

ELIANA ELIZABET DOS SANTOS

**USO DE GEOTECNOLOGIA NA DETECÇÃO E
ESPACIALIZAÇÃO DE INCÊNDIOS E QUEIMADAS NO
ESTADO DE MINAS GERAIS.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2015

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

Santos, Eliana Elizabet dos, 1988-
S237u Uso de geotecnologias na detecção e espacialização de
2015 incêndios e queimadas no Estado de Minas Gerais. / Eliana
 Elizabet dos Santos. – Viçosa, MG, 2015.
 x, 60f.: il. (algumas color.).

Inclui anexo.

Orientador: Elpídio Inácio Fernandes Filho.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Solos, 2015.

Inclui bibliografia.

1. Queimada. 2. Focos de Calor. 3. Cicatrizes de
queimadas. 4. Satélites artificiais. 5. Sensoriamento remoto.
I. Fernandes Filho, Elpídio Inácio, 1963-. II. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de
Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas. III. Título.


CDD 22. ed. 634.9618

ELIANA ELIZABET DOS SANTOS

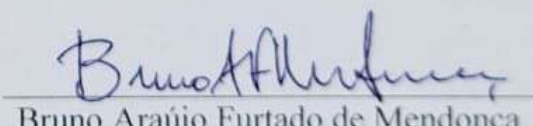
USO DE GEOTECNOLOGIAS NA DETECÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DE
INCÊNDIOS E QUEIMADAS NO ESTADO DE MINAS GERAIS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

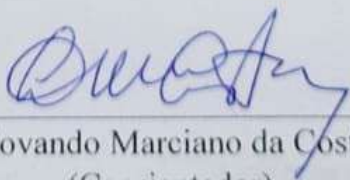
APROVADA: 26 de janeiro de 2015.



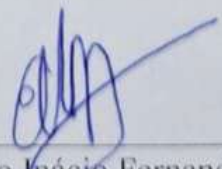
Márcio Rocha Francelino



Bruno Araújo Furtado de Mendonça



Liovando Marciano da Costa
(Coorientador)



Elpídio Inácio Fernandes Filho
(Orientador)

*“A ciência nunca resolve um problema
sem criar pelo menos outros dez”
(George Bernard Shaw)*

À minha família e amigos, dedico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa por proporcionar toda estrutura e condições para realização desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo concedimento da bolsa de Mestrado.

Ao professor Elpídio por todo conhecimento, pela paciência e principalmente pela amizade nestes longos anos, por ser um excelente professor e uma excelente pessoa a qual posso confiar e contar para além das quatro pilstras.

Ao professor Liovando pelas longas conversas e discussões esclarecedoras e sobretudo pelo carinho e respeito como pesquisador e sobre tudo como ser humano.

Ao professor Márcio Francelino pela amizade e disposição para ensinar.

As queridos amigos e parceiros do Labego pela amizade, prestatividade e trocas de conhecimento principalmente aos amigos: Lígia, Maola Faria, Pedro Almeida, Ariecha, Marcelo, Nayara, Martin, Victor Hugo, Pedro Christo, Bruno Mendonça e Bruno Neri.

Aos queridos amigos de vida Leiliane Bhering, Darlene, Meire Infantini, Bárbara, Beatriz, Alice, André, Ramon, Marcelo e todos que de certa forma me motivaram e acreditaram que eu pudesse concluir mais essa etapa.

À minha família pelo carinho e apoio, à minha mãe Eunice, aos meus irmãos Patrícia e Júlio, ao meu cunhado Rinaldo e minha querida sobrinha Thaís.

Em especial minha tia Nadir por todo carinho e apoio sem a qual seria impossível estar trilhando este caminho.

Às minhas tias Marta e Luzia ao meu tio Zé pelo carinho e incentivo.

BIOGRAFIA

ELIANA ELIZABET DOS SANTOS, filha de Eunice Elizabet Moreira Santos e João Manoel dos Santos (in memorian), nasceu no dia 12 de fevereiro de 1988 em Divinópolis, Minas Gerais.

Concluiu seu curso de graduação em Geografia (Licenciatura e Bacharelado) pela Universidade Federal de Viçosa em Janeiro de 2013. Deu início ao mestrado em Solos e Nutrição de Plantas no ano de 2013 pela mesma universidade.

Sumário

RESUMO.....	vi
ABSTRACT	viii
INTRODUÇÃO GERAL	1

GEOTECNOLOGIA PARA REFINAMENTO DE BASE DE DADOS DE FOCOS DE CALOR PARA O PERÍODO DE 2001 A 2013 NO ESTADO DE MINAS GERAIS

1. INTRODUÇÃO.....	4
2. OBJETIVOS.....	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1 Queimadas e incêndios.....	5
3.2 Causas de queimadas no ambiente.....	5
3.3 O geoprocessamento como ferramenta de detecção de queimadas.....	6
3.4 O sensor MODIS.....	8
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
4.1 Área de estudo.....	12
4.2 Exclusão de focos múltiplos.....	12
4.3 As análises das cicatrizes através do software Google Earth.....	14
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
5.1 As análises das cicatrizes.....	17
6. CONCLUSÕES	19
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO E VALIDAÇÃO FOCOS DE CALOR E SUA RELAÇÃO COM VARIÁVEIS DO MEIO FÍSICO NO ESTADO DE MINAS GERAIS.

1. INTRODUÇÃO.....	24
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1 Área de estudo.....	27
3.2 Análise sobre Rodovias Federais e Estaduais e distribuição por Bioma.....	27
3.3 Análise de proximidade com hidrografias.....	26

3.4 Índice de Densidade Kernel.....	28
3.5 Distribuição sobre classes de solos.....	28
3.6 Face de exposição do relevo.....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
5. CONCLUSÕES.....	38
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

AVALIAÇÃO DO TEMPO DE PERMANÊNCIA DE CICATRIZES DE QUEIMADAS NA PAISAGEM ATRAVÉS DE IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT 5 E RESOURCESAT-1 NO ESTADO DE MINAS GERAIS.

1. INTRODUÇÃO.....	41
2. OBJETIVOS.....	42
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	42
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	45
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
6. CONCLUSÕES.....	56
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
8. ANEXOS.....	58

RESUMO

SANTOS, Eliana Elizabet dos, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2015. **Uso de Geotecnologia na detecção e espacialização de incêndios e queimadas no Estado de Minas Gerais.** Orientador: Elpídio Inácio Fernandes Filho. Co-orientador: Liovando Marciano da Costa.

As queimadas são grandes modificadoras da paisagem além de alterar a dinâmica da biodiversidade, de propriedades da atmosfera e sobretudo dos solos e seus constituintes. O estudo do fogo, seja ele advindo de queimadas naturais ou antrópicas, é um objeto de estudo importante de diversas áreas do conhecimento, fundamental para entender como se dá sua espacialização, bem como entender suas causas e consequências no ambiente. Porém, na maioria das vezes, estes estudos são realizados pontualmente devido às dificuldades técnicas e financeiras de analisar extensas áreas. Neste sentido, o geoprocessamento torna-se uma ferramenta essencial quando o objeto de estudo são áreas mais abrangentes e/ou de difícil acesso. A análise de focos de calor obtidas de imagens de satélite podem ser um meio eficiente para conhecer a distribuição de queimadas sobre o espaço a fim de criar medidas de intervenção para amenizar o efeito do fogo sobre a fauna e a flora. Entretanto, a base de dados de focos de calor disponibilizada pelo INPE possui redundâncias em sua informação uma vez que uma mesma queimada pode ser identificada por diversos satélites. Quando se opta por analisar focos de calor captados por apenas um satélite pode haver subestimação de informação devido a sua resolução temporal quando se trata de satélites de órbita polar ou de limitação na captura de pequenas áreas queimadas causada pela baixa resolução espacial quando se trata de satélites de órbita geoestacionária. Além de amenizar as redundâncias de focos de calor disponibilizados pelo INPE, este trabalho teve como objetivo analisar a distribuição espacial de focos no estado de Minas Gerais para o período de 2001 a 2013 de acordo com variáveis do meio físico como altitude, solos, radiação solar, proximidade com rodovias e cursos hídricos avaliando também a densidade de focos no estado através do Índice de Densidade Kernel. Com o auxílio de imagens dos satélites Landsat 5, ResourceSat-1 e imagens do Google Earth além de avaliar o tempo de permanência das cicatrizes nos três biomas presentes no estado de Minas Gerais analisou-se também a eficiência dos satélites na captura de queimadas de diferentes extensões. Para eliminar a redundância de focos de calor para uma mesma cicatriz foi realizado processamentos no programa ArcGis 10.1 que eliminou cerca de 40% de focos que inicialmente somavam 439.113 focos para a série de 13 anos. Das cicatrizes analisadas através de imagens do

Google Earth foi constatado que os sensores Aqua e Terra foram mais eficientes na captura de focos em detrimento de outros sensores. Cicatrizes com tamanho inferior a 1 ha não são detectadas e o número de focos capturados pelos satélites é diretamente proporcional com o aumento do tamanho da queimada. A proximidade de cursos hídricos e rodovias em geral influenciam a concentração de focos de calor de forma que quando mais próximo maior a concentração devido principalmente a atuação humana. O tipo de solo influencia de forma sistemática a concentração de focos devido suas características de capacidade de armazenamento de água bem como a diferença de altitude. A radiação solar não se mostrou influenciável na concentração de focos enquanto os biomas possuem função característica nessa espacialização principalmente em razão da diferença climática entre eles. Através de imagens do satélite Landsat 5 e ResourceSat-1 sobre os biomas Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica foi analisado o tempo que a vegetação necessita para se reabilitar deixando de existir sobre ela características da combustão da vegetação anterior. Foram identificadas 19 cicatrizes no bioma Caatinga e na Mata Atlântica e 46 cicatrizes no Cerrado. Observou-se que na Caatinga o período de duração das cicatrizes é superior às dos demais biomas podendo alcançar 128 dias enquanto para o cerrado são necessários em média 87 dias e para a Mata Atlântica 73 fato que pode ser explicado devido a diferença na média de precipitação anual entre estes biomas. A presença de nuvens sobretudo no bioma Mata Atlântica dificultou a identificação e acompanhamento de cicatrizes além de alterar valores do NDVI da vegetação sobre as cicatrizes. A dificuldade para obtenção de imagens sem nebulosidade para uma mesma cena de meses consecutivos explica esta dificuldade.

