley Interscience, 1993. 900 p.

CRUTZEN, P. J.; ANDREAE, M. O. Biomass burning in the tropical impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles 1669, 1678, 1990. **Science**, New York, v. 250, n. 4988, p. 1669-1678, Dec. 1990.

DEPP, F.; PAULA, E. V.; FIRESIG: sistema de suporte a tomada de decisão para o combate a incêndios no Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 2, p. 157-162, maio/ago. 2004.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. (Ed.). **Análise espacial de dados geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004. 209 p.

FONSECA, E. M. B.; RIBEIRO, G. A. **Manual de prevenção de incêndios florestais**. Belo Horizonte: CEMIG, 2003. 112 p.

FRANÇA, H. Identificação e mapeamento de cicatrizes de queimadas com imagens AVHRR/NOAA. In: FERREIRA, N. J. **Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. p. 57-77.

FRANCISCO FILHO, L. L. **Distribuição espacial da violência em Campinas: uma análise por geoprocessamento.** 2004. 213 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

FREITA, S. R.; LONGO, K. M.; DIAS, M. A. F. S.; DIAS, P. L. S. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. **Estudos Avançados**, Campinas, v. 19, n. 53, p. 167-185, fev. 2005.

GOREAUND, F.; PÉLISSIER, R. On explicit formulas of edge effect correction for Ripley's K-function. **Journal of Vegetation Science**, Knivsta, v. 10, n. 3, p. 433-438, June 1999.

GOUVEIA, G. P.; MORAIS, J. C. M. Operações de prevenção e combate aos incêndios florestais no estado de Roraima, 2003/2004. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 2, p. 199-204, maio/ago. 2004.

HEREDIA-LACLAUSTRA, A.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, S.; QUINTERO, E.; PIÑEROS, W.; CHUVIECO, E. Comparación de distintas técnicas de análisis digital para la cartografía de áreas quemadas con imágenes LANDSAT ETM+. **GeoFocus**, Jacupiranga, n. 3, p. 216-234, nov. 2003.

HIRSCH, S. N. Project fire scan: summary of 5 years progress in airborne infrared fire detection. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF THE ENVIRONMENT, 5., 1968, Ann Arbor. **Proceedings...** Ann Arbor: ERIM, 1968. p. 447-457.

JUSTICE, C. O.; GIGLIO, L.; BOSCHETTI, J.; ROY, S.; CSISZAR, I.; MORISSETTE, J.; KAUFMAN, Y. **The MODIS fire products.** Version 2.3. Washington: NASA, 2006. 34 p.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto.** Campo Grande: UNIDERP, 2007. 908 p.

LUDWIG, J. A.; REYNOLDS, J. F. **Statistical ecology: a primer on methods and computing.** New York: J. Wiley, 1988. 337 p.

MAILLARD, P.; PEREIRA, D. B.; SOUZA, C. G. Incêndios florestais em veredas: conceitos e estudo de caso no Peruaçu. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, 2009. No prelo.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 39.792**, de 5 de agosto de 1998. Regulamenta a Lei nº 10.321 de 12 de novembro de 1998. Belo Horizonte, 1998. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=687>>. Acesso em: 15 mar. 2009.

MORISSETTE, J. T.; GIGLIO, L.; CSISZAR, I.; JUSTICE, C. O. Validation of the MODIS active fire product over Southern Africa with ASTER data. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 66, n. 7, p. 876-880, July 2004.

MORISSETTE, J. T.; GIGLIO, L.; CSISZAR, I.; SETZER, A.; SCHROEDER, W.; MORTON, D. Validation of MODIS active fire detection products derived from two algorithms. **Earth Interactions**, Miami, v. 9, n. 19, p. 1-25, Oct. 2005.

MORISSETTE, J. T.; KHORRAM, S. Accuracy assessment curves for satellite-based change detection. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, v. 66, n. 1, p. 876-880, Dec. 2000.

MUELLER-DUMBOIS, D.; GOLDAMMER, J. G. Fire in the tropical ecosystems and global environmental change: an introduction. In: GOLDAMMER, J. G. (Ed.). **Fire in the tropical biota**. New York: Springer-Verlag, 1990. p. 1-10.

NED LEVINE. **CrimeStat**: a spatial statistics program for the analysis of crime incident locations. Version 3.2. Washington: National Institute of Justice, 2002. Software.

PANTOJA, N. V.; BROWN, I. F. Acurácia dos sensores AVHRR, GOES e MODIS na detecção de incêndios florestais e queimadas a partir de observações aéreas no estado do Acre, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 4535-4540.

PANTOJA, N. V.; SELHORST, D.; ROCHA, K. da S.; LOPES, F. M. da C.; VASCONCELOS, S. S. de; BROWN, I. F. Observações de queimadas no leste do Acre: subsídios para validação de focos de calor derivados de dados de satélites. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3215-3222.

PEREIRA, A. A.; CARVALHO, L. M. T.; PEREIRA, J. A. A.; SILVEIRA, E. M. O. Procedimentos metodológicos para detecção e quantificação de áreas queimadas no programa de monitoramento integrado da flora nativa de Minas Gerais. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 8., 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2008. 1 CD-ROM.

PEREIRA, A. A.; MORELLI, F.; CARVALHO, L. M. T.; PEREIRA, J. A.; BRAGA, A. O. Quantificação de áreas queimadas em unidades de conservação de Minas Gerais através do processamento de imagens TM LandSat 5. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. 1 CD-ROM.

PEREIRA, A. A.; PÉLLICO, S. N.; CARVALHO, L. M. T. Análise da distribuição espacial de Jequitibá rosa em uma florestal Estacional Sub-Montana. **Revista Acadêmica**, Curitiba, v. 4, n. 2, p. 21-34, abr./jun. 2006.

PEREIRA, A. A.; PEREIRA, L. C.; VALADARES, R. Monitoramento dos incêndios florestais no estado de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 4535-4540.

PEREIRA, J. M. C. A comparative evaluation of NOAA/AVHRR vegetation indexes for burned surface detection and mapping. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 37, n. 1, p. 217-226, Jan. 1999.

PHULPIN, T.; LAVENU, F.; BELLAN, M. F.; MOUGENOT, B.; BLASCO, F. Using SPOT-4 HRVIR and VEGETATION sensors to assess impact of tropical forest fires in Roraima, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 23, n. 10, p. 1943-1966, Oct. 2002.

PRUDENTE, T. D.; ROSA, R. Geotecnologias aplicadas à análise de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. 1 CD-ROM.

RAMOS, P. C. M. Sistema nacional de prevenção e combate aos incêndios florestais. In: FÓRUM NACIONAL SOBRE INCÊNDIOS FLORESTAIS, 1., 1995, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: IPEF, 1995. p. 29-58.

REZENDE, A. V. Importância das matas de galeria manutenção e recuperação. In: RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado mata de galeria**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. 15 p.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. p. 89-166.

RIPLEY, B. D. Modelling spatial patterns. **Journal of the Royal Statistical Society Series B**, London, v. 39, n. 2, p. 172-212, Mar. 1977.

SANTOS, J. F.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Evolução do perfil dos incêndios florestais em áreas protegidas no Brasil, de 1993 a 2002. **Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 1, p. 93-100, jan. 2006.

SCHROEDER, W.; PRINS, E.; GIGLIO, L.; CSISZAR, I.; SCHMIDT, C.; MORISSETTE, J.; MORTON, D. Validation of GOES and MODIS active fire detection products using ASTER and ETM+ data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 112, n. 5, p. 2711-2726, May 2008.

SELHORST, D.; BROWN, I. F. Queimadas na Amazônia sul-ocidental, estado do Acre, Brasil: comparação entre produtos de satélites (GOES-8 e NOAA-12) e observações de campo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 517-524.

SETZER, A. W.; MORELLI, F.; LOMBARDI, R. J. R. Estimativa quinzenal de áreas queimadas nas imagens MODIS do INPE. In: RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. (Org.). **O sensor modis e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Bookimage, 2007. p. 403-417.

SETZER, A. W.; PEREIRA, M. C.; PEREIRA, A. C. Satellite studies of biomass burning in Amazonia: some practical aspects. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 10, n. 5, p. 91-103, May 1994.

SILVA, J. M. C.; BATES, J. M. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a tropical savanna hotspot. **Bioscience**, Easton, v. 52, n. 3, p. 225-233, Mar. 2002.

SOARES, R. V. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1984 a 1987. **Floresta**, Curitiba, v. 18, n. 2, p. 94-121, dez. 1988.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios florestais**: controle, efeitos e uso do fogo. Curitiba: Editores Independentes, 2007. v. 1, 250 p.

SOARES, R. V.; SANTOS, J. F. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1994 a 1997. **Floresta**, Curitiba, v. 32, n. 2, p. 219-225, ago. 2002.

SOUZA, P. A. L.; SISMANOGLU, R. A.; LONGO, K. M.; MAURANO, L. E.; RECUERO, F. S.; SETZER, A. W.; YOSHIDA, M. C. Avanços no monitoramento de queimadas realizado no INPE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004. 1 CD-ROM.

TASSINARI, W. S.; PELLEGRINI, D. C. P.; SABROZA, P. C.; CARVALHO, M. S. Distribuição espacial da leptospirose no Município do Rio de Janeiro, Brasil, ao longo dos anos de 1996-1999. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 6, p. 1721-1729, nov./dez. 2004.

ZHAN, X.; SOHLBERG, R. A.; TOWNSHEND, J. R. G.; DIMICELI, C.; CARROL, M. L.; EASTMAN, J. C.; HANSEN, M. C.; DEFRIES, R. S. Detection of land cover changes using MODIS 250m data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 83, n. 2, p. 336-350, Nov. 2002.

CAPITULO 2

Análise exploratória e distribuição espacial de queimadas em unidades de conservação no norte de Minas Gerais

1 RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar as queimadas ocorridas em seis unidades de conservação, para analisá-las quanto a classes de tamanho, vegetação atingida e distribuição espacial. Essas unidades estão localizadas no norte do estado de Minas Gerais e inseridas em uma área de transição dos biomas Caatinga e Cerrado, com predominância de Cerrado. Para esta caracterização, foram mapeadas queimadas ocorridas durante o mês mais crítico do ano de 2008, por meio do processamento bitemporal de imagens TM e classificação semiautomática. A análise por classe de tamanho foi realizada por meio da estratificação das queimadas em quatro classes: Classe I - <10ha, Classe II - entre 10,1 a 100 ha, Classe III - entre 100,1 a 1.000 ha, e Classe IV- >1000 ha. Quantificou-se a vegetação atingida por meio da intersecção das queimadas com o mapa da vegetação nativa de Minas Gerais. Por fim, a distribuição espacial foi analisada por meio da função K de Ripley, amplamente empregada na detecção de padrões espaciais. Com base nos resultados, pode-se constatar que a grande maioria das queimadas tem dimensões menores que 100 ha. A vegetação mais atingida foi a classe temática “outros”, composta de vegetação não nativa e utilizada para fins agropastoris. Já a vegetação nativa mais atingida foi o cerrado sensu stricto. No entanto, ressalta a necessidade de uma atenção maior às veredas, por ser uma fisionomia de baixa resiliência ao fogo. Quanto à distribuição espacial, as queimadas tendem a um padrão agregado. Quando essa análise é feita por classe de tamanho, percebe-se que as queimadas menores que 10 ha também tendem a um padrão semelhante ao total. Já a classe II apresentou um padrão agregado apenas no início da escala, até 14 km, depois passando a ter comportamento aleatório. As classes III e IV, juntas, mostraram padrão de distribuição aleatório. As discussões promovidas por esses resultados dão subsídios ao planejamento de ações preventivas e de fiscalização das queimadas em unidades de conservação.

2 ABSTRACT

The purpose of this work was characterizing the fires occurred in six Conservation Units to investigate them as to classes of size, damaged vegetation and spatial distribution. These units are located in the north of the state of Minas Gerais and inserted into a transition area of the biomas Caatinga and Cerrado, with the predominance of Cerrado. To this characterization, fires occurred during the most critical month of the year of 2008, were mapped by means of the bi-temporal processing of TM Images and semi-automatic classification. The analysis by size class was performed through the stratification of fires into four classes; Class I- <10ha, Class II- from 10.1 to 100 ha, Class III- from 100.1 to 1000 ha, and Class IV- >1000 ha. The vegetation reached by means of the intersection of fires with the map of Minas Gerais' native vegetation was quantified. And at last, the spatial distribution was analyzed through Ripley K function widely employed in detecting spatial standards. Through the results, one can find that the great majority of fires has sizes smaller than 100 ha. The most damaged vegetation was the thematic class "others", composed of non-native vegetation and utilized for raising and farming purposes. But, the most damaged one was the cerrado sensu stricto, nevertheless, it is stressed the need for an increased attention to veredas for being a physiognomy of low fire resilience. As to spatial distribution, fires tend to a clumped distribution standard. When this analysis is done by size class, it is realized that the fires smaller than 10 ha also tend to a standard similar to the current one. But class II presented a clumped standard only at the beginning of the scale, as far as 14 km afterwards, starting to have a random behavior. Classes III and IV (together) have a random distribution standard. The discussions promoted by these results give supports to the planning of preventive and surveying actions of fires in Conservation Units.

3 INTRODUÇÃO

O fogo sem controle, definido legalmente como incêndio florestal, é um acontecimento imprevisível. Porém, é comum que ele se origine de atividades previsíveis, como manejo da pastagem, limpeza da área para plantio, atividades de recreação e em áreas como margens de estradas e proximidades de zonas urbanas. Por isso, recomenda-se maior atenção às áreas próximas a essas atividades (Soares, 2000).