ABSTRACT

SANTOS, Eliana Elizabet dos, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, january of 2015. **Use of Geotechnology in the detection and spatial distribution of fires in the state of Minas Gerais.** Adviser: Elpídio Inácio Fernandes Filho. Co-adviser: Liovando Marciano da Costa

Fire is great landscape modifier in addition to changing the dynamics of biodiversity, the properties of the atmosphere and especially the soil and its constituents. The fire study whether arising from natural or anthropogenic fires, is an important object of study in various areas of knowledge, critical to understanding how their spatial and understand its causes and consequences in the environment. However, most of these studies are sometimes performed occasionally due to technical and financial difficulties of analyzing large areas. In this sense, GIS becomes an essential tool when the object of study are broader areas and / or difficult to access. The heat and satellite images of outbreaks of analysis can be an efficient way to know the distribution of fires on the area in order to create intervention measures to mitigate the effects of fire on the fauna and flora. However, the database of hotspots provided by INPE for the entire Brazilian territory have redundancies in your information once burned the same can be identified by several satellites, and when it chooses to analyze hotspots raised by a single satellite can there underestimation of information due to its temporal resolution when it comes to limiting or polar orbit satellites to capture small burned areas caused by poor spatial resolution when it comes to geostationary satellites. Apart from reducing duplication of hotspots provided by INPE, this study aimed to analyze the spatial distribution of outbreaks in the state of Minas Gerais for the period 2001-2013 according to characteristics of the environment as altitude, solar radiation, proximity with roads and water courses also evaluating the foci of density in the state through the Kernel density Index. With the aid of satellite images Landsat 5, ResoueceSat-1 and Google Earth images and to evaluate the residence time of the scars of three biomes present in the state of Minas Gerais also analyzed the efficiency of satellites capture fires of different extensions. To eliminate redundant hot spots for the same scar was performed processing in ArcGIS 10.1 program that eliminated about 40% of outbreaks that initially totaled 439,113 focus for the series 13 years. The scars analyzed using Google Earth images revealed that the Aqua and Terra sensors were more efficient in capturing outbreaks over other sensors. Scar size less than 1 ha are not detected and the number of foci captured by the satellite is directly proportional with the increased size of the burned. The proximity of water courses and roads in general influence the concentration of hotspots so that when next largest concentration mainly due to human activity. The type of soil influences

systematically the concentration of outbreaks due its water storage capacity characteristics and the difference in altitude. Solar radiation was not influenced the concentration of outbreaks while biomes have characteristic function that spatial mainly due to the climate difference between them. Through the satellite, Landsat 5 images ResourceSat-1 on the Caatinga, Cerrado and Atlantic Forest was analyzed as long as the vegetation needs to rehabilitate cease to exist upon it features the combustion of previous vegetation. We identified 19 scars on biome Caatinga and Atlantic Forest and the Cerrado 46 scars. It was observed that in the Caatinga of scars duration is superior to the other biomes can reach 128 days while for the cerrado are needed on average 87 days and for the Atlantic Forest 73 fact that can be explained by the difference in mean precipitation annual between these biomes. The presence of clouds above the Atlantic Forest biome hindered the identification and monitoring of scars in addition to changing values of vegetation NDVI on the scars. The difficulty to obtain images without cloudiness to the same scene consecutive months explains this difficult.

INTRODUÇÃO GERAL

O estudo e a avaliação das consequências das queimadas no ambiente é fundamental para mitigar os impactos negativos sobre a fauna, a flora e sobre os solos e suas propriedades. As queimadas afetam diretamente a biomassa vegetal, influenciando na qualidade do ar com a emissão de gases e aos solos volatizando nutrientes, e mineralizando a matéria orgânica fazendo com que a longo prazo, o solo perca sua fertilidade natural atingindo diretamente o crescimento da vegetação.

Existem hoje diversas metodologias para avaliar a distribuição espacial de queimadas mas nenhuma delas se mostrou tão eficiente quanto a utilização de técnicas de geoprocessamento e sobretudo de sensoriamento remoto principalmente em áreas de difícil acesso ou regiões amplas que necessitam de análises mais abrangentes e detalhadas.

No Brasil, o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) é pioneiro no estudo de queimadas no território e conta com ampla base de dados de focos de calor e de imagens de satélite gratuitas que facilitam e estimulam trabalhos nessa temática. Porém, adquirir imagens que acompanham a evolução das cicatrizes no espaço e no tempo ainda é um desafio principalmente pela nebulosidade do período chuvoso que impossibilita a análise visual de cicatrizes na paisagem.

A redundância na detecção de focos de calor pelos satélites é outro problema encontrado na realização destes estudos. Uma mesma queimada pode ser detectada por diversos satélites ou obter mais de um foco de calor devido à fumaça ainda em temperaturas elevadas que são liberadas pelo fogo ou mesmo não captar a queimada devido a resolução temporal de alguns satélites de órbita polar.

Outro entrave quanto aos estudos de queimadas trata-se da omissão de focos de calor pelos satélites quando essas são de pequenas extensões levando a uma subestimação da área realmente queimada. Sendo assim, imagens de satélite de média resolução podem ser uma alternativa viável mas que necessita do conhecimento prévio da duração das cicatrizes no ambiente para que se possa realizar o acompanhamento do reestabelecimento da vegetação.

A fim de elucidar essas questões o presente trabalho avaliou e minimizou a redundância de focos de calor além de fazer diversas análises espaciais no estado de Minas Gerais utilizando imagens de satélites e atributos do meio físico. Para problematizar os temas de forma mais clara possível, este trabalho foi dividido em três artigos os quais são especificados a seguir:

CAPÍTULO 1 – “Geotecnologia para refinamento de base de dados de focos de calor para o período de 2001 a 2013 no Estado de Minas Gerais.” Esse capítulo teve como objeto geral analisar e refinar a base de dados de focos de calor no estado de Minas Gerais no período de 2001 a 2013 obtidos pelos satélites NOAA, GOES, AQUA, MOTEOSAT, ERS, TRMM cujos dados foram processados e distribuídos pelo INPE, através de ferramentas de geoprocessamento para posterior validação com imagens do Google Earth.

CAPÍTULO 2– “Análise da distribuição e validação de focos de calor e sua relação com variáveis do meio físico no Estado de Minas Gerais” Este capítulo teve como objetivo correlacionar dados de Focos de Calor do período de 2001 a 2013 disponibilizados pelo INPE com variáveis do meio físico do Estado de Minas Gerais sendo estas: proximidade com cursos d'água e rodovias; distribuição por bioma; relação com classes de solo; radiação solar, face de exposição do relevo, e a densidade de focos de calor detectados no estado de Minas Gerais,.

CAPÍTULO 3 – “Avaliação do tempo de permanência de cicatrizes de queimadas na paisagem através de imagens dos satélites Landsat 5 e ResourceSat-1 no Estado de Minas Gerais.” Este capítulo teve como objetivo analisar através de imagens dos satélites Landsat 5 e ResourceSat-1 a evolução e a duração de cicatrizes de queimadas nos biomas Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica bem como o reestabelecimento da vegetação através da variação nos índices de vegetação de áreas submetidas a queima.

GEOTECNOLOGIAS PARA REFINAMENTO DE BASE DE DADOS DE FOCOS DE CALOR PARA O PERÍODO DE 2001 A 2013 NO ESTADO DE MINAS GERAIS

RESUMO

A análise de focos de calor obtidos de imagens orbitais pode ser um dos meios mais eficiente para conhecer a distribuição de queimadas sobre o espaço a fim de criar medidas de intervenção para amenizar o efeito do fogo sobre a fauna e a flora. Visando o refinamento da base de dados de focos de calor disponibilizados pelo INPE, este trabalho avaliou a concentração e distribuição de focos de calor no estado de Minas Gerais no período de 2001 a 2013. Observou grande redundância de focos para uma mesma cicatriz e com isso foi realizado processamentos no programa ArcGis 10.1 que eliminou cerca de 40% dos focos. Das cicatrizes analisadas, foi constatado que os sensores Aqua e Terra foram mais eficientes na captura de focos em relação aos demais sensores. Cicatrizes com tamanho inferior a 1 ha não são detectadas e o número de focos capturados pelos satélites é diretamente proporcional ao tamanho da queimada. Uma vez que queimadas de pequenas extensões não são detectadas, o número de foco de calor pode ser subestimado sendo necessário a criação de metodologia de detecção de queimadas menores que aliados à base de dados do INPE garantem maior confiabilidade nos trabalhos científicos sobre distribuição de queimadas no território brasileiro.

Palavras- chave: Focos de calor; sensores de satélites; queimadas

ABSTRACT

The analysis of hotspots obtained from satellite images can be one of the most efficient means to know the distribution of fires on the area in order to create intervention measures to mitigate the effects of fire on the fauna and flora. In order to refine the basis of hotspots data provided by INPE, this study evaluated the concentration and distribution of hotspots in the state of Minas Gerais from 2001 to 2013 observed large redundancy foci for the same scar and thereby processing was performed in ArcGIS 10.1 program that eliminated about 40% of outbreaks. The scars analyzed, it was found that the Aqua and Terra sensors were more efficient in capturing foci compared to other sensors. Scars size less than 1 ha are not detected and the number of outbreaks captured by satellites is directly proportional to size of fire. Once burned small extensions are not detected, the number of heat focus can be underestimated and it is

necessary the creation of smaller fire detection methodology that combined with INPE database ensuring more reliable scientific studies on distribution of fires in Brazilian territory.

Key - words: Hot spots; Satellite sensors; fires

1. INTRODUÇÃO

O uso do fogo pelo homem data de épocas pré-histórica onde era utilizado para proteção, aquecimento e alimentação. A partir do domínio, a evolução do seu uso, ocorreu de forma exponencial. O uso na agricultura é uma das formas onde se expressa essa dominância e está ligada diretamente à limpeza do solo para o cultivo, técnica utilizada até os dias atuais sendo muito discutido quando a sua eficiência a longo prazo.

O fogo, seja ele advindo de queimadas ou incêndios, é objeto de estudo importante de diversas áreas do conhecimento, e sua espacialização é fundamental para entender suas causas, consequências e os fatores potencializadores de sua ocorrência. Hoje, várias formas de detecção de incêndios são utilizadas e estas estão relacionadas com as características do espaço como localização e área de abrangência.

No Brasil, o monitoramento de focos de calor através de imagens de satélite é hoje o meio mais eficiente de estudo e prevenção contra queimadas devido a sua extensão continental. As emissões de gases provenientes de queimadas possuem vários efeitos importantes no equilíbrio climático e biogeoquímico do planeta. A queima causa alterações nas propriedades do solo principalmente sobre a matéria orgânica nas camadas superficiais. Portanto, os dados sobre fogo precisam ser analisados a fim de que possam elucidar ao máximo questões relacionadas a sua ocorrência contribuindo para estudos de seus efeitos sobre a biodiversidade, o solo e seus constituintes.

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) disponibiliza, através do seu site, um banco de dados de focos de queimadas detectados a partir de sensores a bordo de satélites de sensoriamento remoto. Estes dados além do monitoramento da ocorrência de queimadas, podem ser usados para avaliar perdas econômicas e efeitos na fauna, flora no solo e na atmosfera, monitorar mudanças no uso e cobertura da terra e elaborar modelos atmosféricos e de impactos climáticos devidos à queima de biomassa vegetal. O sensoriamento remoto representa uma ferramenta particularmente útil para obter essas informações, principalmente em extensas áreas afetadas pelo fogo e/ou áreas de difícil acesso (Pereira *et al.*, 1997).

2. OBJETIVOS

Esse trabalho teve como objeto geral analisar e refinar a base de dados de focos de calor no estado de Minas Gerais no período de 2001 a 2013 obtidos pelos satélites NOAA, GOES, AQUA, MOTEOSAT, ERS e TRMM disponibilizado gratuitamente pelo INPE através do seu site.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Queimadas e incêndios

De acordo com o Sistema Estadual de Informações ambientais da Bahia (SEIA), as queimadas podem ser definidas como uma prática agropastoril ou florestal que utiliza o fogo de forma controlada para viabilizar a agricultura ou renovar as pastagens. A queimada deve ser feita sob determinadas condições ambientais que permitem que o fogo se mantenha confinado à área que será utilizada para a agricultura e pecuária.