Segundo Soares (1985), a melhor forma de controlar as queimadas em áreas rurais é por meio da prevenção. Essa atividade tem investimentos de pequena ordem financeira quando comparado aos custos de combate, além de não envolver riscos de acidentes e evitar os danos ambientais (Ribeiro, 2005).

As atividades preventivas são mais eficientes quando baseadas em informações, como, por exemplo, quais as áreas que pegam fogo com maior frequência e o que favorece o acontecimento do fogo nessas áreas. De posse desses dados pode-se direcionar ações de prevenção e, assim, melhorar a eficiência técnica para, então, obter melhores resultados (Fonseca & Ribeiro, 2003).

Outra informação que contribui para o entendimento da dinâmica do uso do fogo é conhecer o padrão de distribuição espacial das queimadas. Isso permite saber se elas estão distribuídas aleatoriamente ou se existe uma concentração das ocorrências, o que gera subsídios para investigações sobre quais interações sócio-ambientais favorecem as queimadas.

É importante também conhecer qual a fisionomia vegetal atingida pelos incêndios. Isto é possível a partir do cruzamento das informações do mapeamento das queimadas e da vegetação (Pereira et al., 2007). Esse tipo de levantamento pode auxiliar nas ações de mitigação do dano causado e também

constitui importante base de dados para futuros estudos de emissões de gases de efeito estufa que possam ser realizados.

Além disso, mapear as queimadas ao longo do tempo possibilita gerar um banco de dados histórico que permite acompanhar as tendências e a causa das modificações do uso do solo e, assim, estabelecer políticas públicas voltadas à proteção e à recuperação dos remanescentes florestais (Carvalho et al., 2008).

Assim, este trabalho foi realizado com o objetivo geral de caracterizar e analisar o padrão espacial das queimadas ocorridas em seis unidades de conservação do norte do estado de Minas Gerais por meio de geotecnologias, no intuito de subsidiar ações que visam à prevenção.

Os objetivos específicos foram:

- mapear e quantificar as queimadas em seis unidades de conservação por meio do processamento de imagens TM LandSat5 bitemporal de 32 dias;
- caracterizar as queimadas por meio da estratificação por classe de tamanho;
- caracterizar a vegetação atingida pelas queimadas;
- fazer uma análise exploratória da distribuição espacial das queimadas por meio da função K de Ripley.

4 MATERIAIS

4.1 Área de estudo

A área deste estudo está localizada na região do norte do estado de Minas Gerais, a leste do rio São Francisco, abrangendo os municípios de Januária, Bonito de Minas, Chapada Gaúcha, Cônego Marinho e Urucuia. É considerada uma área de transição entre os biomas da Caatinga e Cerrado, com predomínio do Cerrado e suas variações (Instituto de Geociência Aplicada - IGA, 2006).

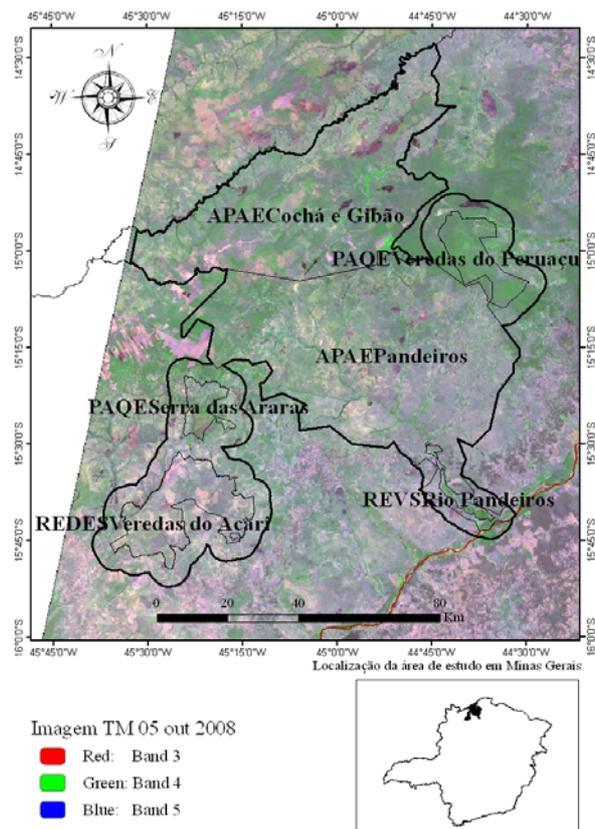


FIGURA 1 Área de estudo e delimitação das seis unidades de conservação no norte do estado de Minas Gerais.

Para a escolha da área, levaram-se em consideração a grande incidência de focos de calor nos últimos anos e a relevância ecológica da região. Assim, o território objeto deste trabalho contempla seis unidades de conservação estadual, sendo uma reserva de desenvolvimento sustentável (REDES), um refúgio da vida silvestre (REVS), dois parques (PQE) com uma zona de amortecimento de cinco km e duas áreas de proteção ambiental (APA), perfazendo um total de 936.901 ha (Tabela 1).

TABELA 1 Unidades de conservação abrangentes, suas áreas e categorias.

Unidade de conservação	Área da UC (ha)	Categoria da U.C.
Serra das Araras	11.137	Parque estadual
Veredas do Peruaçu	31.225	Parque estadual
Rio Pandeiros	6.102	Refúgio da vida silvestre estadual
Veredas do Acari	60.975	Reserva de desenvolvimento sustentável
Pandeiros	393.060	Área de proteção ambiental
Gibão e Cochá	296.422	Área de proteção ambiental
Área total com zona de amortecimento	936.901	-

Segundo o mapeamento da vegetação nativa e de reflorestamento de Minas Gerais (Carvalho & Scolforo, 2008), a área possui as seguintes fisionomias vegetais: Cerrado sensu stricto, Campo cerrado, Campo, Vereda, Floresta Estacional Decidual e Floresta Estacional Semidecidual e outros (considerada vegetação não nativa).

A predominância na área é a classe outros, que representa 44% do total e corresponde às áreas onde se faz o uso da terra por meio de práticas agropastoris. A fisionomia cerrado sensu stricto vem em seguida, ocupando 42% da área. Nessas áreas existe grande pressão por parte das indústrias de ferro-gusa, devido à grande demanda por carvão vegetal, o que estimula a exploração

e, posteriormente, a conversão dessas áreas em terras agricultáveis e, comumente, com o uso do fogo.

As áreas de campo e campo cerrado representam 4% e 3%, respectivamente. A pressão antrópica exercida nessas áreas é a atividade de pecuária extensiva, em geral manejada com o uso do fogo, prática que causa a deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

As áreas de veredas são consideradas, por moradores da região, como o oásis do cerrado. Ocupam 4% da área de estudo e são de extrema importância para a manutenção dos recursos hídricos, pois os solos orgânicos presentes nesse ambiente retêm a água no solo, servindo como reservatórios naturais. Devido ao fato de serem solos férteis, ricos em matéria orgânica, as veredas são constantemente queimadas para plantios, apesar de serem consideradas áreas de preservação permanente. Esta fisionomia vegetal apresenta baixa resiliência ao fogo, isto é, baixa capacidade de recuperação nesses ecossistemas.

As outras fisionomias, floresta decídua e semidecídua, juntas, representam apenas 1% da área de estudo.

As unidades de conservação APA Gibão e Cochá e APA Pandeiros (Figura 2 e 3) estão inseridas no contexto da legislação referente ao Sistema de Unidades de Conservação, que define áreas de proteção ambiental como áreas extensas com o objetivo de compatibilizar ocupação, uso do solo e sustentabilidade dos recursos naturais (Brasil, 2000). São unidades de conservação da categoria de uso sustentável. Por serem áreas com grande extensão territorial e remotas, com características de clima e vegetação propícias à propagação do fogo, essas APAs são as unidades de conservação do estado de Minas Gerais com maior número de focos de calor nos últimos cinco anos (Instituto Estadual de Florestas - IEF, 2008).



FIGURA 2 Foto da APA Cochá e Gibão.



FIGURA 3 Foto da cachoeira do rio Pandeiros, dentro da APA Pandeiros.

A REDES Veredas do Acari é uma categoria de unidade de conservação de uso sustentável, cujo objetivo básico é preservar a natureza e as culturas e as tradições dos povos da região e, assim, assegurar as condições para a melhoria da qualidade de vida desses povos (Brasil, 2000) (Figura 4). A área desta reserva é de 60.975 ha e é comum a prática do uso do fogo na época da seca (julho a novembro), para manejo do pasto no entorno da unidade e dentro, onde se encontram animais soltos.



FIGURA 4 Foto tirada da REDES Veredas do Acari. Ao fundo, o PQE Serra das Araras.

O REVS Rio Pandeiros é considerado o pantanal mineiro e está localizado dentro da APA Pandeiros. É a maior planície de área alagada de Minas Gerais e abriga espécies da fauna e flora endêmicas da região. A área alagada vai da foz do rio Pandeiros, no rio São Francisco, até, aproximadamente, 5 km rio Pandeiros acima (Figura 5). Possui áreas de corpos d'água permanentes e temporários que apresentam composição florística típica e rica em espécies

aquáticas (IGA, 2006). Trata-se de uma categoria de unidade de conservação de proteção integral, porém, permite a ocupação da área por propriedade privada, com limitações de uso da terra (Brasil, 2000).



FIGURA 5 Foto aérea d REVS Rio Pandeiros.

O PQE Serra das Araras tem formação rochosa de arenito, com erosões eólicas que servem de abrigo para a avifauna e, por isso, pode ser considerado como um grande berçário para as aves (Figura 6). Essas aves estão sob constante ameaça, tanto por parte de traficantes de animais como por incêndios florestais.



FIGURA 6 Foto do PQE Serra das Araras.

O Parque Veredas do Peruaçu abriga a nascente do rio Peruaçu, um dos principais afluentes do rio São Francisco. Essa unidade é uma das mais preservadas no contexto do cerrado brasileiro, condição ideal para a condução de estudos, além de possuir uma das maiores áreas contínuas de veredas do Brasil (Maillard & Silva, 2007) (Figura 7).



FIGURA 7 Foto da área do cerrado do PQE Veredas do Peruaçu.

Os dois parques estaduais são unidades de conservação de proteção integral onde não são permitidas propriedades particulares e nem o uso direto dos recursos naturais (Brasil, 2000).

Para delimitar a zona de amortecimento, foi realizada uma análise de “buffer”, que gerou um polígono equidistante 5 km das unidades de conservação, com exceção das APAs categoria de uso sustentável que não possuem zona de amortecimento. Entende-se por zona de amortecimento a área no entorno das unidades de conservação nas quais o uso e a intervenção do solo estão sujeitos a normas e a restrições específicas, com o propósito de minimizar os impactos negativos sobre a unidade (Brasil, 2000).

O clima da região é classificado, segundo Koeppen (1936), como clima tropical chuvoso - Awiq, em que a temperatura média de todos os meses é superior a 18°C, com seca acentuada e chuva anual periódica superior a 750 mm, o que propicia a ocorrência dos incêndios. Apresenta diferença entre as temperaturas médias mensais extremas, com números inferiores a 5°C.

4.2 Base de dados

4.2.1 Imagens LandSat

As imagens utilizadas para gerar a cartografia das queimadas são provenientes do satélite LandSat5, que tem ampla utilidade no monitoramento florestal como na detecção de desmatamentos e queimadas (Liu, 2007; Ponzoni & Shimabukuro, 2007). Essas imagens foram obtidas no site do INPE, por meio do catálogo de imagens LandSat5 TM (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). A órbita ponto e a data das imagens utilizadas neste trabalho estão descritas na Tabela 2.

TABELA 2 Órbita/ponto e data das imagens TM utilizadas neste trabalho.

Órbita/Ponto	Data das imagens
219/70	03/09/2008
219/71	03/09/2008
219/70	05/10/2008
219/71	05/10/2008

Para a escolha das datas das imagens, considerou-se a época com maior incidência de focos de calor na região e a disponibilidade de imagens sem nuvens. As imagens utilizadas possuem 0% de cobertura de nuvens e um intervalo de 32 dias entre uma passagem e outra (Figura 8).

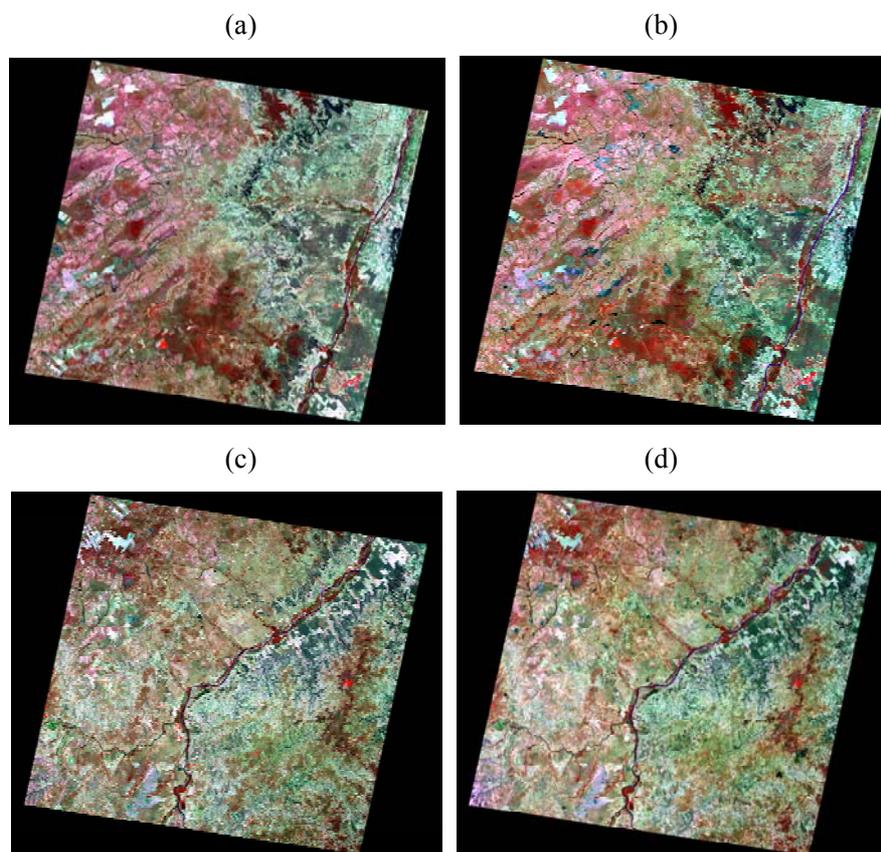


FIGURA 8 Imagens TM LandSat 5 composição R-G-B 4-5-3: data 03/09/2008 e órbita-ponto: 219-70 (a); data 05/10/2008 órbita-ponto 219-70 (b); data 03/09/2008 órbita-ponto 219-71 (c) e data 05/10/2008 órbita-ponto 219-71 (d).

Avaliou-se também a quantidade de chuva neste período, tendo em vista a velocidade da regeneração de algumas áreas de campo e campo cerrado e, conseqüentemente, a dificuldade em mapear essas áreas após o período de chuvas. No período, choveu apenas 13 mm, distribuídos em três dias, como mostrado na Figura 9 (Fonte: CPTEC/INPE in: <http://bancodedados.cptec.inpe.br/climatologia/Controller>).

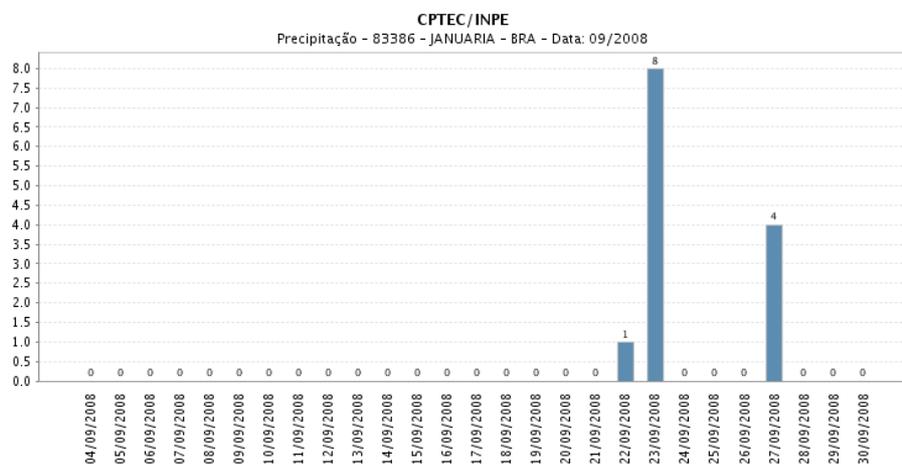


FIGURA 9 Gráfico de precipitação do dia 04 a 30 de setembro. Em outubro não houve registros de chuvas até o dia 5.

4.2.2 Imagens Geocover

As imagens *Geocover* são derivadas de uma parceria entre a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e a Universidade de Maryland, onde são produzidos conjuntos de imagens LandSat ortorretificadas, utilizadas como base para correções geométricas (Carvalho & Scolforo, 2006). Essas imagens foram utilizadas no registro das imagens deste trabalho.

4.2.3 Dados cartográficos

4.2.3.1 Limites das unidades de conservação

Os limites cartográficos das unidades de conservação são provenientes da base de dados do Instituto Estadual de Florestas (IEF) do estado de Minas Gerais por meio da Gerência de Monitoramento e Geoprocessamento (GEMOG).

4.2.3.2 Mapa da fisionomia vegetal da área de estudo:

O mapa de vegetação utilizado neste trabalho foi cedido pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), como base de dados do Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais, produzido pela UFLA como produto do projeto Mapeamento e Inventário da Flora Nativa e Reflorestamento de Minas Gerais. O mapeamento foi realizado utilizando-se imagens TM LandSat, portanto, na mesma escala do mapeamento das queimadas promovido por este trabalho (Carvalho & Scolforo, 2006). Ele integra a base de dados do Inventário Florestal da Vegetação Nativa do Estado de Minas Gerais, sendo de grande importância para planejamentos e gestão ambiental (Figura 10).

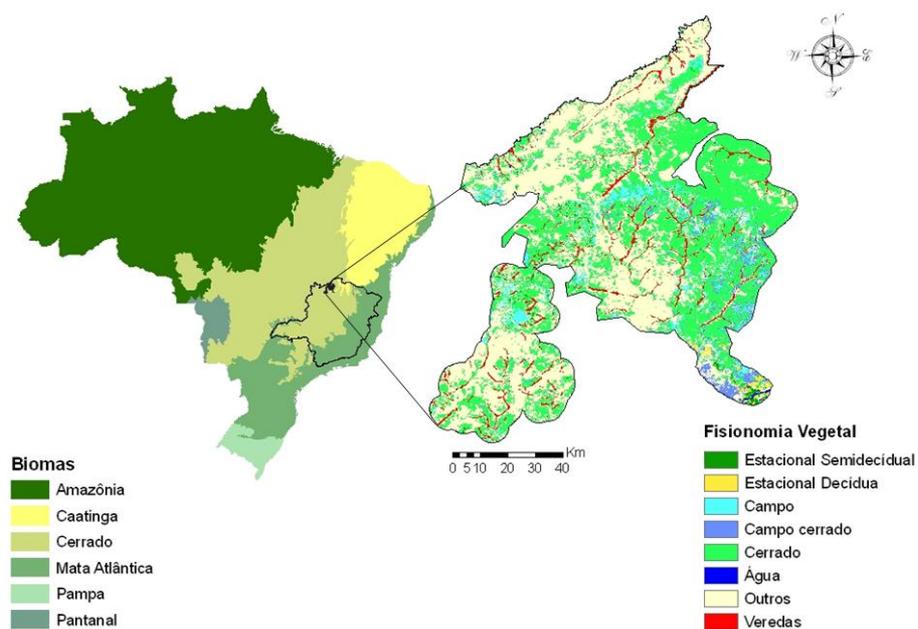


FIGURA 10 À esquerda, o mapa de biomas do Brasil (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2004) e contorno com o limite estadual de Minas Gerais; à direita mapa da fisionomia vegetal da área de estudo (Carvalho & Scolforo, 2008).

5 METODOLOGIA

5.1 Procedimentos para cartografia das queimadas

5.1.1 Pré-processamento das imagens

Para mapear as queimadas por meio das imagens TM, foram adotados procedimentos nas seguintes etapas: pré-processamento das imagens, segmentação semiautomática, refinamento e vetorização (Gato et al., 2001).

O pré-processamento consiste em corrigir os possíveis erros cartográficos nas imagens e ajustá-las em função do que se deseja realçar. Essa etapa foi realizada em quatro fases: 1) georreferenciamento 2) mosaico 3) índice de vegetação e 4) imagem diferença entre as datas distintas.

Para georreferenciar as imagens, foram coletados pontos de controle nas imagens tomadas como referência (imagens *Geocover*) e nas imagens a serem registradas, com a raiz do erro médio quadrático (RMSE) menor que um pixel. As correções geométricas foram feitas por meio do sistema de equações polinomiais de primeiro grau, com base nos pontos de controle coletados.

Após a correção geométrica, todas as imagens passaram a ter o mesmo formato, dimensões e sistema de coordenadas das imagens tomadas como referência. Então, foram feitos os mosaicos das imagens TM LandSat5 219-70 e 219-71 da mesma data, gerando duas cenas da área de estudo com um intervalo de 32 dias.

5.1.2 Cálculo do índice de vegetação e imagem diferença:

O índice utilizado foi o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) por ser amplamente utilizado na cartografia de áreas queimadas (Bastarrika & Chuvieco, 2006), na avaliação sazonal da vegetação (Ponzoni & Shimabukuro, 2007) e devido à sua simplicidade computacional (Carvalho & Scolforo, 2006).

O NDVI é uma normalização calculada por meio da razão entre a refletância do infravermelho próximo menos a refletância do infravermelho e a refletância do infravermelho próximo mais a refletância do infravermelho, resultando um intervalo de -1 a 1 (Rouse et al., 1973). O índice é calculado por meio da seguinte fórmula:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{VIS}) / (\text{NIR} + \text{VIS})$$

em que

NDVI= índice de normalização da diferença da vegetação.

NIR= refletância no infravermelho próximo.

VIS = refletância no infravermelho.

Por meio da comparação das imagens NDVI antes e depois, observa-se que, onde ocorreram mudanças na cobertura vegetal, os pixels têm alterações nos seus valores de NDVI (Figura 9).

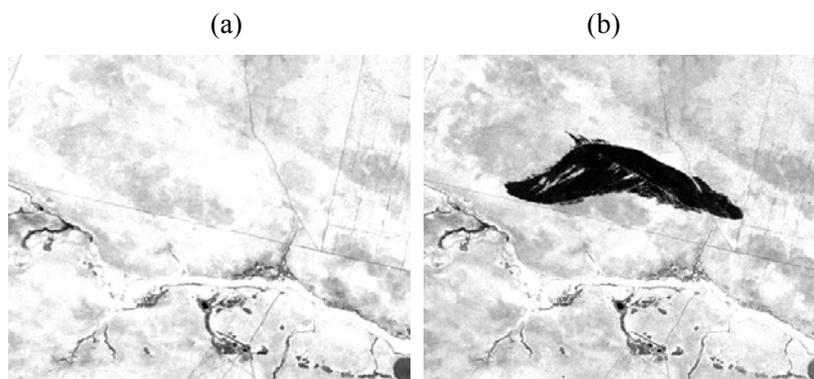


FIGURA 11 Recortes das imagens NDVI de uma mesma área; antes da queimada (a) e depois da queimada (b).

A imagem diferença é produto da subtração entre as imagens NDVI de diferentes datas. Por meio da subtração observa-se que, onde não ocorre mudança, os pixels terão um valor igual a 0 (zero). Pixels onde ocorre remoção

da vegetação terão seus valores próximos de 1 (um) e, com valores próximos de -1 (menos um), representam um crescimento da vegetação durante o intervalo observado (Carvalho & Scolforo, 2008) (Figura 10).



FIGURA 12 Recorte da imagem diferença de NDVI, destacando, em branco, uma queimada.

5.1.3 Segmentação semiautomática e vetorização

A identificação das queimadas foi realizada de forma semiautomática, aplicando-se o algoritmo de segmentação por crescimento de região nas imagens diferença. Esse algoritmo avalia a similaridade das amostras coletadas pelo usuário em relação aos pixels vizinhos, caracterizando aqueles com brilho similar como pertencentes da mesma classe (Gato, 2001).

A classificação semiautomática é caracterizada pela interação entre o usuário no processo de classificação. Neste estudo, essa interação se deu da seguinte forma: o usuário coletava amostras nas áreas que eram queimadas (Figura 11a) e aplicava o algoritmo de segmentação crescimento de região na imagem diferença. O algoritmo, então, avalia a similaridade das amostras de pixels com relação aos seus vizinhos, caracterizando aqueles com brilho similar como pertencentes à mesma classe (Gato, 2001) (Figura 11b)

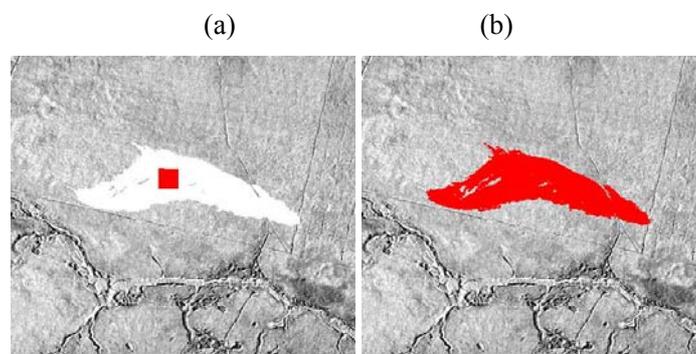


FIGURA 13 Exemplo da amostra coletada a partir do recorte da imagem diferença (a) e após a execução do algoritmo de crescimento de região(b).

Após a classificação semiautomática, os dados foram editados por meio de interpretação visual, visando corrigir possíveis erros. As queimadas são facilmente interpretadas nas imagens TM devido à sua cor e textura, principalmente quando se dispõem de imagens antes do incêndio, o que facilita a correção da classificação (Bastarrika & Chuvieco, 2006).

5.2 Quantificação das queimadas por unidade de conservação

Foi feita a intersecção dos dados mapeados de queimadas com os contornos das unidades de conservação e suas respectivas zonas de amortecimento (exceto das APAs) e, então, calculada a área queimada para cada unidade. Esse tipo de operação possibilitou analisar quais unidades mais queimaram dentro e no entorno e, assim, propor o direcionamento de ações preventivas e de mitigação.