Já os incêndios são caracterizados como fogo sem controle que incide sobre qualquer forma de vegetação, podendo tanto ser provocado pelo homem (intencional ou negligencia), quanto por causa natural.

A queimada é um processo de combustão de biomassa vegetal cuja sua evolução passa pelos estágios de ignição, chamas, brasas e extinção. A ignição depende do material a ser queimado e de fatores ambientais como temperatura, umidade relativa do ar e vento. Por ser um processo de baixo custo, destinado a limpar uma área, é bastante usada por pequenos agricultores, que são os responsáveis pelo maior número de focos de incêndio. Os agricultores têm como objetivos para a queimada, além de limpar a área de cultivo, renovar a pastagem ou facilitar a colheita da cana-de-açúcar (GASPAR, 2013).

3.2 Causas de queimadas no ambiente

A Figura 1 mostra as principais causas de incêndios florestais e queimadas registradas no Brasil de 2002 a 2006 de acordo com IBAMA (2007). Como mostra o gráfico a queima para a retirada de vegetação é a prática que mais contribui para as queimadas no território, sendo que este método de limpeza do solo para o cultivo advém de uma cultura milenar. O vandalismo, ou seja, o fogo criminoso aparece em sequência alertando para o quanto este tipo de ação interfere na quantidade de queimada no Brasil.

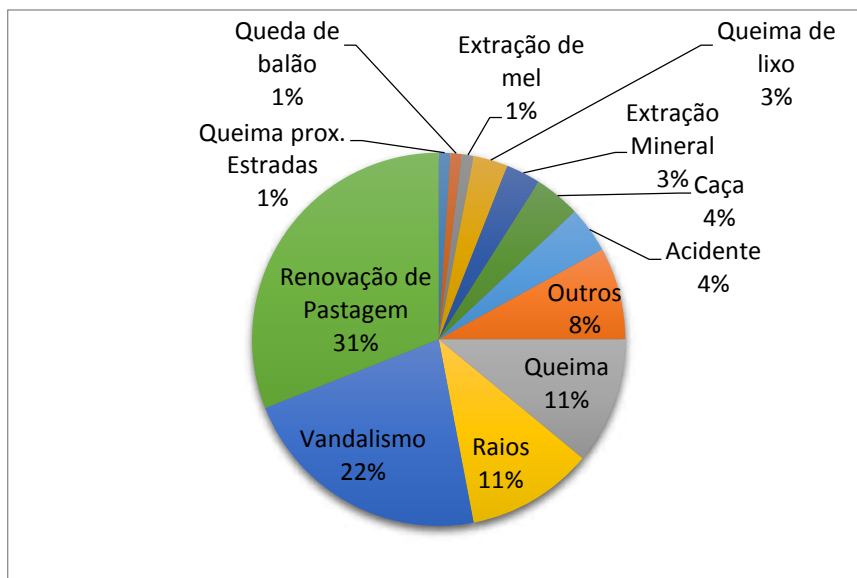


Figura 1: Causas de incêndio no Brasil. Fonte: IBAMA (2007).

3.3 O geoprocessamento como ferramenta de detecção de queimadas

O geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de tecnologias de coleta e tratamento de informações espaciais e de desenvolvimento e uso de sistemas que as utilizam (RODRIGUES 1990).

De acordo com Thomé (1998), o geoprocessamento utiliza de ferramentas computacionais para representar elementos da superfície da terra. O objetivo principal dessas ferramentas é, sobretudo, auxiliar na tomada de decisões quanto ao monitoramento, planejamento e administração do espaço geográfico. Nesse sentido, dentro desses sistemas computacionais, os Sistemas de Informação Geográfica – (SIG) são sistemas que auxiliam no desenvolvimento dos dados a serem trabalhados nos diferentes segmentos do geoprocessamento.

Segundo Rosa *et al.* (1996), a grande vantagem de utilizar os SIG's é a possibilidade da geração de um banco de dados que possibilita a cruzamento de diferentes fontes de informações que podem ou não ser analisados e trabalhados de forma simultânea. Essas informações acompanham a dinâmica e a evolução do espaço representando sua evolução temporal. A utilização de SIG's possibilita ainda a rapidez e a eficiência do diagnóstico do espaço contribuindo para uma rápida avaliação do mesmo substituindo meios menos eficientes, complexos e onerosos.

A utilização dos SIG's para o estudo de queimadas teve como precursor o programa *Project Fire Scan*, desenvolvido nos Estados Unidos no início da década de 1960 (1961-1962),

onde se utilizou primeiramente sensores aerotransportados. Segundo Hirsch (1968), 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.

De acordo com Liu (2007), a detecção de fogos via satélite é controlada por vários fatores, dentre eles, o ângulo de visada dos sensores, iluminação e propriedades da superfície e sub-superfície. Essas propriedades estão relacionadas como a heterogeneidade de relevos, emissividade dos alvos principalmente decorrente da data e horário de ocorrência da queimada, cobertura de vegetação, umidade, condutividade e capacidade calorífica do solo e mudanças atmosféricas como a presença de nuvens intensidade e direção de ventos.

Algumas características são imprescindíveis quanto à qualidade dos produtos derivados do sensoriamento remoto. De acordo com Guimarães (2000), a coleta e processamento dos dados apresentam constantes aperfeiçoamentos, com a descoberta de novas tecnologias. Um exemplo a ser considerado é a melhoria nas resoluções espacial, temporal, espectral e radiométrica, além da inclusão de novas faixas do espectro eletromagnético dos sensores. O sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) pode ser considerado como exemplo deste avanço principalmente quando se trata de sua alta resolução espectral que conta com 36 bandas, diferente dos demais sensores que contam em média com 10 bandas espectrais.

O estudo e a disponibilização de dados sobre focos de calor no Brasil, de acordo com Gontijo *et al.* (2011), são fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -INPE desde a década de 1980. Esses dados são provenientes de imagens de sensores a bordo de satélite de órbita polar ou geoestacionária. Ainda segundo o autor, podem ser considerados "focos de calor", os pontos geográficos com temperatura acima de 47 °C e área mínima de 30 x 30 m na superfície do solo. Com o avanço da tecnologia desenvolvida acerca de melhorias nos sensores e na manipulação de dados, as informações podem ser disponibilizadas operacionalmente aos usuários cerca de 20 minutos após as passagens dos satélites. Na tabela 1 tem-se a relação dos satélites utilizados na detecção de queimadas e suas respectivas características.

Tabela 1: Características dos sensores

Satélite	Sensor	Lançamento	Situação atual	Órbita	Altitude	Resolução espacial	Resolução temporal
NOAA-12	AVHRR	14/05/1991	INATIVO	Polar	833 km	1,1 km	Diária (no máximo)
NOAA-14	AVHRR	30/12/1994	ATIVO	Polar	870 km	1,1 km	Diária (no máximo)
NOAA-15	AVHRR/3	13/05/1998	ATIVO	Polar	833 km	1,1 km	Diária (no máximo)
TERRA	MODIS	18/12/1999	ATIVO	Polar	705 km	1 km	1 a 2 dias
GOES 10	VAS	25/04/ 1997	INTATIVO	Geoestacionário	36.000 km	4 km	15 minutos
GOES 12	VAS	23/07/2001	ATIVO	Geoestacionário	36.000 km	4 km	30 minutos
GOES 13	VAS	24/05/2006	ATIVO	Geoestacionário	36.000 km	4 km	30 minutos
AQUA	MODIS	04/05/2002	ATIVO	Polar	705 km	1 km	1 a 2 dias
ERS-2	ATSR-2	21/4/1995	ATIVO	Polar	785 km	1 km	3, 35 e 176 dias
TRMM	VIRS	11/1997	ATIVO	Geoestacionário	350 km	2,1km	3 horas
METEOSAT	SEVIRI	21/11/2005	ATIVO	Geoestacionário	36 000 km	3 km	15 minutos

Fonte: INPE (Adaptado)

3.4 O sensor MODIS

Como este sensor, é utilizado como referência pelo INPE na obtenção de dados diários referentes a queimadas, ele será especificado quanto às suas características e funcionalidades. De acordo com Justice (2002), o sensor MODIS é um dos cinco instrumentos a bordo do satélite TERRA (formalmente conhecido como EOS-AM-1). Este sensor foi projetado para satisfazer os requerimentos de três campos de estudos diferentes: atmosfera, oceano e terra, com bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para o conhecimento de diferentes necessidades observacionais e para oferecer uma cobertura global quase diariamente.

O Terra é um satélite de órbita polar, ou seja, desloca-se no sentido norte-sul ao contrário dos satélites geoestacionários que possuem órbita equatorial geoestacionária, mantendo uma

posição constante com relação à Terra. As especificações técnicas deste sensor estão dispostas na Tabela 2.

Tabela 2: Especificações do Sensor MODIS

Órbita	705 km, síncrona com o sol, polar; 10:30 a.m descendente; 1:30 p.m ascendente
Alcance Espectral	0.4- 14.4 μm
Cobertura Espectral	+ - 55°, 2330 km em fileira (“sacans” contínuos em nadir no equador)
Resolução Espacial	250 m (2 bandas), 500m (5 bandas), 100m (29 bandas) em nadir
Resolução Radiométrica	5% Absoluto, <3 μm ; 1% Absoluto, > μm ; 2% de refletância
Resolução Temporal	Diária, a norte de latitude 30% e a cada dois dias, para latitudes inferiores a 30°
Quantização	12 bits
Taxa de dados	6.2 Mbps (média), 10.8 Mbps (dias, para latitudes inferiores a 30°
Força	162.5 W (média para uma órbita), 168.5 W (pico)

Fonte: Latorre et al. (2003). Adaptado

Uma grande inovação do sensor MODIS, de acordo com Kaufman e Justice (1998), é a disponibilização de produtos elaborados a partir de seus dados brutos. Um dos produtos importante para a detecção de focos de queimadas é o MOD14, que tem como principal característica a captação dos alvos baseando na emissão destes corpos nos comprimentos de onda de 4 μm a 11 μm . Para fornecer o produto, é utilizado um algoritmo baseado em uma árvore de decisão, a partir das faixas espectrais e assim gera interpretações com vários níveis de confiança, conforme os ângulos de incidência da fonte e de observação do sensor.

As 36 bandas espectrais deste sensor estão descritas nas Tabelas 3. Observa-se que as primeiras 19 bandas estão posicionadas na região do espectro eletromagnético situado entre 405 nm a 2155 nm, de forma que as bandas 1-7 estão direcionadas para as aplicações terrestres; as bandas 8-16 para as observações oceânicas e as bandas 17-19 para as medições atmosféricas. As bandas 20-36 com exceção da banda 26 (1360-1390 nm), cobrem a porção termal do espectro (3660 nm a 14385 nm) e podem ser utilizadas por diferentes campos das ciências naturais como para detecção de focos de calor por exemplo (BARKER *et al.*, 1992).