5.3 Caracterização das queimadas por classes de tamanho

As cicatrizes de queimadas foram divididas em classes de tamanho para melhor caracterizá-las quantitativamente e identificar possíveis padrões que possam explorar melhor os resultados. As classes de tamanho são abordadas em

alguns trabalhos que caracterizem as queimadas (Ramsey & Higgins, 1981; Lima & Soares, 2002; Medeiros & Fiedler, 2003), no entanto, essas classes são adequadas com a realidade da área analisada.

Para este trabalho, optou-se por dividir as áreas queimadas em quatro classes de tamanho, tomando por base a experiência técnica dos funcionários do Instituto Estadual de Florestas:

Assim foram definidas quatro classes de tamanho (Tabela 3)

TABELA 3 Tabela com classes de tamanho das queimadas.

Classe I	0 a 10 ha
Classe II	10,1 a 100 ha
Classe III	100 a 1000 ha
Classe IV	>1000 ha

Consideradas, respectivamente, queimadas pequenas, médias, grandes e muito grandes.

5.4 Caracterização da vegetação atingida pelas queimadas

Para caracterizar e quantificar a fisionomia vegetal atingida pelas queimadas mapeadas neste estudo, cruzaram-se as informações das cicatrizes com o Mapa da Flora Nativa e dos Reflorestamentos do Estado de Minas Gerais (Carvalho et al., 2002), por meio da intersecção dos dados. A sobreposição das queimadas mapeadas por este trabalho e a sobreposição com o mapa das fisionomias vegetais está ilustrada na Figura 8.

5.5 Análise da distribuição espacial das queimadas

O conjunto de dados deste trabalho consiste em uma série de coordenadas de pontos ($p_1, p_2, p_3, p_4...$) dos eventos dentro da área estudada. O

termo evento refere-se a qualquer tipo de fenômeno localizado no espaço que, dentro de nossa escala de investigação, possa estar associado a uma representação pontual (Druck et al., 2004).

Para a análise da distribuição espacial, utilizou-se a função K de Ripley que foi calculada com auxílio de um software de SIG. As estimativas de $K(x)$ foram feitas com um incremento de 1 km até a distância máxima de 100 km na área de estudo. Portanto, a escala de análise dos padrões vai de 1 a 100 km. A frequência média das ocorrências de queimadas foi calculada na área circular, centrada em cada evento com raio variando de 1 a 100 km, com um incremento fixo de 1 km.

Consideraram-se as queimadas como eventos. Como se trata de polígonos e não ponto, o cálculo da distribuição espacial é feito posicionando o raio “x” no centroide das queimadas.

Foram realizadas 99 simulações utilizando o modelo de completa aleatoriedade espacial e calculada a estimativa de K, construindo os intervalos de confiança com os resultados de máximo e mínimo.

O erro admitido é dado por $(1/(m+1))$, em que ‘m’ é o número de simulações. Para este estudo, utilizou-se um nível de confiança de 1% de erro. A correção de borda utilizada foi a correção proposta por Ripley (Diggle, 2003) em que a área de análise da intensidade (número de eventos/área) no círculo centrado em cada evento se limita à área de estudo.

Utilizou-se a função $L(x)$ para analisar melhor os dados graficamente. Assim, foram calculados $L(x)$ para os dados observados e para os dados simulados para construir os gráficos de limites no intervalo de confiança. O eixo x representa a escala da análise e o eixo y $L(x)$ estimado.

Assume-se a hipótese do padrão de aleatoriedade quando os dados observados estão dentro do intervalo de confiança. Quando positivos e observados acima do intervalo de confiança, representa uma atração espacial ou

um padrão de agrupamento; abaixo do intervalo de confiança e com valores negativos, representa que há uma repulsão entre os eventos ou um padrão de distribuição regular.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Cartografia e quantificação das áreas queimadas

Em toda a área, foram mapeadas 194 cicatrizes de queimadas em um intervalo de 32 dias, o que representa um total de 19.538 hectares queimados. A menor queimada corresponde a uma área de 1 ha e a maior, 2.324 ha de área queimada, conforme ilustrado na Figura 12 e na Tabela 4.

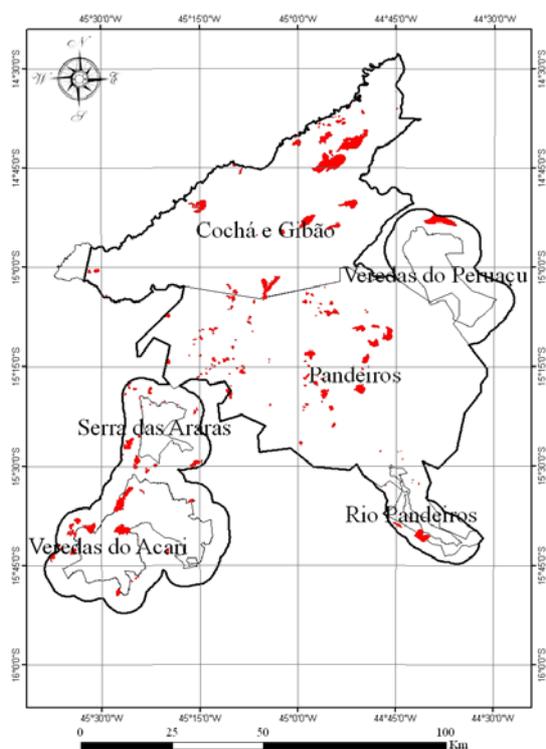


FIGURA 14 Cicatrizes das áreas queimadas nas seis unidades de conservação da região norte do estado de Minas Gerais, no período de 5 de setembro a 3 de outubro de 2008.

TABELA 4 Número de queimadas, área total, maior, menor e média.

Cicatrices de queimadas	Área total queimada	Maior queimada	Menor queimada	Média
194	19.538 ha	2.324 ha	1 ha	101 ha

A quantidade de ocorrências e a área queimada por unidade de conservação podem ser observadas na Tabela 5.

TABELA 5 Quantidade de queimadas e área queimada, em hectares, por unidade de conservação dentro e no entorno das unidades (exceto entorno de APAs).

UC	Interno		Zona de amortecimento		Total	
	Total cicatriz	Área queimada	Total cicatriz	Área queimada	Total cicatriz	Área queimada
APA Cochá Gibão	42	5939	-	-	42	5939
APA Pandeiros	102	8057	-	-	102	8057
REDES Acari	7	2186	19	1130	26	3316
PQE Araras	4	20	18	1354	22	1374
PQE Peruaçu	0	0	1	1077	1	1077
REVS Rio Pandeiros	0	0	12	1175	12	1175

A unidade de conservação com maior número de registro de ocorrências e áreas queimadas foi a APA Pandeiros, a de maior extensão territorial. Entretanto, as maiores queimadas ocorreram na APA Gibão Cochá. Enquanto a média das áreas queimadas nesta unidade de conservação foi de 141 ha, a média na APA Pandeiros foi de 79 ha. Dos três incêndios maiores mapeados, dois foram na APA Gibão Cochá, o que pode ser explicado pelo difícil acesso a esta UC e, conseqüentemente, maior demora para chegar ao local de combate. Outro fator que contribui para as grandes queimadas nessas áreas é a falta de ponto de apoio próximo, com infraestrutura de transporte para brigadistas e ferramentas

de combate para que cheguem aos incêndios com maior agilidade, diminuindo o tempo de resposta.

Na área da serra do Gibão, onde ocorreram duas grandes queimadas, são constantes esses acontecimentos, segundo relato de moradores da região, e dados históricos de focos de calor confirmam esta informação. Assim, sugere-se que seja intensificado o monitoramento nessas áreas e também trabalhos de investigação dos supostos incendiários, para que sejam tomadas as providências legais.

Dentre as unidades de conservação nas quais são proibidas atividades agropecuárias e também o uso do fogo, a REDES Veredas do Acari foi, de longe, a que mais queimou. Segundo relatórios do IEF (2008), esta UC é uma das que mais tiveram focos de calor nos últimos três anos. Nela, é comum a prática, entre moradores do entorno, de soltar animais para pastagem na época da seca e, então, fazer o uso do fogo para manejo do campo natural. As áreas de veredas, em geral, são atingidas pelo fogo sem controle nas áreas de campo natural.

Tornam-se necessários a intensificação das fiscalizações e o monitoramento nesta unidade e, também, que sejam recolhidos os animais soltos. Sugere-se, ainda, que sejam direcionados projetos sociais que promovam o desenvolvimento da região com práticas extrativistas sem causar prejuízos ao meio ambiente, como, por exemplo, produtos do cerrado, atividades que substituam a prática da pecuária de forma rentável.

O PQE Serra das Araras teve quatro pequenas queimadas internas que representam 20 ha queimados. Já as unidades PQE Veredas do Peruaçu e REVES Rio Pandeiros não tiveram nenhuma queimada interna. Esses resultados podem ser reflexos dos trabalhos de prevenção e monitoramento realizados pelo Instituto Estadual de Florestas nesta UC e, também, devido ao menor tempo de resposta no combate, pois ambas têm sede com infraestrutura de combate

próxima. No entanto, essas análises só poderão ser realizadas de posse de relatórios dos combates e do histórico das queimadas e também comparando-se os dados com informações climáticas.

Na zona de amortecimento das quatro unidades de conservação, todas tiveram acima de 1.000 ha de área queimada. Uma peculiaridade se deu no PQE Veredas do Peruaçu, onde apenas um incêndio foi responsável por toda a área queimada. As causas deste grande incêndio devem ser apuradas e, assim, tomar as medidas necessárias para que este fato não se repita. Sugere-se, ainda, que seja realizado um plano de mitigação do dano causado, promovendo a recuperação, tendo em vista a grande área de cerrado afetada.

6.2 Distribuição das frequências de queimadas por classes de tamanho:

A distribuição dos incêndios por classe de tamanho mostra a eficiência do controle dos incêndios; quanto maior a porcentagem de incêndios nas classes de tamanho I, maior é a eficiência do controle (Soares & Santos, 2002).

A maior frequência de queimadas está situada na classe II, com tamanho variando de 10,1 a 100 há, com 44,8% do total de ocorrências, seguida pelas queimadas da classe I, com área menor que 10 há, com 38,7% do total de cicatrizes de queimadas. Portanto, 83,5% das queimadas mapeadas têm menos que 100 ha (Tabela 5 e Figura 13).

TABELA 6 Queimadas mapeadas nas unidades de conservação, separadas por classes de tamanho.

Classes de tamanho	Nº de polígonos	% de polígonos	Área queimada (ha)	% da área queimada
<10 ha	75	38,7	348	1,8
10,1 a 100 ha	87	44,8	3205	16,4
100,1 a 1000 ha	29	14,9	10849	55,5
>1000 ha	3	1,5	5136	26,3
Total	194	100	19538	100

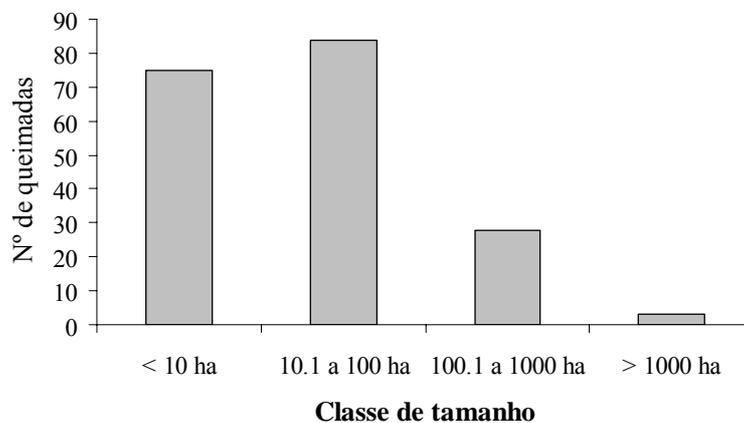


FIGURA 15 Frequência de cicatrizes de queimadas por classes de tamanho para as unidades de conservação na região norte do estado de Minas Gerais.

As queimadas de grandes dimensões (classe IV), apesar da baixa frequência, representam uma extensão de 26% do total e a soma de todas as áreas queimadas na classe de tamanho III equivale a 56% do total de área queimada. Portanto, 82% da área queimada é proveniente de queimadas maiores que 100 ha. Assim, fica demonstrada a necessidade de investigar as causas dessas grandes queimadas e trabalhar na prevenção delas. As queimadas menores que 100 ha representam apenas 18% do total das áreas queimadas (Figura 14).

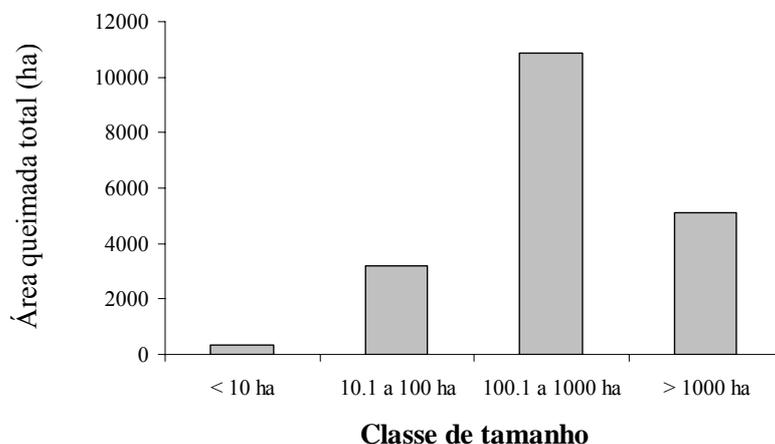


FIGURA 16 Soma de áreas queimadas por classes de tamanho para as unidades de conservação na região norte do estado de Minas Gerais.

Esses resultados mostram a importância de direcionar esforços no sentido de concentrar as queimadas nas classes de menores tamanho, diminuindo a área total queimada e, conseqüentemente, os malefícios que elas representam para o meio ambiente, quando se tornam frequentes e recorrentes.

6.3 Caracterização e quantificação da área queimada por fisionomia vegetal

A maioria das queimadas ocorreu na classe de vegetação classificada como “outros”, em que o uso do fogo se faz para fins agropastoris. Segundo Soares (2000), as queimadas se originam de atividades previsíveis, como queima de pastagem, limpeza de terreno para agricultura, o que pode explicar a maior ocorrência nessas áreas. Também, deve-se ao fato de esta classe ocupar 44% do território total da área de estudo (Tabela 6).

TABELA 7 Ocupação do solo, quantidade de área queimada, porcentagem da fisionomia queimada e porcentagem queimada do total, para as seis unidades de conservação analisadas durante o período de 03/09/2008 a 05/10/2008.

Fisionomia vegetal	Ocupação do solo (ha)	Área queimada (ha)	% queimada da fisionomia	% queimada por fisionomia
Semidecídua	7.820	66	0,8%	0,3%
Decídua	5.290	1	0,0%	0,0%
Campo	40.305	607	1,5%	3,1%
Campo Cerrado	30.653	755	2,5%	3,9%
Cerrado	398.537	7973	2,0%	40,8%
Outros	415.833	9318	2,2%	47,7%
Veredas	37.224	804	2,2%	4,1%
Total	936.841	19.538	2,1%	-

O fogo é utilizado, no meio rural, em limpeza de área para plantio ou manejo da pastagem. No entanto, trabalhos comprovam que esta prática causa deterioração do solo e reduz o potencial produtivo da pastagem (Jaques, 2003).

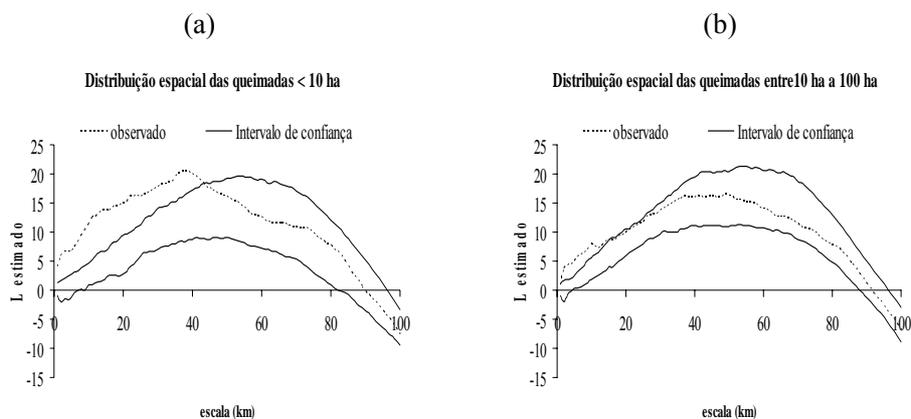
O cerrado, apesar de abundante na área, foi a fisionomia mais atingida. Esta fisionomia tem maior resiliência quando comparada às veredas, no entanto, há necessidade de estudos complementares que visam avaliar a regeneração natural dessa fisionomia pós-fogo. Segundo Coutinho (1984), os efeitos do fogo são maiores sobre a vegetação arbórea do cerrado, uma vez que as cinzas com alto teor de nutrientes são absorvidas pela estrutura herbácea, pois as raízes desse tipo de vegetação são mais superficiais.

Proporcionalmente à área de vegetação que ocupa, o Campo Cerrado foi a fisionomia mais atingida. Esta fisionomia vegetal tem alta capacidade de regeneração após a incidência de fogo, no entanto, a exposição do solo sem a cobertura vegetal pode causar perdas de nutrientes por lixiviamento e graus de erosão irreversíveis.

A fisionomia vegetal Veredas também foi muito atingida, quando analisada proporcionalmente. As Veredas, por terem baixa resiliência ao fogo, são áreas que merecem atenção especial. Nessas áreas, devem ser realizados trabalhos que visam à mitigação dos danos causados. Outra peculiaridade das veredas é a dificuldade em monitorar focos, por serem incêndios subterrâneos em solos ricos em matéria orgânica, então, quando detectadas, já estão pegando fogo há tempos. Portanto, são áreas prioritárias no monitoramento de rondas por guarda-parques.

6.4 Distribuição espacial das queimadas.

Os resultados gráficos da função K para o total de queimadas e por classe de tamanho estão apresentados na Figura 15 (a, b, c, d).



“...continua...”

“FIGURA 17, Cont.”

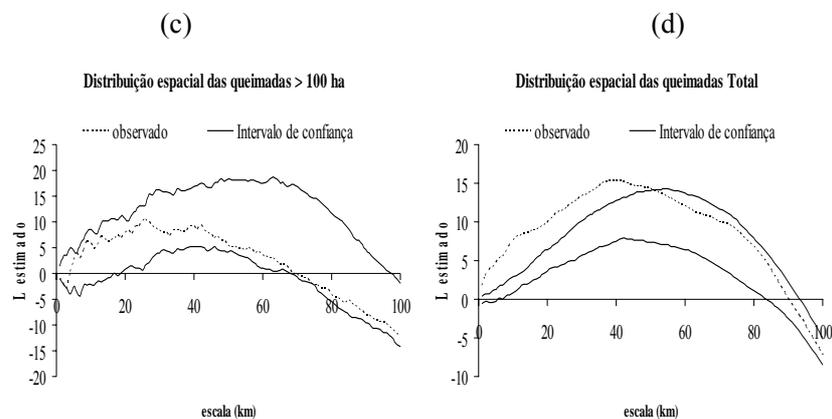


FIGURA 17 Função K de Ripley para queimadas menores que 10 ha (a); função K de Ripley para queimadas entre 10 e 100 ha (b); função K de Ripley para queimadas acima de 100 ha (c) e; função K de Ripley para o total de queimadas (d).

A síntese da análise espacial das queimadas, total e por classe de tamanho, é apresentada na Tabela 7:

TABELA 8 Padrões de distribuição das queimadas.

Tamanho das queimadas	Nº polígonos	Área queimada	Padrão de distribuição espacial
<10 ha	75	348 ha	Agregado até a escala de 44 km, passando a aleatória até o final da análise.
10 a 100 ha	87	3.204 ha	Agregado até a escala de 14 km, passando a aleatória até o final da análise.
>100 ha	32	15.985 ha	Aleatório por toda a escala
Total	194	19.538 ha	Agregado até a escala de 51 km, passando a aleatória até o final da análise.

Ficou demonstrado, estatisticamente, que as queimadas não estão distribuídas aleatoriamente; ao contrario, apresentam tendências e padrões espaciais definidos. Apenas as queimadas maiores que 100 ha têm distribuição aleatória por toda a escala de análise.

Segundo Câmara et al. (2002), uma distribuição espacial que difere da aleatoriedade merece ser objeto de maior análise. Assim, esses resultados sugerem uma investigação sobre as interações sócio-ambientais que possam favorecer o agrupamento das queimadas. Este tipo de análise gera subsídios aos gestores públicos da prevenção aos incêndios, para compreender melhor este fenômeno e, então, agir com base em dados condizentes com a realidade.

Os resultados dos padrões espaciais das queimadas sugerem também futuras análises espaciais, como, por exemplo, densidade de pontos por meio do estimador de Kernel. Esse tipo de análise foi realizado por Coelho & Guasseli (2009), no Rio Grande do Sul e possibilitou uma boa avaliação qualitativa sobre as concentrações dos focos de calor no estado. Possibilitou também um melhor entendimento da dinâmica espacial dos focos de calor naquele estado.

As análises espaciais, baseadas em ferramentas de geotecnologia, apresentam potencial ainda pouco explorado pelas instituições governamentais, responsáveis pela elaboração e execução de políticas públicas. No entanto, com a popularização dessas ferramentas, essas análises devem ser uma prática incentivada (Coutinho, 2009).

7 CONCLUSÕES

Por meio do processamento bitemporal das imagens LandSat foi possível mapear e quantificar as queimadas, corroborando a metodologia proposta por este trabalho.

As duas UC/áreas de proteção ambiental foram responsáveis por 67% da área queimada, devido á grande extensão territorial e por ser permitida legalmente a produção agropecuária, fatores que predispõem ao manejo dessas áreas com uso do fogo.

Nessas áreas, sugere-se direcionar trabalhos de extensão rural, no sentido de orientar o produtor quanto aos prejuízos decorrente dessa prática, quanto a técnicas alternativas de uso do solo e também fornecendo informação sobre os projetos de fomento florestal e ambiental realizados pelo Instituto Estadual de Florestas. Acentua-se também a necessidade de uma política de queima controlada, no sentido de orientar o produtor rural sobre a melhor forma de fazer o uso do fogo, quando a legislação o permitir.

Nas outras unidades de conservação onde não é permitido o uso do fogo, devem-se intensificar os trabalhos de monitoramento, fiscalização, educação ambiental e extensão rural com a comunidade do entorno.

Observou-se que 82% das ocorrências pertencem às duas classes de menores dimensões, o que é um dado positivo, pois representam menores áreas atingidas. No entanto, esforços devem ser concentrados para a extinção das grandes queimadas, pois estas, quando somadas, representam 81% da área. Apesar dos prejuízos causados pelas queimadas, fica evidenciado que, se o fogo for utilizado para fins agropastoris, é melhor fazê-lo de forma controlada, tomando os devidos cuidados para que não se torne um incêndio e atinja grandes áreas.

A fisionomia vegetal nativa mais atingida foi o cerrado stricto sensu. Nessas áreas recomendam-se estudos sobre as tendências de conversão do uso do solo para que se possam direcionar políticas preservacionistas em prol dos remanescentes do Cerrado mineiro.

As veredas merecem atenção especial, por representarem um ambiente com baixa resiliência ao fogo e por serem mais difíceis de monitorar, devido à peculiaridade do fogo ser subterrâneo. Além disso, são consideradas áreas de preservação permanentes, onde é proibido o uso do fogo.

As queimadas tendem a um padrão espacial agregado, o que leva a inferir que fatores sócio-ambientais contribuem para esta concentração. A análise espacial e o mapeamento realizado dão subsídios para que o IEF compreenda melhor a ocorrência das queimadas e direcione ações de fiscalização e prevenção. No entanto, é importante ressaltar que este trabalho foi realizado apenas no período crítico de 2008 e não deve ser considerado um relato histórico das queimadas nessas unidades de conservação. A continuação de trabalhos desta natureza trará importantes informações para confirmar e/ou melhorar os resultados aqui apresentados.

As análises geradas neste trabalho, por meio de ferramentas de geotecnologia, permitem ao gestor ambiental uma visão ampla sobre as queimadas, possibilitando direcionar ações de fiscalização, monitoramento e prevenção.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASTARRIKA, A. Y.; CHUVIECO, E. Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes TM y ETM+. **GeoFocus**, Jacupiranga, n. 6, p. 182-204, out. 2006.

BRASIL. **Lei nº 9.985**, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Brasília, 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm>. Acesso em: 10 mar. 2009.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; DRUCKS, S.; CARVALHO, M. S. **Introdução a ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2002. 186 p.

CARVALHO, L. M. T.; SCOLFORO, J. R. S. **Inventário florestal de Minas Gerais**: monitoramento da flora nativa 2005-2007. Lavras: UFLA, 2008. 318 p.

CARVALHO, L. M. T.; SCOLFORO, J. R. S. **Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais**. Lavras: UFLA, 2006. 288 p.

CARVALHO, L. M. T.; SCOLFORO, J. R. S.; CANDEIAS, H. Tendências de ocupação do solo nas áreas modificadas. In: CARVALHO, L. M. T.; SCOLFORO, J. R. S. (Ed.). **Inventário florestal de Minas Gerais**. Lavras: UFLA, 2008. v. 1, p. 329-354.

COELHO, F. F.; GUASSELLI, L. A. Análise espacial dos focos de calor, no período entre 2000 e 2006, no Estado do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. 1 CD-ROM.

COUTINHO, A. C. Padrões da distribuição espacial de queimadas no Estado de Mato Grosso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. 1 CD-ROM.

COUTINHO, L. M. Aspectos ecológicos da saúva no cerrado: a saúva, as queimadas e sua possível relação na ciclagem de nutrientes minerais. **Boletim de Zoologia**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 1-9, abr. 1984.

DIGGLE, P. J. **Statistical analysis of spatial point patterns**. London: Arnold, 2003. 153 p.

GATO, H. E. R.; IMAI, N. N.; TOMMASELLI, A. M. G. Uma abordagem semi-automática para extração de feições cartográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 53, p. 16-28, dez. 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de biomas do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.html>>. Acesso em: 15 jun. 2009.

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIA APLICADA. **Áreas de proteção ambiental no estado de Minas Gerais**: demarcação e estudos para o pré-zoneamento ecológico. Belo Horizonte: APA Bacia do Rio Pandeiros, 2006. 271 p.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS. **Relatório do monitoramento dos incêndios florestais nas unidas de conservação do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2008. 110 p.