Tabela 3: Especificação das bandas 1 a 19 do sensor MODIS

Uso Primário	Banda	Largura de Banda(nm)	Resolução Espacial
Superfície terrestre/nuvem	1	620-670	250
	2	841-875	250
Propriedades da superfície/nuvem	3	459-479	500
	4	545-565	500
	5	1230-1250	500
	6	1628-1652	500
	7	2105-2155	500
Cor dos Oceanos Fitoplâncton/Bioquímica	8	405-420	1000
	9	438-448	1000
	10	483-493	1000
	11	526-536	1000
	12	546-556	1000
	13	662-672	1000
	14	673-683	1000
	15	743-753	1000
	16	862-877	1000
Vapor d'água Atmosférico	17	890-920	1000
	18	931-941	1000
	19	915-965	1000
Temperatura nuvens/superfície	20	3660-3840	1000
	21	3929-3989	1000
	22	3929-3989	1000
	23	4020-4080	1000
Temperatura Atmosférica	24	4433-4498	1000
	25	4482-4549	1000
Cirrus	26	1360-1390	1000
Vapor d'água	27	6535-6895	1000
	28	7175-7475	1000
	29	8400-8700	1000
Ozônio	30	9580-9880	1000
Temperatura nuvens/superfície	31	1078-11280	1000
	32	1170-12270	1000
Altitude	33	13185-13485	1000
Topo da nuvem	34	13485-13785	1000
	35	13785-14085	1000
	36	14085-14385	1000

Fonte: Latorre et al. (2003)

Alguns trabalhos discutidos a seguir vêm sendo desenvolvidos sobre esta temática. Vasconcelos *et al.* (2005) utilizaram o banco de dados do INPE a fim de mostrar a evolução dos focos de calor para entender a dinâmica do uso da terra na região de fronteira da Amazônia Sul-Occidental. Estes autores avaliaram que houve uma significativa queda de focos de calor na região sendo essa de 36% para o ano de 2004. As possíveis explicações para essa queda,

segundo o estudo, seria a alteração na calibração de um ou mais satélites; a redução na eficiência da detecção de queimadas causada por um aumento na cobertura de nuvens, indicando que foi feito a análise de cobertura de nuvens e por último a redução do número de licenças de queima expedidas pelo IBAMA e pelo Instituto do Meio Ambiente do Acre (IMAC) apontando uma queda maior que 50% entre 2003 e 2004. Este estudo indica, sobretudo, a importância de analisar e utilizar o banco de dados de focos de calor devido sua possível incorporação em políticas públicas, tomadas de decisões e órgãos fiscalizadores e ao mesmo tempo da necessidade de estudos mais aprofundados que apontam essas discrepâncias na espacialização dos dados.

Em outro estudo, Justino *et al* (2002), comparam o número de focos de calor detectados pelo sensor AVHRR do satélite NOAA-12 com as condições meteorológicas no país entre 1997 a 1999. Os autores observaram que a maior incidência de queimadas foi em 1999 e a menor em 1997. Em 1997, a precipitação observada de junho a dezembro na região central do Brasil, foi acima da média, enquanto que em 1998 as anomalias de chuva foram negativas. Em 1999, os valores de precipitação, temperatura máxima do ar e umidade relativa foram próximos da média climatológica. Esta situação foi interpretada como indicação que a ocorrência de focos depende adicionalmente de aspectos antrópicos associados a padrões locais de uso do solo, de conversão da vegetação e de tecnologias agrícolas.

Piromal *et al.* (2008) avaliaram o produto MOD14 quanto à sua performance para detectar áreas queimadas no norte do Estado do Mato Grosso, considerando o período entre 21/06/2004 e 07/07/2004, comparando os resultados fornecidos pelo MOD14 e interpretações visuais de áreas queimadas obtidas de imagens TM/Landsat-5. A avaliação do desempenho do algoritmo de detecção de queimadas MOD14, foi realizado através da superposição dos mapas temáticos de áreas queimadas (discriminadas com as imagens TM/Landsat) e dos focos de calor (detectados com o algoritmo MOD14), mediante um procedimento conhecido como álgebra de mapas. A partir disto, foi gerado um novo mapa temático contendo pixels de correspondência entre imagens (acertos) e pixels de não-correspondência nas imagens (erros). Como resultado os autores chegaram a conclusão de que o produto MOD14 detectou 51,58% do total de áreas queimadas, (considerando as cicatrizes da imagem LANDSAT) cujo tamanho médio foi de 83,14 ha; os restantes 48,42% não detectados tinham tamanho médio de 38,74 ha. O produto MOD14 superestimou a quantidade de áreas queimadas ao classificar solos expostos, florestas e outros tipos de coberturas da terra como pixels “hot spots”; além disso, este produto não detecta áreas queimadas de dimensões pequenas (< 100 ha), proporcionando erros de classificação em grandes áreas de solos expostos.

Schroeder et al. (2008) validaram o produto de detecção de queimadas MODIS e GOES (MOD14 e WFABBA, respectivamente) caracterizando suas principais fontes de omissão e comissão de dados uma vez que grande parte da comunidade científica utiliza estes sensores em suas pesquisas. A área de estudo concentrou-se na Amazônia Brasileira e para realizar a validação foi utilizado imagens de 30 metros de resolução do satélite ASTER e Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM +). Os autores chegaram à conclusão que aproximadamente 75% e 95% dos focos de queimadas foram omitidos pelos sensores MOD14 e WFBBA, respectivamente. Os erros de comissão do MODIS14 e WFBBA foram aproximados e dependeram das condições da vegetação nas áreas imageadas. Os maiores erros de comissão (35%) se deram em áreas de desflorestamento que apresentaram maiores erros de comissão.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A área de estudo compreende o Estado de Minas Gerais, localizado na região sudeste do Brasil, com área de 586.522,122 km² e população de 19.597.330 de habitantes. Sobre o Estado predominam planaltos com escarpas e depressões na região central sendo que os biomas característicos são o Cerrado, a Caatinga e a Mata Atlântica. A principal atividade extrativista atualmente é o minério de ferro. A hidrografia principal é formada pelo Rio das Velhas, Rio Doce, Rio São Francisco, Rio Grande e Rio Paranaíba (IBGE 2010).

4.2 Exclusão de focos múltiplos

Ao analisar os focos de calor sobre imagens do software Google Earth, foi observado que uma mesma queimada era representada por mais de um foco oriundos de satélites diferentes ou duplicidade do mesmo satélite quando se tratava de cicatrizes maiores ou com presença de fumaça por longas áreas com temperatura compatível com a de captação dos sensores.

Para amenizar a multiplicidade dos focos foi realizada no programa ArcGis 10.1 diversos processamento de identificação, agrupamento e retirada de pontos repetidos. A Figura 2 representa as ferramentas utilizadas no processamento executado para a eliminação de pontos para tanto, foi utilizado a ferramenta Model Builder que permite a automatização do processo.

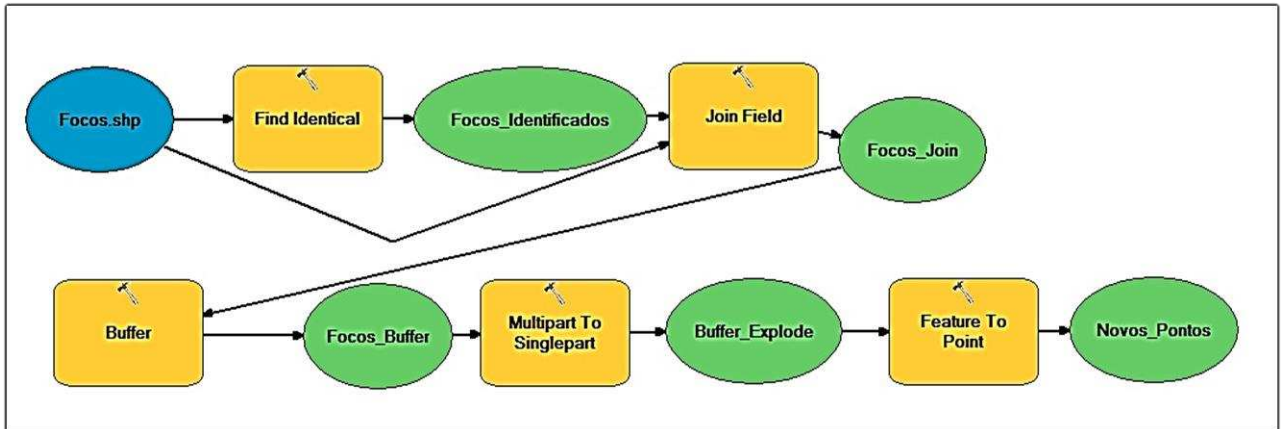


Figura 2: Fluxograma Model Builder

Na execução do modelo de exclusão de focos de calor, o arquivo de entrada são os focos de calor como indicado na Figura 2. Posteriormente, a ferramenta *Find Identical* identifica os focos com a mesma data e inclui sua tabela de atributos à tabela original do arquivos de focos de calor (Join Field). Buffer`s foram gerados a partir da resolução espacial de cada sensor previamente definida na tabela de atributos do arquivo focos. Sendo assim os polígonos de mesma data que estiverem no raio de alcance da resolução espacial do sensor são unidos em um mesmo polígono. A ferramenta *Multipart to Singlepart* teve a função de desmembrar as informações referentes a cada polígono na tabela de atributos. Por fim com a ferramenta *Feature to Point*, será criado um ponto central para cada polígono e assim gerado um novo arquivo vetorial que será os novos focos de calor sem duplicidade de informação.

Após obter novo arquivo vetorial com a exclusão de pontos repetidos, foi realizado a análise através do programa Excel de focos de calor ao longo dos meses com e sem a retirada de pontos duplicados.

4.3 Análise de cicatrizes através do software Google Earth

A fim de avaliar a capacidade dos sensores dos satélites estudados em detectar diferentes tamanhos de queimadas, foram analisadas 193 cicatrizes (número de cicatrizes encontrados visualmente na imagem), aleatoriamente selecionadas, identificadas visualmente no Google Earth de diversas partes do estado de Minas Gerais.

Após identificadas, as imagens que continham as cicatrizes elas foram delimitadas e calculadas suas áreas através da ferramenta *Calculate Geometry*. A data da imagem que continha a cicatriz foi importante para o estudo uma vez que o arquivo vetorial de pontos de focos de calor, foi sobreposto ao mapa de cicatrizes a fim de identificar a data de início da queimada através da data de captação do foco bem como os satélites que captaram a cicatriz presente na paisagem em forma de foco de calor.

Após calcular a área de cada cicatriz, estas foram divididas em seguintes intervalos de áreas (ha): 0,1-1; 1-5; 5-10; 10-20; 20-50; 50-100; 100-500; 500-2000 a fim de avaliar se há variação na captura do foco de calor em relação a abrangência da queimada.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra a distribuição de focos de calor obtidos no site do INPE para o estado de Minas Gerais no período de 2001 a 2013 somando 439.113 focos.