JAQUES, A. V. A. A queima das pastagens naturais: efeitos sobre o solo e a vegetação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 177-181, jan./fev. 2003.

KÖPPEN, W. **Das geographische system der klimate**. Berlin: Handbuch der Klimatologie, 1936. 240 p.

LIMA, G. S.; SOARES, R. V. Avaliação da eficiência de combate aos incêndios florestais no Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 22, n. 1/2, p. 25-38, jul. 2002.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2007. 908 p.

MAILLARD, P.; SILVA, T. A. Delimitação e caracterização do ambiente de vereda: II., o potencial das imagens óticas ASTER. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2007. 1 CD-ROM.

MEDEIROS, M. B.; FIEDLER, N. C. Incêndios florestais no parque da serra da canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 157-168, mar./abr. 2003.

PEREIRA, A. A.; PEREIRA, L. C.; VALADARES, R. Monitoramento dos incêndios florestais no estado de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 4535-4540.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. v. 1, 135 p.

RAMSEY, G. S.; HIGGINS, D. G. **Canadian forest fire statistic**. Ontario: Canadian Forestry Service, 1981. 315 p. (Information Report, 71).

RIBEIRO, G. Estratégias de prevenção contra os incêndios florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 24, p. 42-46, maio 2005.

ROUSE, J. W.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: NASA ERTS SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. **Proceedings...** Washington: NASA, 1973. p. 309.

SOARES, R. V. **Incêndios florestais**: controle e uso do fogo. Curitiba: FUPEF, 1985. 213 p.

SOARES, R. V. Novas tendências no controle de incêndios florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 30, n. 1/2, p. 11-21, jul. 2000.

SOARES, R. V.; SANTOS, J. F. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1994 a 1997. **Floresta**, Curitiba, v. 32, n. 2, p. 219-225, jul. 2002.

CAPITULO 3

Validação do sistema de monitoramento orbital de queimadas através de imagens TM

1 RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de validar os focos de calor utilizados no monitoramento de queimadas em seis unidades de conservação localizadas no norte do estado de Minas Gerais. Para isso foram mapeadas, por meio da segmentação semiautomática, através do algoritmo de crescimento de regiões na diferença das imagens do índice de vegetação NDVI antes e depois das queimadas. Foram mapeadas 194 queimadas, ocorridas no período de 3 de setembro a 5 de outubro, averiguando-se se foram ou não detectadas pelos focos de calor. Esta análise foi feita também por classe de tamanho das queimadas, procurando afirmar a hipótese de que as menores queimadas são menos passíveis de detecção por focos. A distinção entre queimadas omitidas e detectadas foi realizada por meio da interpretação visual das imagens TM e com o auxílio de softwares de geoprocessamento que permitam gerar análises espaciais que ajudam na interpretação do objeto alvo. Fez-se também a validação da distância entre os focos de calor com os limítrofes das queimadas. Essa análise foi feita por meio de classes equidistantes, com incremento de 1 km em cada classe, até o limite de 9 km, gerando, então, dez classes de distância. Das queimadas analisadas, 29% foram detectadas. Os resultados mostraram limitações do sistema em detectar queimadas menores que 100 ha. Mostraram também que, apesar desta limitação, grande parte da área queimada foi detectada, pois as grandes queimadas são responsáveis pela maioria das áreas queimadas, ou seja, 73%. De 183 focos, apenas 2 são suspeitos de falsos alarmes. Os resultados de erros de localização foram satisfatórios, tendo em vista as limitações técnicas da resolução espacial das queimadas. Essas informações geram subsídios ao avanço tecnológico do monitoramento orbital das unidades de conservação em Minas Gerais.

2 ABSTRACT

The objective of this work was validating the hot focuses utilized in fire monitoring in six Conservation units localized in the North of the state of Minas Gerais. So, they were mapped by means of semi-automatic segmentation through the growth algorithm of regions in the difference of the images NDVI vegetation index before and after the fires. 194 mapped fires were found, occurred during the period of September 3rd to October 5th, ascertaining if they were or not detected by hot focuses. This analysis was also done by size classes of the fires seeking to state the hypothesis that the smallest fires are less liable to focus-detection. The distinction among fires omitted and detected was performed by means of visual interpretation of the TM images and with the aid of geo processing software which enable to generate spatial analyses which help in interpreting the target object. The validation of the distance among the hot focuses with the neighbors of the fires was also done. This analysis was done by means of equidistant classes with the increase of 1 km each class as far as the limit of 9km generating in this way then ten distance classes. Out of the investigated fire, 29% were detected. The results showed limitations of the system to detect fires smaller than 100 ha. They showed also that in spite of that limitation, a large part of the burned area was detected, for the large fires are responsible for the majority of the burned areas, that is, 73%. Out of the 183 focuses, only 2 are suspect of false alarms. The results of localization errors were satisfactory having in mind the technical limitations of spatial resolution of fires. That information generates support to the technological advancements of orbital monitoring of the Conservation Units in Minas Gerais.

3 INTRODUÇÃO

A discussão sobre as queimadas em ambientes naturais no âmbito acadêmico fomentou a produção de tecnologias que possibilitam monitorar as queimadas ocorridas no nosso planeta. Atualmente, análises derivadas de sistemas de informações geográficas e sensoriamento remoto propiciam uma ampla visão sobre distribuição temporal, espacial e padrões das queimadas em diferentes escalas, oferecendo novas oportunidades para observar as interações entre o fogo e as relações sócio-ambientais e culturais.

A detecção de fogos ativos e um banco de dados histórico são fundamentais para projetos operacionais governamentais de sistemas de alertas a incêndios durante os períodos de baixa umidade relativa do ar (Phulpin et al., 2002; Xaud et al., 2003; Deep & Paula, 2004; Pereira et al., 2007). Além do monitoramento diário, essas informações também podem ser utilizadas em sistema de fiscalização e prevenção.

Em Minas Gerais, os focos de calor são monitorados dentro e no entorno das unidades de conservação e repassadas aos seus responsáveis, que verificam a se há ou não a ocorrência de incêndios florestais (Pereira et al., 2007). Também se utilizam os históricos de focos para a determinação de áreas críticas.

Diante desse cenário, torna-se importante promover trabalhos de validação no âmbito da utilização desses produtos e que satisfaçam à comunidade científica quanto ao aperfeiçoamento tecnológico do monitoramento das queimadas (Morisete & Khorram, 2000).

Este trabalho foi realizado com o objetivo geral de validar o sistema de monitoramento por focos de calor capaz de responder às seguintes questões:

- Do total de queimadas em uma determinada área, quantas são detectadas pelo sistema de monitoramento orbital?

- O tamanho das queimadas influencia a detecção?
- Quais os possíveis erros de comissão (falsos alarmes?)
- Qual o erro de localização em relação às cicatrizes de queimadas?

Os objetivos específicos foram:

- 1) analisar queimadas detectadas pelo sistema de monitoramento orbital e caracterizar esses casos quanto à classe de tamanho;
- 2) identificar os possíveis falsos alarmes na detecção das queimadas (erros de comissão);
- 3) analisar o grau de incerteza dos focos de calor quanto à sua localização.

4 MATERIAIS

4.1 Área de estudo

A área escolhida para este estudo está localizada na região do norte do estado de Minas Gerais, a leste do rio São Francisco, abrangendo os municípios de Januária, Bonito de Minas, Chapada Gaúcha, Cônego Marinho e Urucuia. É considerada uma área de transição entre os biomas da Caatinga e Cerrado, com predominância do Cerrado e suas variações (IGA, 2006).

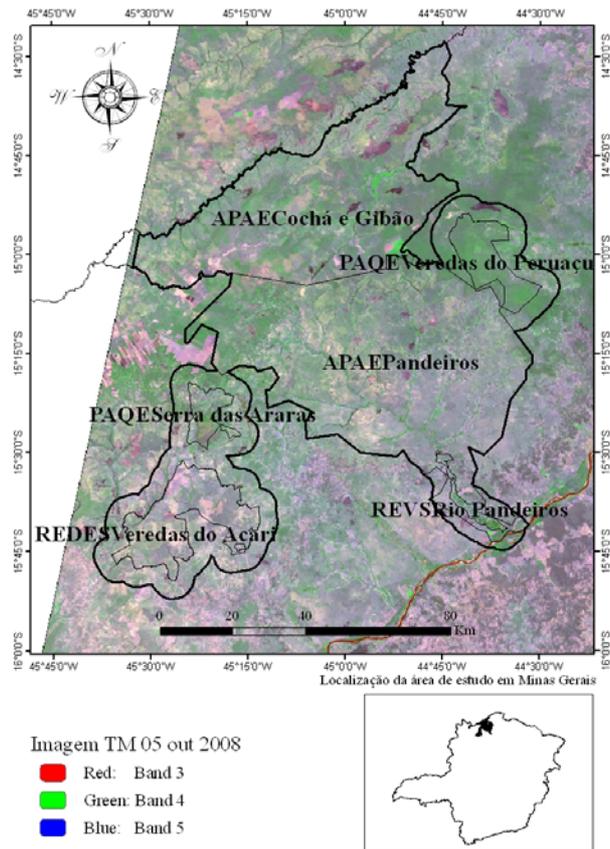


FIGURA 18 Área de estudo e delimitação das seis unidades de conservação no norte do estado de Minas Gerais.

Para a escolha da área, consideraram-se a grande incidência de focos de calor nos últimos anos e a necessidade de proteção devido à sua alta relevância ecológica. Sendo assim, a área de estudo contempla seis unidades de conservação estaduais, sendo uma reserva de desenvolvimento sustentável (REDES), um refúgio da vida silvestre (REVS), dois parques (PQE) com uma zona de amortecimento de 5 km e duas áreas de proteção ambiental (APA), perfazendo um total de 9.369 km² (Tabela 1).

TABELA 1 Unidades de conservação abrangidas, suas áreas e categorias.

Unidade de conservação	Área da UC (ha)	Categoria da UC
Serra das Araras	11.137	Parque estadual
Veredas do Peruaçu	31.225	Parque estadual
Rio Pandeiros	6.102	Refúgio da vida silvestre estadual
Veredas do Acari	60.975	Reserva de desenvolvimento sustentável
Pandeiros	393.060	Área de proteção ambiental
Gibão e Cochá	296.422	Área de proteção ambiental
Área total com zona de amortecimento	936.901	-

O clima da região é classificado, segundo Koeppen (1936), como tropical chuvoso - Awiq, com a temperatura de todos os meses superior a 18°C, seca acentuada e chuva anual periódica superior a 750 mm.

Os incêndios nesta região são recorrentes, devido às características climáticas, à baixa umidade relativa da vegetação e por questões culturais de uso da terra, como, por exemplo, a prática de fogo para manejo da pastagem.

A vegetação nativa é composta por fisionomias do bioma cerrado, com predominância do cerrado stricto sensu. Nas beiras dos rios, são encontradas as

veredas, considerada o oásis do sertão. Esta fisionomia contém solos ricos em matéria orgânica e é composta predominantemente de buritis (uma espécie de palmeira). Nesse tipo de ambiente são comuns incêndios subterrâneos que, em alguns casos, demoram dias para serem detectados. Outra característica desse tipo de ambiente é a baixa resiliência ao fogo, ou seja, tem dificuldades em restabelecer o equilíbrio após um incêndio, ao contrário das fisionomias campo, campo cerrado e cerrado, também existentes na área.

Neste mosaico de unidades de conservação encontra-se a sub-base de combate a incêndios do Instituto Estadual de Florestas (IEF), localizada no município de Januária, onde é realizado o monitoramento dos focos de calor da região. São verificados diariamente os focos e as coordenadas repassadas aos responsáveis pelas unidades (Pereira et al., 2007). A área tem grande extensão territorial e com trechos de difícil acesso, o que justifica a utilização do monitoramento orbital para a detecção das queimadas.

A base é equipada com materiais de combate a incêndios e conta também com brigadistas capacitados no combate a incêndios florestais. No período de seca, são contratados aviões agrícolas, que auxiliam no combate com o lançamento de água. Toda a logística é acionada após a detecção do incêndio e, quanto menor o tempo de resposta, menor será a extensão territorial atingida e menos gastos despendidos para o combate.

4.2 Base de dados

4.2.1 Focos de calor

Os focos de calor são detectados a partir de metodologias que utilizam imagens de satélites meteorológicos de órbita polares da série NOAA, EOS (TERRA/AQUA) e satélites de órbita geoestacionária GOES E METEOSAT. Os focos utilizados foram obtidos do banco de dados de queimadas do INPE (<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas>). As características de resolução

espacial, temporal e canal termal dos satélites utilizados nesse trabalho são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 Características orbitais, espaciais*, temporais e canal termal dos satélites utilizados no monitoramento das queimadas.

Satélites	Órbita	Resolução espacial* (km)	Frequência temporal	Canal termal
AQUA/TERRA	Polar	1 x 1	2x2 / dia	20 (3,66 - 3,84 μ m)
NOAAs	Polar	1,1 x 1,1	2x2 / dia	3 (3,55 - 3,93 μ m)
GOES	Geoestacionária	4	96x dia	2 (3,8 - 4 μ m)
METEOSAT	Geoestacionária	4	96x dia	4 (3,48 - 4,36 μ m)

*resolução espacial no canal termal no nadir da imagem.

A data dos focos compreende o período de 03/09/2008 a 05/10/2008. O *download* dos dados foi realizado no dia 01/02/2009, já em formato *shapefile*, compatível com a maioria dos softwares de sistema de informações geográficas.

4.2.2 Imagens LandSat

As imagens utilizadas para mapear as queimadas são provenientes do sensor TM, a bordo do satélite LandSat5, que tem ampla utilidade no monitoramento da cobertura vegetal nativa (Liu, 2007; Ponzoni & Shimabukuro, 2007). Elas foram adquiridas no site do INPE, por meio do catálogo de Imagens LandSat5 TM (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). No total, foram duas imagens, uma de setembro e outra de outubro. A órbita ponto e a data das imagens utilizadas por este trabalho são mostradas na Tabela 3.

TABELA 3 Órbita ponto e data das imagens TM utilizadas nesse trabalho.

Órbita ponto	Data das imagens
219/70	03/09/2008
219/71	03/09/2008
219/70	05/10/2008
219/71	05/10/2008

Para a escolha das datas, consideraram-se a época crítica de incêndios na região e a disponibilidade de imagens sem nuvens.

Para o registro, utilizaram-se, como referência, as imagens do projeto *Geocover*TM, que consiste em uma parceria entre a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e a Universidade de Maryland, onde são produzidas conjuntos de imagens LandSat ortorretificadas, utilizadas como base para correções geométricas (Carvalho & Scolforo, 2006). Essas imagens foram convertidas para parâmetros cartográficos da América do Sul, servindo de referência para o registro das imagens utilizadas neste trabalho.

4.2.3 Dados cartográficos

Os limites cartográficos das unidades de conservação deste estudo foram obtidos na base de dados do Instituto Estadual de Florestas do estado de Minas Gerais. Para delimitar da zona de amortecimento, foi realizada uma análise de “buffer” que gerou um polígono equidistante 5 km ao longo das unidades de conservação, com exceção das APAs categoria de uso sustentável, que não têm zona de amortecimento (Brasil, 2000).

5 METODOLOGIA

5.1 Processamento das Imagens

O mapeamento das queimadas foi realizado com base nas seguintes etapas: pré-processamento das imagens, segmentação semiautomática, refinamento e vetorização (Gato et al., 2001).

O pré-processamento foi realizado em quatro fases: 1) registro 2) mosaico 3) índice de vegetação e 4) imagem diferença.

Foram coletados dez pontos de controle em cada imagem com a raiz do erro médio quadrático, ou RMSE, menor que um pixel. As correções geométricas foram feitas por meio do sistema de equações polinomiais de primeiro grau baseado nesses pontos. Após a correção geométrica, todas as imagens passaram a ter o mesmo sistema de coordenadas das imagens referência e, então, foram feitos dois mosaicos das imagens que cobre a área de estudo com um intervalo temporal de 32 dias.

5.2 Cálculo do índice de vegetação e da imagem diferença

O índice utilizado foi o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) por ser amplamente utilizado na cartografia de áreas queimadas (Bastarrika & Chuvieco, 2006), na avaliação sazonal da vegetação (Ponzoni & Shimabukuro, 2007) e devido à sua simplicidade computacional (Carvalho & Scolforo, 2006).

Este índice é uma normalização da vegetação calculada por meio da razão entre a refletância do infravermelho próximo menos a refletância do infravermelho e a refletância do infravermelho próximo mais a refletância do infravermelho, resultando um intervalo de -1 a 1 (Rouse et al., 1973). É calculado por meio da seguinte fórmula:

$$NDVI = (NIR - VIS)/(NIR + VIS)$$

em que

NDVI= Índice de normalização da diferença da vegetação.

NIR= refletância no infravermelho próximo.

VIS = refletância no infravermelho.

Comparando-se as imagens NDVI antes e depois, observa-se que onde ocorreram mudanças na cobertura vegetal, os pixels têm alterações nos seus valores de NDVI.

A imagem diferença é produto da subtração entre imagens NDVI de datas distintas. Pela subtração, observa-se que os pixels que não ocorreram mudança terão um valor igual a 0 (zero). Onde ocorreu remoção da vegetação, pixels terão seus valores próximos de 1 (um) e, com valores próximos de -1 (menos um), representa um crescimento da vegetação durante o intervalo observado (Carvalho & Scolforo, 2008).

5.3 Segmentação semiautomática e vetorização

A segmentação das queimadas foi realizada de forma semiautomática, aplicando-se, na imagem diferença, o algoritmo crescimento de regiões. Este algoritmo avalia a similaridade das amostras coletadas pelo usuário em relação aos pixels vizinhos, segmentando aqueles com brilho similar (Gato et al., 2001).

A classificação semiautomática é caracterizada pela interação entre o usuário no processo de classificação. Neste estudo, as amostras eram coletadas pelo usuário, que aplicava o algoritmo na imagem diferença.

Após a classificação semiautomática, os dados foram editados visando corrigir possíveis erros por meio da interpretação visual. As queimadas são facilmente interpretadas devido à sua cor e textura, principalmente quando se dispõe de imagens antes do incêndio, o que facilita a correção (Bastarrika & Chuvieco, 2006).

5.4 Caracterização das queimadas por classes de tamanho

As cicatrizes de queimadas foram divididas em classes de tamanho para explorar melhor os resultados. As classes de tamanho de queimadas são abordadas em alguns trabalhos (Ramsey & Higgins, 1981; Lima & Soares, 2002; Medeiros & Fiedler, 2003), no entanto, são adequadas com a realidade das áreas analisadas.

Procurou-se comprovar a hipótese de que quanto menor a queimada, menos chances ela tem de ser detectada, devido à baixa resolução espacial dos sensores utilizados para este fim.

Foram definidas quatro classes de tamanho, conforme Tabela 4.

TABELA 4 Classes de tamanho das queimadas.

Classe I	0 a 10ha
Classe II	10,1 a 100ha
Classe III	100 a 1000ha
Classe IV	>1000ha

5.5 Validação dos focos de calor

Os dados de focos de calor foram analisados por meio da frequência na área de estudo durante no período desta análise. Estes foram representados com dados de frequência absoluta e frequência relativa (%).

Para considerar a queimada como detectada, ela deve ter pelo menos uma das características abaixo:

1. focos de calor dentro das cicatrizes de queimadas (Figura 8a);
2. focos somente nas proximidades da cicatriz das queimadas. (Figura 8b);
3. focos dentro das cicatrizes e nas proximidades (Figura 8c).

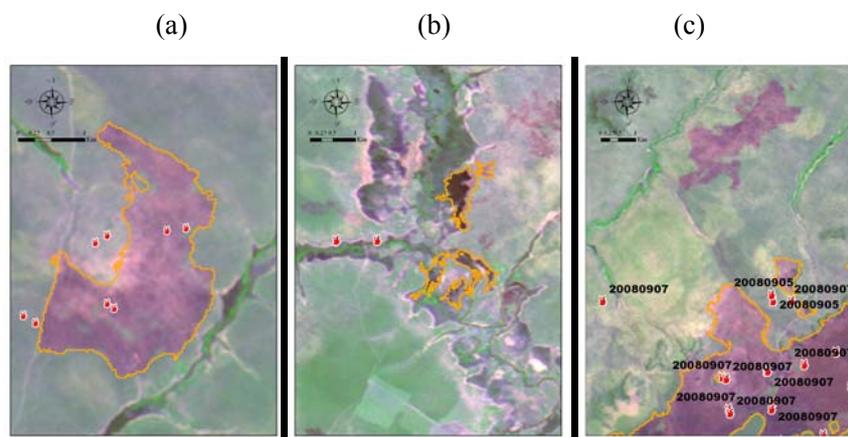


FIGURA 8 Recorte da imagem TM na composição colorida R-G-B 3-4-5. Focos de calor dentro ou muito próximo da queimada (a), focos de calor apenas nas proximidades (b) e focos de calor dentro e fora da cicatriz correspondente à mesma data (ano/mês/dia), conseqüentemente, pertence à mesma cicatriz de queimada (c).

Quando existe foco de calor dentro da cicatriz, não há dúvida que esta foi detectada; quando observados focos de calor apenas nas proximidades das cicatrizes, foi averiguada qual queimada realmente foi detectada. Nesses casos, as cicatrizes com distância de 1 km (tamanho dos pixels MODIS e NOAA) foram consideradas detectadas. Se não existiam cicatrizes a 1 km, considerou-se a cicatriz mais próxima deste foco como detectada.

Para as situações em que cicatrizes tinham focos de calor dentro e em suas proximidades, verificou-se se esses focos correspondem realmente à mesma cicatriz comparando-se a data dos focos próximos com a dos focos dentro das cicatrizes. Se fossem semelhantes, correspondiam à mesma queimada.

Os casos de detecção foram analisados por classes de tamanho com a finalidade de identificar os possíveis casos de correlação.

Para contextualizar melhor a detecção das queimadas por focos de calor, analisou-se quantas queimadas foram detectadas por classe de tamanho e também qual a área queimada detectada.

Os possíveis erros de comissão foram identificados verificando-se se os focos mais distantes das queimadas pertencem à mesma data dos focos presentes na mesma queimada. Quando houvesse distinção das datas e não houve queimadas em um raio de 9 km, esses focos eram apontados como possíveis erros de comissão.

5.6 Grau de incerteza da localização dos focos de calor

O grau de incerteza da localização dos focos de calor foi analisado por meio das classes de distância das queimadas, as quais são múltiplos “buffers” feitos a partir das cicatrizes de queimadas detectadas, com um incremento de 1 km até a distância de 9 km (não foram detectados focos a mais de 9 km).

Para essa análise, foram criadas dez classes de distância: a primeira dentro da cicatriz e as outras equidistantes do perímetro das cicatrizes com um incremento de 1 km a cada “buffer” (Figura 9a, b).

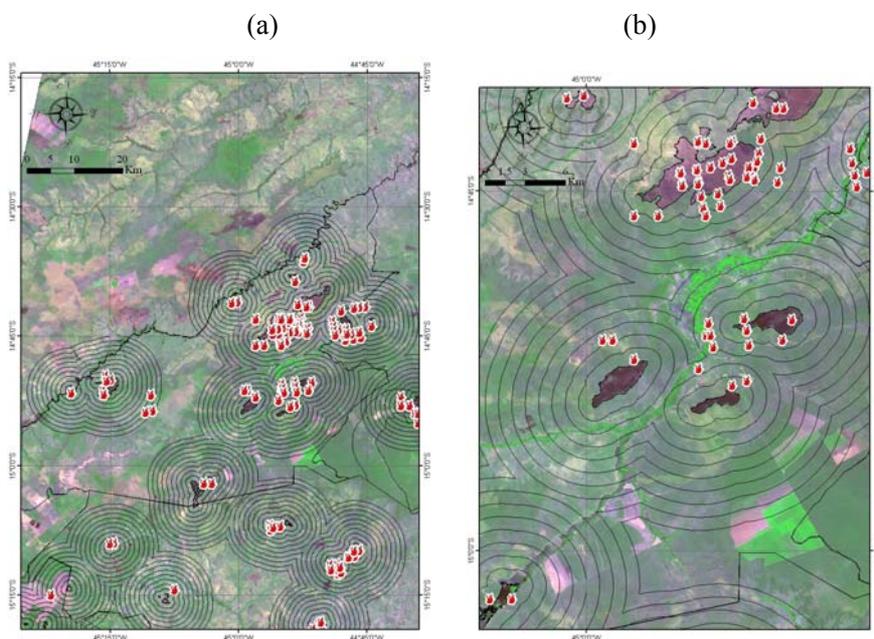


FIGURA 9 Recorte de uma imagem TM LandSat5 na composição colorida RGB 3-4-5 do dia 05/10/2008 na RGB 3-4-5, com as classes de distâncias e focos de calor, apresentado em uma escala maior (a) e em detalhe em uma escala menor (b).

Executou-se a junção espacial entre os focos e as classes de distância, o que possibilitou integrar essas informações. Portanto, os focos de calor ganharam um atributo denominado classe de distância, permitindo calcular a frequência de cada foco em cada classe.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Mapeamento das áreas queimadas e frequência por classes de tamanho

Foram mapeadas 194 cicatrizes de queimadas, que representam 19.538 hectares queimados. A menor queimada corresponde a uma área de 1 ha e o maior registro foi de 2.324 ha de área queimada. A área média das queimadas foi 101 ha.

Com relação ao tamanho das queimadas, a maior frequência está situada na classe II, seguida pelas queimadas da classe I; 84% das queimadas têm menos que 100 ha, o que representa uma dimensão menor que um pixel do sensor MODIS (1 x 1 km) na banda termal. A frequência dos polígonos e áreas queimadas por classe de tamanho é mostrada na Tabela 5.

TABELA 5 Queimadas mapeadas nas seis unidades de conservação, no período de 3/9/08 a 5/10/08 e separadas por classes de tamanho.

Classes de tamanho	Nº de polígonos	% de polígonos	Área queimada (ha)	% do total de área queimada
< 10 ha	75	39	348	2
10,1 a 100 ha	87	45	3204	16
100,1 a 1000 ha	29	14	10849	56
> 1000 ha	3	2	5136	26
Total	194	100	19538	100

Os incêndios de grandes dimensões (classe III e IV), apesar de ocorrerem em baixa frequência, representam 82% da área queimada. As queimadas menores que 100 ha ocorreram com maior frequência na área, no entanto, representam apenas 18% do total das áreas queimadas.

6.2 Validação dos focos de calor

Os focos de calor mais frequentes foram AQUA, MMODIS-01D, NOAA-15, TERRA e GOES-10, como mostrado na Tabela 6.