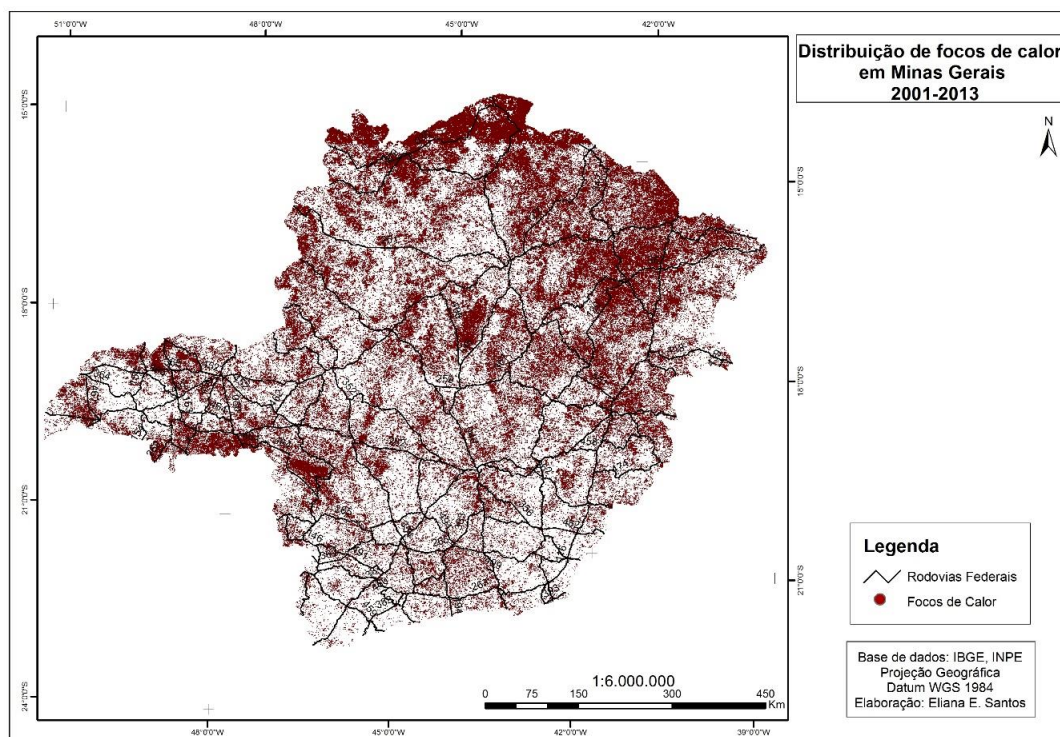


Figura 3: Distribuição dos focos de calor no período de 2001 a 2013.

Através do método de exclusão de focos múltiplos, houve a redução de 439.113 para 259.523 focos, representando 40,9% dos focos. Observa-se variações consideráveis de focos de calor ao longo dos anos (Figura 4) fato possivelmente explicado pela diferença de precipitação entre outros fatores.

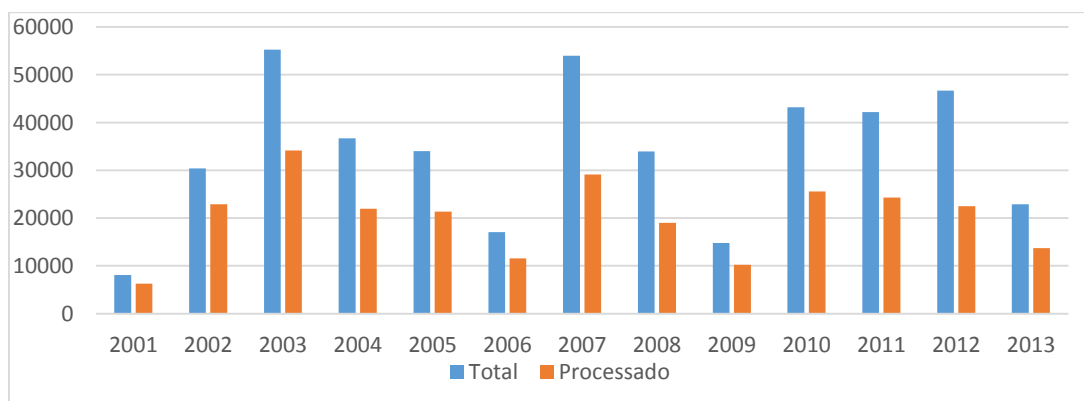


Figura 4: Distribuição de focos de calor no período estudo

A figura 5 representa um exemplo da retirada da redundância de dados. Neste caso inicialmente tinha-se seis focos de calor representando uma única queimada na cidade de Estrela do Indaiá com área de 1,14 km². Se trabalhados sem essa exclusão, os dados de espacialização de focos sobre diferentes variáveis poderiam ser super-estimados. No entanto, estes foram simplificados em um único ponto central representando uma única vez o de fato a queimada.

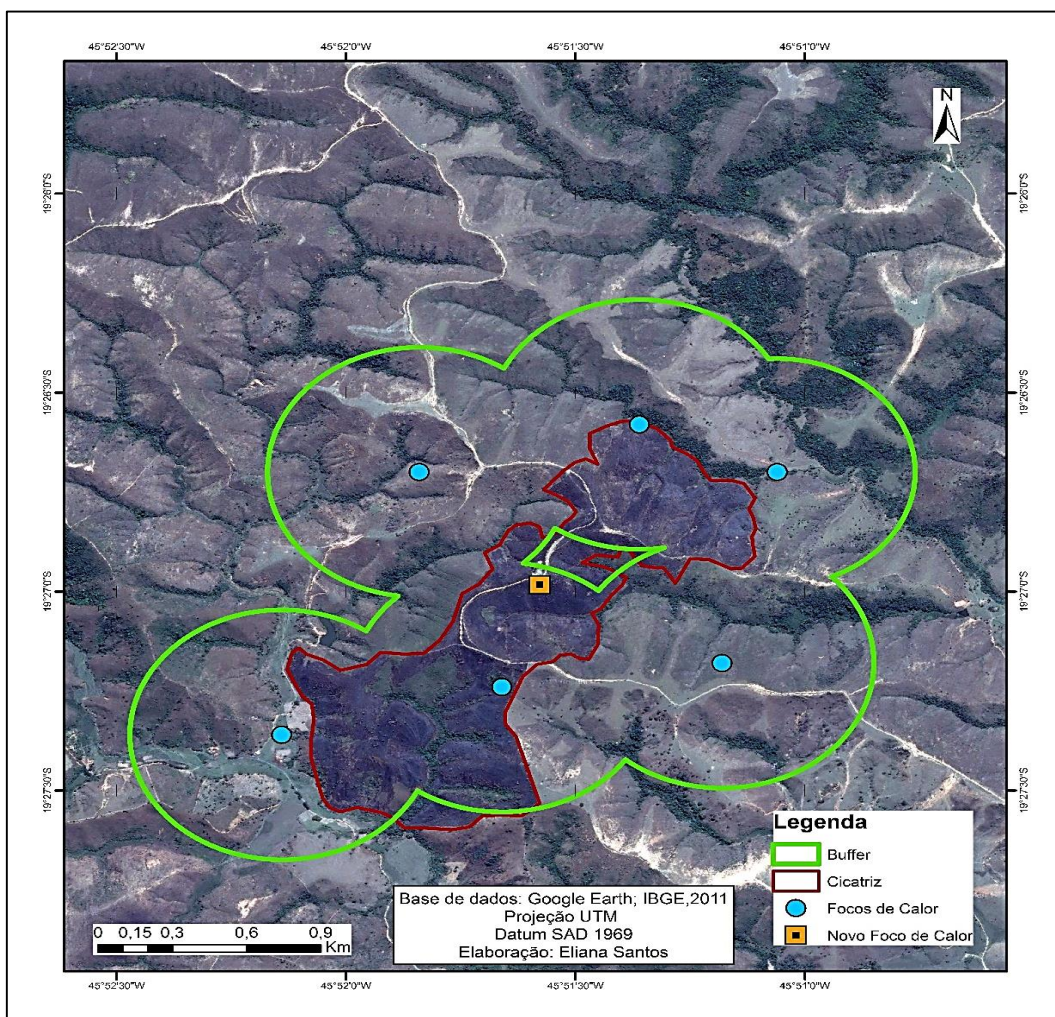


Figura 5: retirada de focos múltiplos

Na tabela abaixo tem-se as especificações dos pontos. Observa-se a presença de dois satélites, NOAA e Aqua com resolução espacial de 1,1 e 1 km, respectivamente. Através da criação de buffers de acordo com a resolução espacial de cada sensor, foi possível englobar aqueles próximos no raio de ação do sensor e assim transformá-los em um único ponto.

Tabela 4: Especificação dos pontos identificados

Focos	Satélite	Resolução Espacial do sensor	Área de Buffer do polígono	Data
1	NOAA	1,1	551	26-09-13
2	NOAA	1,1	551	26-09-13
3	AQUA	1	501	26-09-13
4	NOAA	1,1	551	26-09-13
5	NOAA	1,1	551	26-09-13
6	NOAA	1,1	551	26-09-13

5.1 Análises das cicatrizes

As cicatrizes selecionadas visualmente encontram-se no mapa abaixo, procurou-se espacializar sua ocorrência em toda extensão do Estado. Foram identificadas cicatrizes com até 2.000 ha e a tabela 6 mostra a porcentagem de cicatrizes que foram capturadas por satélite de acordo com seu tamanho.

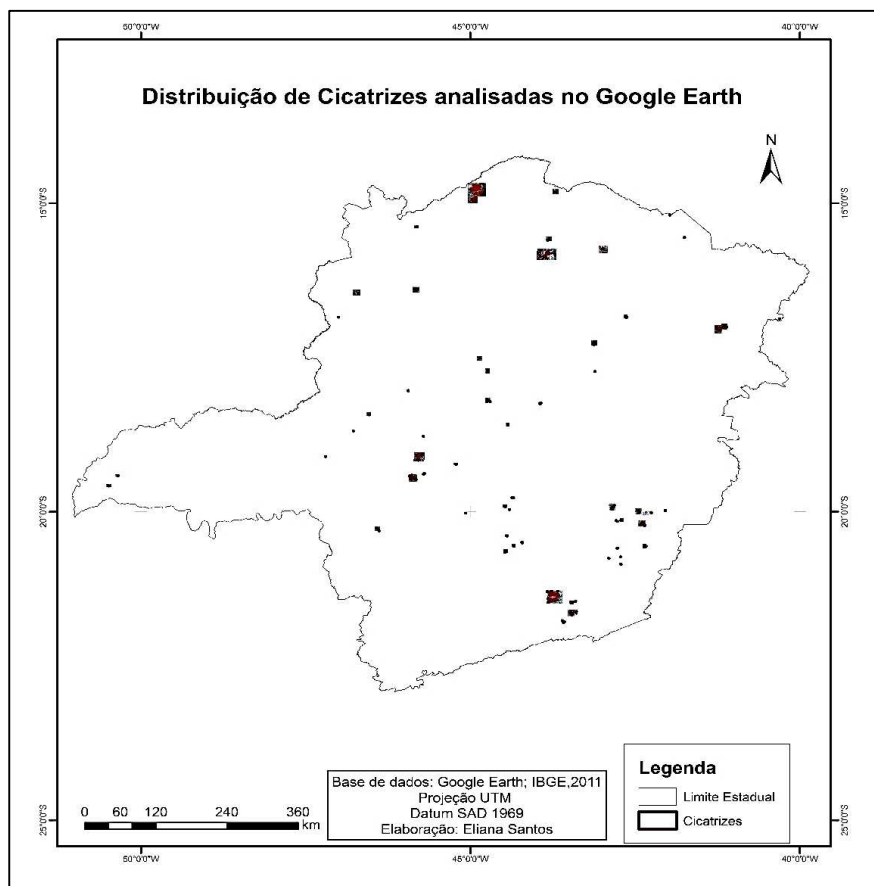


Figura 6: Distribuição de cicatrizes no Estado de Minas Gerais

Observa-se que nenhuma cicatriz com menos de 1 ha foi detectada e cicatrizes com tamanhos superiores a 500 ha foram detectados em sua totalidade. Como esperado há uma aumento na quantidade de queimadas detectadas a medida que aumenta sua área queimada e observa-se que ocorre subestimativa do número de queimadas que apresentam pequena área.