TABELA 6 Focos de calor detectados nas seis unidades de conservação do norte do estado de Minas Gerais, no período de 3/09/2008 e 5/10/2008.

FOCOS	Frequência absoluta	Frequência relativa (%)
NOAA 18	4	2
METEOSAT-02	5	3
NOAA 16	5	3
TERRA	15	8
GOES 10	15	8
NOAA 15	31	17
MMODIS-01D	44	24
AQUA	64	35
TOTAL	183	100

De posse desses resultados, pode-se inferir que o foco de calor que teve mais eficiência na detecção das queimadas foi o AQUA. No entanto, é importante frisar que, para o monitoramento das queimadas, não há um único satélite adequado. É necessária a utilização dos diferentes sensores disponíveis de forma integrada, além de uma variedade de técnicas de análise para obter resultados mais confiáveis nos estudos acerca deste tema (França & Ferreira, 2005).

O monitoramento por focos de calor apresentou um acerto de 29%. Os resultados por classes de tamanho podem ser observados na Tabela 7.

TABELA 7 Total de ocorrências de queimadas, nº de ocorrências detectadas por focos de calor, % de ocorrências detectadas por classe de tamanho e total.

Classes de tamanho de queimadas	Nº Cicatrizes	Cicatrizes com focos de calor	% de acerto
0-10 ha	75	11	15%
10,01 a 100 ha	87	24	28%
100,01 a 1000 ha	29	19	66%
> 1000 ha	3	3	100%
Total	194	57	29%

Das 32 queimadas maiores que 100 ha, 69% foram detectadas. As queimadas acima de 100 ha que não foram detectadas podem ter alguma relação com o tipo de vegetação. Por exemplo, a fisionomia vegetal veredas corresponde a áreas onde o fogo pode ser subterrâneo, o que dificulta ou impossibilita o monitoramento orbital.

As queimadas menores que 100 ha tiveram um acerto de apenas 22%. Esses resultados são reflexos da baixa resolução espacial dos sensores utilizados na detecção dos focos. Martinez et al. (2007), estudando a relação entre focos de calor e desflorestamento, também verificaram que o tamanho das queimadas influencia diretamente a detecção dos focos.

Ao analisarmos a detecção com relação à área queimada, pode-se verificar que o acerto total é de 73%, ou seja, dos 19.538 ha queimados, 14.293 ha tiveram a presença de focos de calor, conforme dados da Tabela 8.

TABELA 8 Soma das áreas queimadas, soma das áreas queimadas com a presença de focos de calor*, % das áreas queimadas detectadas por focos de calor por classe de tamanho e total.

Classes de tamanho de queimadas	Área queimada (ha)	Área queimada detectada (ha)	% de Acerto
0-10 ha	348	74	21%
10,01 a 100 ha	3.205	1.083	34%
100,01 a 1000 ha	10.849	7.843	72%
>1000 ha	5.136	5.136	100%
Total	19.538	14.293	73%

Pode-se comprovar a importância do monitoramento orbital por focos de calor, pois, apesar de a maioria das queimadas detectadas ter dimensões maiores que 100 ha, estes representam maiores extensões em área atingida e, conseqüentemente, maiores danos ambientais.

Quanto aos falsos alarmes, apenas dois focos AQUA foram encontrados à distância de 8 e 9 km suspeitos de possíveis erros de comissão, o que representa 1,09%.

6.3 Grau de incerteza da localização dos focos de calor

O grau de incerteza na localização dos focos de calor foi analisado por meio da frequência com que eles ocorrem nas classes de distância. Quanto mais frequentes os focos perto das cicatrizes, menor o grau de incerteza quanto à localização.

A análise foi feita por produto de foco de calor, avaliando a frequência com que esses eventos acontecem nas classes de distância (Tabela 9).

TABELA 9 Frequência dos focos de calor por classes de distância, frequência relativa total e frequência acumulada total.

Focos de calor	Classes de distância (km)						
	0	1	2	3	4	8	9
AQUA	18	33	9	2	0	1	1
GOES-10	3	5	2	2	3	0	0
METEOSAT-02	0	2	1	2	0	0	0
MMODIS-01D	28	16	0	0	0	0	0
NOAA-15	1	8	9	11	2	0	0
NOAA-16	0	1	1	0	0	2	1
NOAA-18	0	2	2	0	0	0	0
TERRA	3	6	4	1	1	0	0
TOTAL	53	73	28	18	6	3	2
%	29	40	15	10	3	2	1
% acumulada	29	69	84	94	97	99	100

Pôde-se averiguar que 69% dos focos estão à distância de até 1 km das cicatrizes das queimadas, ou seja, uma distância máxima de um pixel MODIS (AQUA/TERRA).

Os dados de porcentagem acumulada demonstram que 97% dos dados de focos de calor encontram-se, no máximo, a 4 km de distância das cicatrizes

de queimadas. Assim, avaliando-se esses dados relativos ao tamanho da unidade mínima de área na imagem, ou seja, o pixel. Isso representa quatro pixels dos sensores MODIS ou NOAA na (1 x 1 km) ou 1 pixel GOES (4 x 4 km) na banda termal. Portanto, diante das limitações técnicas devido à baixa resolução espacial desses sensores, pode-se considerar este um dado positivo.

Os focos de calor com menor grau de incerteza são provenientes do produto MMODIS-01D, no qual todos os focos advindos deste produto estão, no máximo, a 1 km de distância das cicatrizes de queimadas. Em seguida, os focos AQUA que tiveram a uma distância máxima de 3 km.

Nas Tabelas 10, 11, 12, 13 e 14 são apresentadas a frequência absoluta e relativa e a porcentagem acumulada dos focos de calor nas classes de distância dos cinco sensores que apresentaram focos mais frequentes.

TABELA 10 Frequência absoluta, relativa e acumulada do foco de calor AQUA por classes de distância em seis unidades de conservação no norte do estado de Minas Gerais.

AQUA			
Classes de distância	Focos de calor	%	% acumulada
0	18	29%	29%
1	33	53%	82%
2	9	15%	97%
3	2	3%	100%
Total	64	100%	-

TABELA 11 Frequência absoluta, relativa e acumulada do foco MMODIS-01D por classe de distância em seis unidades de conservação no norte do estado de Minas Gerais.

MMODIS-01			
Classes de distância	Focos de calor	%	% acumulada
0	28	64%	64%
1	16	36%	100%
Total	44	100%	-

TABELA 12 Frequência absoluta, relativa e acumulada dos focos TERRA por classe de distância em seis unidades de conservação no norte do estado de Minas Gerais.

TERRA			
Classes de distância	Focos de calor	%	% acumulada
0	3	20%	20%
1	6	40%	60%
2	4	26%	86%
3	1	7%	93%
4	1	7%	100%
Total	15	100%	-

TABELA 13 Frequência absoluta, relativa e acumulada dos focos NOAA-15 por classe de distância em seis unidades de conservação no norte do estado de Minas Gerais.

NOAA-15			
Classes de distância	Focos de calor	%	% acumulada
0	1	3%	3%
1	8	26%	29%
2	9	29%	58%
3	11	35%	94%
4	2	6%	100%
Total	31	100%	-

TABELA 14 Frequência absoluta, relativa e acumulada dos focos GOES-10 por classe de distância em seis unidades de conservação no norte do estado de Minas Gerais.

GOES-10			
Classes de distância	Focos de calor	%	% acumulada
0	3	20%	20%
1	5	34%	54%
2	2	13%	67%
3	2	13%	80%
4	3	20%	100%
Total	15	100%	-

7 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos por este trabalho demonstram que o monitoramento orbital das queimadas tem aplicações e resultados práticos satisfatórios no contexto da dimensão da área e da falta de outras opções de monitoramento.

O sistema de monitoramento detectou apenas 29% das queimadas analisadas. No entanto, essas ocorrências representam 73% do total de área atingida. Assim, grande parte da área queimada foi detectada pelo sistema de monitoramento.

O tamanho das queimadas influencia diretamente a detecção dos focos de calor, tendo apenas 22% das queimadas menores que 100 ha sido detectadas. Apesar de baixo, este número deve ser considerado um dado positivo, já que 35 queimadas com dimensões menores que um pixel MODIS ou NOAA foram detectadas. Um estudo mais aprofundado sobre as características em comum que levaram à detecção dessas queimadas pode auxiliar no aperfeiçoamento dessa tecnologia.

Dez queimadas maiores que 100 ha não foram detectadas. Sugere-se que sejam realizados trabalhos que possam averiguar as possíveis causas desses casos de omissão. Analisar as imagens utilizadas na detecção dos focos neste período de tempo pode explicar porque elas não foram averiguadas.

Quanto aos erros de comissão, dos 182 focos analisados, apenas dois focos AQUA são suspeitos de falso alarme, suscitando uma investigação mais detalhada.

Apesar de imprecisos quanto à localização, ao considerarmos a menor unidade de grandeza da imagem que é o pixel, constatou-se que a maioria dos focos de calor está a uma distância máxima de 1 pixel MODIS e NOAA, ou seja, 1 km.

Quase a totalidade, ou seja, 94% dos focos, está a uma distância máxima de 4 km, o que representa um pixel GOES ou quatro pixels MODIS (AQUA/TERRA) e NOAA. Lembrando ainda que essas dimensões correspondem a pixels que se encontram no nadir e que, na borda das imagens, as distorções chegam a quatro vezes essas dimensões. Portanto, diante das limitações técnicas de resolução espacial, esses resultados podem ser considerados satisfatórios.

Os focos de calor com maior precisão são provenientes do produto MMODIS-01D e, em seguida, o AQUA. Assim, quando a base de monitoramento do IEF for repassar as coordenadas dos focos de calor aos responsáveis, sugere-se que se priorizem as coordenadas advindas desses produtos.

Trabalhos que propiciam o avanço tecnológico do monitoramento orbital das queimadas devem ser incentivados, pois, além de propiciar um sistema de alerta a este sinistro, o armazenamento dessas informações em um banco de dados é de extrema importância nos contextos gerenciais, operacionais e científicos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASTARRIKA, A. Y.; CHUVIECO, E. Cartografía del área quemada mediante crecimiento de regiones: aplicación en entornos mediterráneos con imágenes TM y ETM+. **GeoFocus**, Jacupiranga, n. 6, p. 182-204, out. 2006.

BRASIL. **Lei nº 9.985**, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Brasília, 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm>. Acesso em: 10 mar. 2009.

CARVALHO, L. M. T.; SCOLFORO, J. R. S. **Inventário florestal de Minas Gerais**: monitoramento da flora nativa 2005-2007. Lavras: UFLA, 2008. 318 p.

CARVALHO, L. M. T.; SCOLFORO, J. R. S. **Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais**. Lavras: UFLA, 2006. 288 p.

DEEP, F.; PAULA, E. V. FIRESIG - sistema de suporte a tomada de decisão para o combate a incêndios no Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 2, p. 157-162, maio/ago. 2004.

FRANÇA, D. A.; FERREIRA, N. J. Considerações sobre o uso de satélites na detecção e avaliação de queimadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3017-3023.

GATO, H. E. R.; IMAI, N. N.; TOMMASELLI, A. M. G. Uma abordagem semi-automática para extração de feições cartográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 53, p. 16-28, dez. 2001.

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIA APLICADA. **Áreas de proteção ambiental no estado de Minas Gerais**: demarcação e estudos para o pré-zoneamento ecológico. Belo Horizonte: APA Bacia do Rio Pandeiros, 2006. 271 p.

KÖPPEN, W. **Das geographische system der klimate**. Berlin: Handbuch der Klimatologie, 1936. 240 p.

LIMA, G. S.; SOARES, R. V. Avaliação da eficiência de combate aos incêndios florestais no Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 22, n. 1/2, p. 25-38, jul. 2002.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2007. 908 p.

MARTINEZ, L. L.; FIEDLER, N. C.; LUCATELLI, G. J. Análise das relações entre desflorestamentos e focos de calor: estudo de caso nos municípios de Altamira e São Félix do Xingu, no estado do Pará. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 695-702, jul./ago. 2007.

MEDEIROS, M. B.; FIEDLER, N. C. Incêndios florestais no parque da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 157-168, 2003.

MORISSETTE, J. T.; KHORRAM, S. Accuracy assessment curves for satellite-based change detection. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, v. 66, n. 7, p. 876-880, July 2000.

PEREIRA, A. A.; PEREIRA, L. C.; VALADARES, R. Monitoramento dos incêndios florestais no estado de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 4535-4540.

PHULPIN, T.; LAVENU, F.; BELLAN, M. F.; MOUGENOT, B.; BLASCO, F. Using SPOT-4 HRVIR and vegetation sensors to assess impact of tropical forest fires in Roraima, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 23, n. 10, p. 1943-1966, Oct. 2002.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. v. 1, 135 p.

RAMSEY, G. S.; HIGGINS, D. G. **Canadian forest fire statistic**. Ontario: Canadian Forestry Service, 1981. 315 p. (Information Report, 71).

ROUSE, J. W.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: NASA ERTS SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. **Proceedings...** Washington: NASA, 1973. p. 309.

XAUD, M. R.; SILVA, G. F. N.; XAUD, H. A. M.; BARBOSA, R. J.; ESBELL, D.; COSTA, V. P. Monitoramento de queimadas e incêndios florestais em Roraima: informações orbitais e locais subsidiando tomadas de decisão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 533-534.