Tabela 5: Porcentagem de queimadas detectadas por área

Área (ha)	Número de queimadas	Queimadas detectadas	Queimadas detectadas (%)
0,1-1	17	0	0,00
1-5	49	8	16,33
5-10	33	6	18,18
10-20	29	9	31,03
20-50	28	13	46,43
50-100	17	8	47,06
100-500	16	15	93,75
500-2000	3	3	100

Estes resultados corroboram com estudos realizados por Gontijo et al. (2011) em que para uma cena Landsat apenas 35,8% das queimadas presentes na paisagem foram detectadas e possuíam dados de foco de calor, os autores afirmam ainda que cicatrizes pequenas foram omitidas embora não especificassem o número e que a maioria das cicatrizes capturadas possuíam grandes extensões..

Pereira, (2009) também verificou que apenas 15% de queimadas com até 10 ha foram detectadas por algum satélite e queimadas maiores que 1000 ha foram detectadas em sua totalidade.

A Tabela 6 mostra a porcentagem de cicatrizes identificadas como foco de calor para cada sensor. Observa-se que o satélite de referência do INPE, o Aqua identificou aproximadamente 60% das cicatrizes, afirmando sua eficiência diante dos demais, resultados condizente com o trabalho de Pereira, (2009) em que o Aqua detectou 64 das 183 cicatrizes analisadas no norte de Minas Gerais sendo este o mais eficiente para a área estudada. O ERS e o TRMM não capturaram nenhum foco, fato explicado possivelmente por sua resolução espacial e temporal inferior a dos demais satélites.

Tabela 6: Especificação das queimadas e/ou incêndios de acordo com o tamanho da cicatriz

Tamanho (ha)	NOOA	TERRA	AQUA	GOES	ERS	TRMM	METEOSAT	NPP
1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	4	3	0	0	0	0	0
10	2	2	2	0	0	0	0	0
20	1	1	7	0	0	0	0	0
50	0	5	7	1	0	0	1	2
100	1	3	6	0	0	0	0	0
500	5	3	9	5	0	0	2	0
2000	1	3	3	3	0	0	0	0
Total	11	21	37	9	0	0	3	2
Total (%)	17,74	33,87	59,67	14,51	0	0	4,83	3,22

6. CONCLUSÕES

- O método de exclusão de pontos utilizados mostrou-se eficiente para os dados de focos de calor
- Cerca de 40% dos focos disponibilizados pelo INPE durante o período estudado são redundantes
- A porcentagem de focos de calor identificados pelos satélites é crescente de acordo com a área da queimada, sendo que queimadas inferiores a 1 ha não são identificadas
- O sensor Aqua e Terra mostram-se mais eficientes na detecção de queimadas, justificando a transição de satélite de referência de NOAA-12 para Aqua no ano de 2007 pelo INPE.
- Somente queimadas com área maior que 500ha tiveram 100% de detecção
- Mesmo com a redução de 40% dos focos de calor, é necessário levar em conta que queimadas menores que 1 ha não são contabilizadas, tendo assim a necessidade da criação de técnicas mais eficientes que contabilizam de forma mais fidedigna possível as queimadas no ambiente.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARKER, J.L.; HARDEN, M.K.; ANUTA, E.A.; SMID, J. e HOUGHT, D. **MODIS spectral sensitivity study: requirements and characterization**. Washington: NASA, Oct, 1992, 84p.

DEPPE, F. et al. **Comparação de índice de risco de incêndio florestal com focos de calor no Estado do Paraná**. Floresta, Curitiba, v.34, n.2, p.119–126, 2004.

DIAS, G.F. “**Mudança Climática Global e Educação Ambiental**”, Prelo, 2007.

GASPAR, L. **Queimadas no Brasil**. Fundação Joaquim Nabuco, Recife. Disponível em: <<http://basilio.fundaj.gov.br/pesquisaescolar/>>. Acesso em: 07 de maio 2014.

GONTIJO, A. B; PEREIRA, A. A; OLIVEIRA, D.S.O; JUNIOR, F.W.A; **Deteccção de queimadas e validação de focos de calor utilizando produtos de Sensoriamento Remoto**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.7966.

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

JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J.R.G.; VERMOTE, E.F., MASUOKA, E., WOLFE, R.E., SALEOUS, N., ROY, D.P., Morisette, J.T. **An overview of MODIS Land data processing and product status**. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, n.1-2, Nov. p 3 –15, 2002.

JUSTINO, F. B.; SOUZA, S. S.; SETZER, A. **A relação entre focos de calor e condições meteorológicas no Brasil**. Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002.

KAUFMAN, Y.J.; Justice, C.O. 1998. **MODIS Fire Products. Algorithm Technical Background Document**. 77pp.

LATORRE, M. L.; ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. de. **Sensor MODIS: Características gerais e aplicações**. Revista Espaço e Geografia, v.6, p.91-121, 2003.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Editora UNIDERP, 2007. 881 p.

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, Ann Arbor, 1968. Proceedings... Ann Arbor, MI: ERIM, 1968. p. 447-457

PEREIRA, J.M.C.; CHUVIECO, E.; BEAUDOIN, A.; DESBOIS N. 1997. **Remote sensing of burned areas: a review.** In: Chuvieco, E.; Ed. *A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires.* Alcalá de Henares. p. 127-183.

PEREIRA, A.A. **Uso de geotecnologias para detecção e análise de queimadas e focos de calor em unidades de conservação no norte de Minas Gerais-Lavras. 2009.** 89p. Dissertação de Mestrado- Universidade Federal de Alfenas.

PIROMAL, R. A. Sbravatti et al. **Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia.** *Acta Amaz.* [online]. 2008, vol.38, n.1, pp. 77-84. ISSN 0044-5967. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672008000100009>. Acesso em 01 de janeiro de 2014

ROSA, R.; BRITO, J. L. S. **Introdução ao geoprocessamento: Sistema de Informações Geográficas.** Uberlândia: EDUFU, 1996. 104 p.

SCHROEDER, W., PRINS, E., GIGLIO, L., CSISZAR, I., SCHMIDT, C., MORISETTE, J., AND D. MORTON (2008). **Validation of GOES and MODIS active fire detection products using ASTER and ETM+ data.** *Remote Sensing of Environment*, 112(5), 2711-272

THOMÉ, R. **Interoperabilidade em Geoprocessamento: Conversão entre Modelos Conceituais de Sistemas de Informação Geográfica e Comparação com o Padrão Open Gis.** 1998. 200 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998.

VASCONCELOS, SUMAIA S., BROWN. I.F , FEARNSIDE.P .M 2009.**Focos de calor sul da Amazônia: indicadores de mudanças no uso da terra.** pp. 6353-6360 In: J.C.N. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil 2009. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais(INPE), São José dos Campos, São Paulo, Brasil.

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO E VALIDAÇÃO FOCOS DE CALOR E SUA RELAÇÃO COM VARIÁVEIS DO MEIO FÍSICO NO ESTADO DE MINAS GERAIS

RESUMO

O estudo da espacialização de queimadas no território brasileiro é uma importante forma de conhecer e entender seus fatores potencializantes a fim de criar medidas que minimizem seus efeitos no ambiente. Neste sentido, o geoprocessamento torna-se uma ferramenta essencial quando pretende-se estudar áreas extensas que necessitam de uma análise mais abrangente. Este trabalho teve como objetivo espacializar os focos de calor no estado de Minas Gerais com variáveis do meio físico. A proximidade de cursos d'água e rodovias em geral influenciam a concentração de focos de calor de forma que quando mais próximo maior a concentração devido principalmente a atuação humana. O tipo de solo influencia de forma sistemática a concentração de focos devido suas características de capacidade de armazenamento de água bem como a diferença de altitude. A radiação solar não se mostrou influenciável na concentração de focos enquanto os biomas possuem função característica nessa espacialização principalmente em razão da diferença climática entre eles.

Palavras-chave: Queimadas; Focos de Calor; Densidade Kernel

ABSTRACT

The study of expertise of fires in Brazil is an important way to know and understand their potencializantes factors to create measures to minimize its environmental effects. In this sense, GIS becomes an essential tool when you want to study large areas that require a more comprehensive analysis. This study aimed to spatialize the hot spots in the state of Minas Gerais with characteristics of the environment. The proximity of watercourses and roads in general influence the concentration of hotspots so that when next largest concentration mainly due to human activity. The type of soil influence systematically the concentration of outbreaks due its water storage capacity characteristics and the difference in altitude. Solar radiation was not influenced the concentration of outbreaks while biomes have characteristic function that spatial mainly due to the climate difference between them

KEY-WORDS: Fires; Hot spot; Kernel Density

1. INTRODUÇÃO

A distribuição de focos de calor sobre a superfícies terrestre é importante para entender como se dá seu comportamento de acordo com as diferentes variáveis do meio físico a fim de elaborar estratégias que minimizem seus efeitos sobre a fauna, flora e os solos. O uso do fogo pelo homem advém de datas pré-históricas e as técnicas que envolvem sua eficiência nas mais diversas áreas ocorreu na medida que o homem conseguiu dominá-lo e utilizá-lo em diferentes funções cotidianas.

As queimadas no território brasileiro são recorrentes por diversos motivos que vão de limpeza de terreno à práticas criminosas. Devido a extensão territorial do país, medidas de prevenção e monitoramento de queimadas acontece de forma pontual abrangendo pequenas áreas, o que de certa forma limita ações em larga escala.

No sentido de avaliar maiores áreas aos estudos relacionados aos incêndios e queimadas, a ciência da Geoinformação tornou-se uma alternativa para compreender a complexidade da distribuição espacial de dados bem como correlacionar diferentes variáveis no tempo e no espaço. No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE) é pioneiro no estudo de queimadas disponibilizando através do Programa de Monitoramento de Queimadas e Incêndios por satélite em tempo quase-real, dados de focos de calor, em até 20 minutos após à passagem do satélite.

A distribuição de queimadas no território está correlacionada com diversas variáveis como temperatura de superfície, pluviosidade, umidade do ar e do solo, direção de ventos, declividade do terreno, tipologia vegetal dentre outras, variáveis estas importantes, para entender a distribuição espacial e que através de ferramentas de geoprocessamento são sobrepostas e correlacionadas, levando a uma maior compreensão das causas e consequências do fogo no ambiente.

Este estudo tem como objetivo correlacionar dados de focos de calor do período de 2001 a 2013, disponibilizados pelo INPE com variáveis do meio físico do Estado de Minas Gerais sendo estas: proximidade com cursos d'água; proximidade com rodovias; distribuição por bioma; relação com classes de solo; relação com radiação solar, relação com face de exposição do relevo bem como determinar a densidade de queimadas no estado de Minas Gerais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As queimadas são hoje responsáveis por importantes alterações na biota terrestre. Em linhas gerais, trata-se de um processo de combustão da biomassa vegetal que pode ocorrer por razões naturais ou ser provocada pelo homem. Sua evolução passa pelos estágios de ignição, chamas, brasas e extinção. A ignição depende do material a ser queimado (biomassa) e de fatores ambientais como temperatura, umidade relativa do ar e vento. Por ser um processo de baixo custo, destinado a limpar uma área, é bastante usada por pequenos agricultores, que são os responsáveis pelo maior número de focos de incêndio (GASPAR, 2013).

De acordo com SOARES e BATISTA (2007), o calor liberado pelo fogo é o responsável primário pelos efeitos imediatos sobre as plantas, animais e solo, o combustível residual afeta o solo e a qualidade do ar sendo a fumaça, o monóxido de carbono, os hidrocarbonetos e outros subprodutos são responsáveis por efeitos sobre a qualidade do ar atmosférico.

De acordo com DIAS (2007), as principais causas de queimadas no Brasil estão relacionadas com o analfabetismo ambiental, fenômenos naturais como raios, combustão natural, efeito lupa, práticas culturais, uso de balões, rituais religiosos, queima de lixo, distúrbios psíquicos (piromania), fogueiras de acampamentos, litígios com o IBAMA e outros órgãos (vingança), extração da flora, extração de madeira, extração de mel, caça e “limpeza” de área de extração mineral, incidentes na preparação de azeites, fagulhas de máquinas, rompimento de cabos de alta tensão, política Agrária que incentiva para práticas agropecuárias não sustentáveis, uso do fogo para realizar “limpeza” de áreas, queima de restos de exploração florestal, queima de cana; e despreparo dos rurícolas, que realizam manejo e controle inadequado das queimadas.

Neste sentido, a análise da distribuição espacial de queimadas é importante e recorrente em trabalhos que visam avaliar o efeito dessas sobre o meio ambiente. O geoprocessamento está presente na maioria dessas análises, seja com a função de correlacionar variáveis ou estudar a distribuição de focos de calor.

Silva Filho et al. (2007) analisaram a ocorrência de focos de calor em Rondônia no ano de 2007 utilizando dados do INPE especificamente dos sensores AVHRR, MODIS, VAS e SEVERI. Os autores avaliaram a influência de focos de calor sobre a malha viária do estado variando a distância com buffers de 0 a 2 km, de 2 a 5 km, de 5 a 10 km, de 10 a 20 km e superior a 20 km. No ano de 2007 para o Estado de Rondônia houve ocorrência de 28.127 focos captados pelos referidos sensores. Os meses mais incidentes foram identificados entre agosto e

novembro, tendo seu ápice em setembro com 11.880 ocorrências. Na regionalização espacial dos focos de calor, os autores constataram que houve predominância de ocorrência na região norte e sudoeste do estado. Quanto a regionalização pela proximidade da malha viária, os autores constataram que há uma prevalência de ocorrência nas faixas de 0 a 2 km de distância da malha representando um total de 19972 focos em que os autores afirmaram a influência dessa proximidade.

Foi avaliado também neste trabalho, (SILVA FILHO et al. 2007) o Índice de Densidade Kernel, onde é observada a densidade dos focos. Sobre este processamento, chegaram a conclusão que as áreas onde apresentam maior densidade são nas proximidades de Unidades de Conservação.

Neste contexto, Jesus et al. (2011) avaliaram os focos de calor disponibilizados pelo INPE em uma área do Parque Nacional da Serra da Canastra situada na região sudoeste do Estado de Minas Gerais. Os autores mapearam as cicatrizes de queimadas a partir de imagens Landsat TM 5 do ano de 2007 com resolução espacial de 30 metros e compararam com os focos de calor de INPE a fim de avaliar a detecção ou a não detecção das cicatrizes por sensores de satélite. Como resultado, os autores afirmam que os algoritmos de detecção de focos de calor adotados pelo INPE têm baixa acurácia no bioma Cerrado e estão fornecendo uma amostra limitada das queimadas na região. Sendo que de 395 cicatrizes analisadas apenas 21% foram detectada por algum satélite havendo então 79% de omissão. Porém, ressaltam ainda que devem ser avaliadas outras circunstâncias não contempladas no trabalho para justificar os erros de omissão dos satélites como declividade do terreno, ângulo de visada dos sensores, temperatura de brilho nos pixels associados às cicatrizes, rápidas mudanças na cobertura do solo, e simultaneidade entre a passagem do satélite e duração do fogo.

Tomzhinski et al. (2011), avaliaram a detecção de focos de calor no Parque Nacional do Itatiaia e avaliaram sua acurácia a partir da análise de cicatrizes presentes em imagem Landsat TM 5 e CBERS 2 no ano de 2001, 2007 e 2010. Para o período foram contabilizados 92 focos de calor. Os autores observaram a omissão de 96% das detecções de focos de calor em relação aos incêndios registrados no Registro de Ocorrências de Incêndios (ROI) do Parque que somavam 101 para o período estudado. Além disso, os autores constataram que nenhum incêndio com área inferior a 10 ha foi detectado pelos sensores e que dos 92 focos de calor analisados 21 não puderam ser relacionados com nenhum ROI. Por fim, foi afirmado que os satélites AQUA e TERRA, que carregam sensores MODIS, apresentaram os melhores resultados, tanto na detecção dos incêndios quanto na acurácia do posicionamento dos focos detectados em relação à área queimada.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo compreende o estado de Minas Gerais localizada na região sudeste do Brasil, com área aproximada de 586.522,122 km² e população de 19.597.330 de habitantes (IBGE, 2010). O clima predominante no estado é o tropical com subdivisões regionais, sobretudo em função da altitude, apresentando variações entre: tropical de altitude, tropical úmido, etc. O clima semiárido ocorre no extremo norte do estado em função da baixa pluviosidade.

As temperaturas médias anuais do Estado de Minas Gerais são superiores a 18°C em todas as regiões exceto nos planaltos mais elevados do centro-sul do estado, onde, no inverno as temperaturas médias são inferiores a 18°C. (INMET/ 5º Distrito)

A cobertura vegetal de Minas Gerais está subdividida em: Mata Atlântica, Cerrado, Campos de Altitude ou Rupestres e Mata Seca. Diversos fatores, entres eles, o clima, o relevo, e as bacias hidrográficas, são predominante na constituição da variada vegetação regional.

O Estado de Minas Gerais possui 16% de toda malha viária do país contando com 269.546 km de rodovias. Deste total, 7.689 são de rodovias federais, 23.663 de rodovias estaduais, e 238.191 km, de rodovias municipais (DNIT, 2014).

Os focos de calor obtidos no site do INPE foram processados a fim de eliminar focos múltiplos de acordo com a metodologia apresentada no capítulo 1, sendo assim no período de 2001 a 2013 o estado contava com a presença de 259.523 focos.

3.2 Análise sobre Rodovias Federais e Estaduais e distribuição por Bioma

A partir da base de dados de Rodovias Federais e estaduais fornecida pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT, 2010), foi estabelecido *buffers* de 1, 2 e 3 km ao entorno das rodovias a fim de avaliar a distribuição de focos sobre as mesmas comparando com a densidade no estado de Minas Gerais. Dessa forma, foi possível avaliar se há concentração de queimadas nas proximidades das rodovias em relação a todo o estado. Esta análise foi realizada também sobre as rodovias nos biomas Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica a fim de comparar com a densidade total do estado.

A partir do arquivo vetorial de biomas do estado de Minas Gerais disponibilizado pelo IBGE (2010), foi contabilizado, através da ferramenta *Sumarize* do programa ArcGis 10.1, o

número de focos de calor presente em cada bioma e a partir da área dos biomas foi calculado a densidade de focos por km² em cada bioma.

3.3 Análise de proximidade com hidrografias

Para esta análise, foi utilizada a base de dados do IBGE, (2010) de toda a hidrografia do estado de Minas Gerais na escala de 1:50.000. Para tanto, foram estabelecidos buffers com distâncias de 0,5, 1 e 2 km das margens dos cursos d'água. Os focos de calor foram sobrepostos aos *buffer`s* posteriormente foi realizada a contagem sobre estes limites pré – definidos a fim de determinar a densidade dos focos de calor.

3.4 Índice de Densidade Kernel

Para gerar o índice de densidade Kernel (através da ferramenta *Kernel Density* do ArcGis 10.1) foi determinado raios de busca de 500 e 1000 m no entorno de cada ponto. Sendo assim a densidade foi agrupada de acordo com estes raios a fim de mostrar a distribuição no estado de áreas com maior e menor concentração de queimadas.

3.5 Distribuição sobre classes de solos

A partir do mapa de solos do estado de Minas Gerais elaborado por Fernandes Filho et al, (2010) foram agrupadas as classes de solos de acordo com o segundo nível categórico proposto pela EMBRAPA, (2013). Os pontos foram sobreposto ao mapa e através da ferramenta *Summarize* do ArcGis 10.1 foi possível contabilizar o número de focos de calor em cada grupo de classes de solo e assim analisar a densidade de focos de calor entre as mesmas. Esta relação foi realizada por biomas a fim de identificar ou não influência das características dos biomas sobre a concentração de queimadas nas diferentes grupos de classe de solo.

3.6 Face de exposição do relevo

Esta análise foi realizada através de imagem de radar do projeto SRTM (Shuttle Radar Topography) disponibilizado pela NASA com resolução espacial de 30 m. Sobre o Modelo Digital de Elevação foi utilizada a ferramenta *Aspect* da extensão *3D Analyst* do ArcGis 10.1 que indica a direção de inclinação da vertente, possibilitando a análise da orientação de sua face

de exposição de acordo com os pontos cardeais. Após realizada o direcionamento de exposição do relevo, este foi reclassificado a partir da ferramenta *Reclass* em Plano, Norte, Leste, Sul e Oeste.

Após realizado este processamento, através da ferramenta *Extract Value to Point* os focos de calor foram sobrepostos ao mapa de face de exposição e foi extraído o valor correspondente a cada ponto cardinal sendo possível avaliar assim em que face encontra-se maior concentração de queimadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 mostra a distribuição e densidade de focos de calor nos biomas Mata Atlântica, Caatinga e Cerrado. Observa-se que apesar do bioma Caatinga possuir a menor porcentagem de focos de calor dentre os três biomas (2%) é a região com maior concentração de focos por km² o que demonstra ser o bioma com mais queimada quando considerada sua área. A Mata Atlântica é o bioma com menos focos de calor e menor concentração de focos por km². Estes resultados corroboram com os de Costa, (2014) que ao analisar focos de calor sobre os biomas brasileiros constatou que depois da Amazônia, o Cerrado, a Mata Atlântica e a Caatinga possuem nesta ordem maior incidência e queimadas.

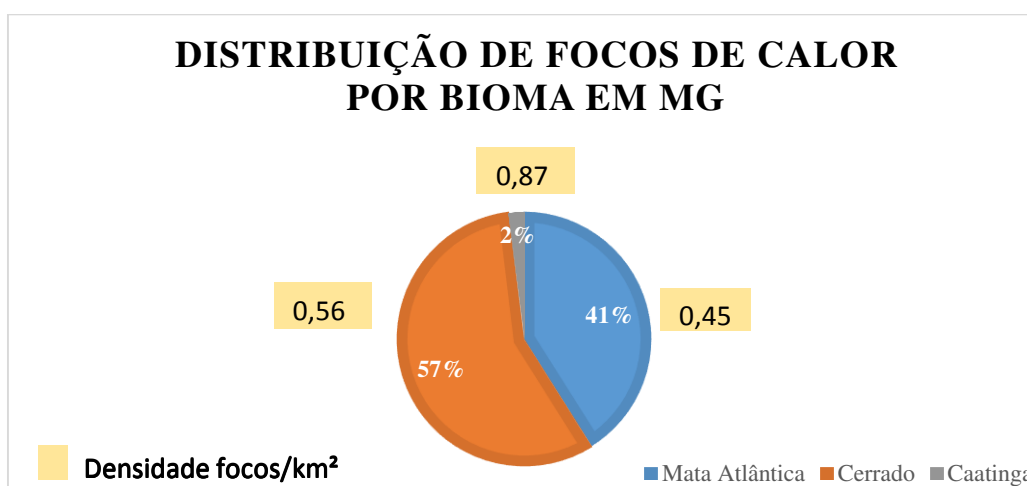


Figura 1: Percentual de focos de calor e densidade por bioma em Minas Gerais no período de 2001 a 2013

Essa diferença entre a quantidade de focos de calor por biomas pode ser dada dentre outros fatores, pela diferença climática entre os mesmos. É de se esperar que áreas onde há predomínio de Mata Atlântica possui maior pluviosidade em relação ao cerrado e

principalmente em regiões de Caatinga que apresenta clima semi árido com chuvas menos constantes o que pode favorecer a uma menor recarga de água no solo, menos disponibilidade de água para plantas levando a uma maior probabilidade de ignição da vegetação além de diminuir a umidade do ar o que contribui para o processo de queima.

A Figura 2 mostra a densidade de focos nas proximidades de Rodovias Federais e Estaduais no estado de Minas Gerais. Prevalece a concentração de focos de calor em Rodovias Federais em relação as Rodovias Estaduais. O número de focos de calor aumenta com a proximidade das rodovias, o que condiz com a análise realizada por Silva Filho et al, (2007), constataram a prevalência de focos de calor em *buffers* de até 2 km da malha viária. A densidade de focos em rodovias é maior que a densidade para o estado de Minas Gerais que é de 0,48 focos por km² o que indica que no entorno de rodovias ocorrem mais incêndios que em outras partes do estado, fato que pode estar relacionado com incêndios criminosos.

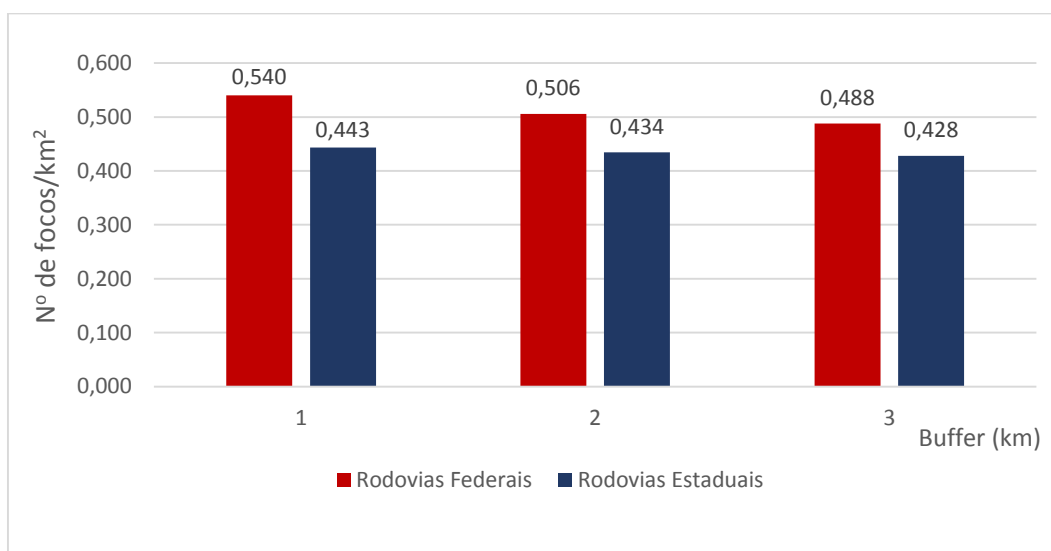


Figura 2: Densidade de focos de calor em Rodovias em MG

Quando analisado a densidade de focos de calor em rodovias no bioma Cerrado como mostra a Figura 3 é válido ressaltar que as rodovias federais possuem mais focos de calor por área quando comparado à rodovias estaduais. Quando analisado separadamente à proximidade das rodovias é evidenciado que quanto mais próximo das estradas a concentração é maior nas rodovias estaduais, tendendo a diminuir conforme o distanciamento das margens, o que não ocorre com as rodovias Federais que aumenta a densidade com a distância das rodovias. Outro fator importante a se considerar é que a concentração de focos de calor no entorno das estradas é maior que a densidade no bioma para rodovias federais, o que não acontece nas rodovias estaduais. Este fator mostra que a incidência de incêndios ao longo das rodovias é maior em

detrimento do bioma quando analisado apenas rodovias federais ao contrário do analisado para todo o estado.

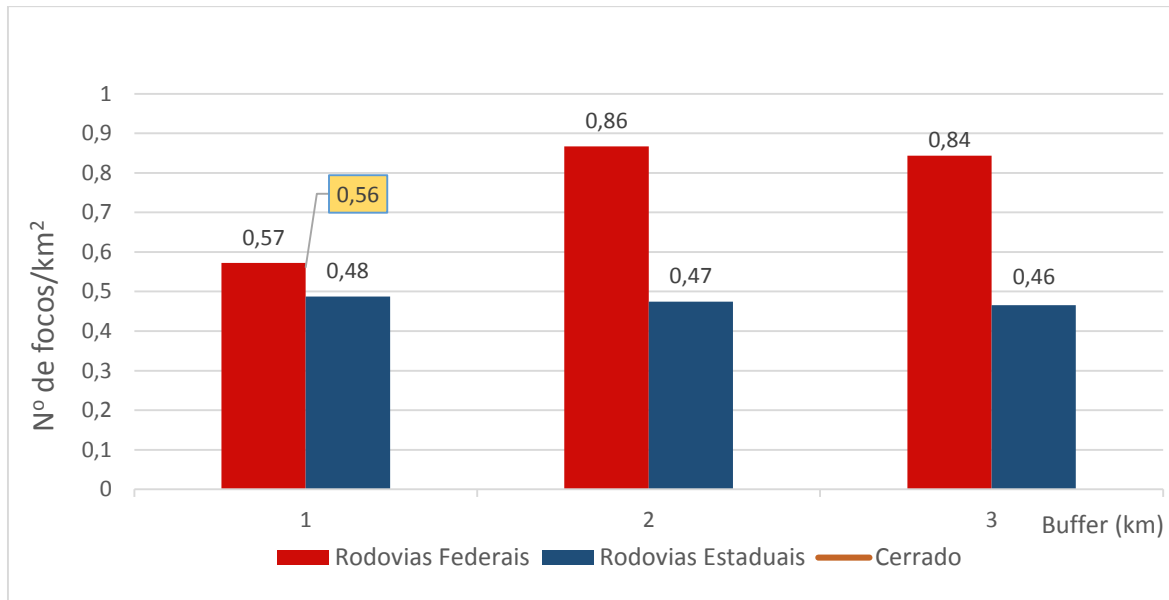


Figura 3: Densidade de focos de calor em rodovias no cerrado-MG

Assim como as rodovias no bioma Cerrado, as rodovias no bioma Caatinga (figura 4) possuem o mesmo comportamento em relação ao distanciamento nas rodovias Federais e estaduais porém, é considerável o aumento de focos por km² em relação às rodovias no bioma cerrado. Estes números podem ser maior pela relação climática, a mesma que favorece o aumento da concentração de queimadas no bioma Caatinga em relação aos demais.

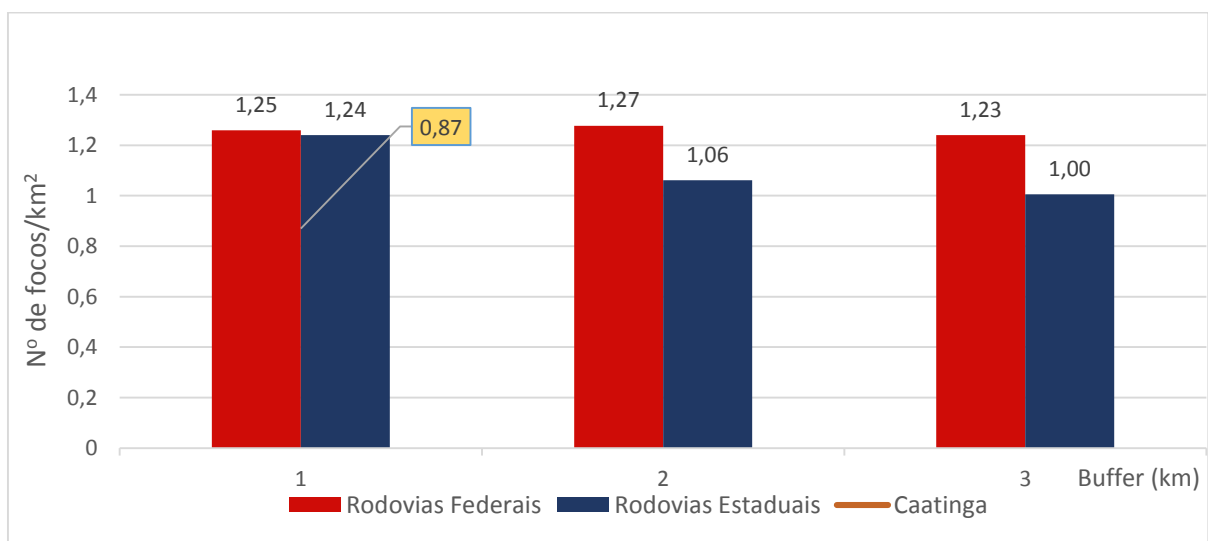


Figura 4: Densidade de focos de calor em rodovias no bioma Caatinga-MG

Sobre as rodovias na Mata Atlântica (Figura 5), observa-se que nas Rodovias Federais há um decréscimo na concentração de focos de calor conforme distância das margens das rodovias. Nos três biomas é evidente a concentração de focos de calor sobre Rodovias Federais em detrimento de Rodovias Estaduais fato que pode ser explicado pelo maior trânsito sobre este tipo de vias.

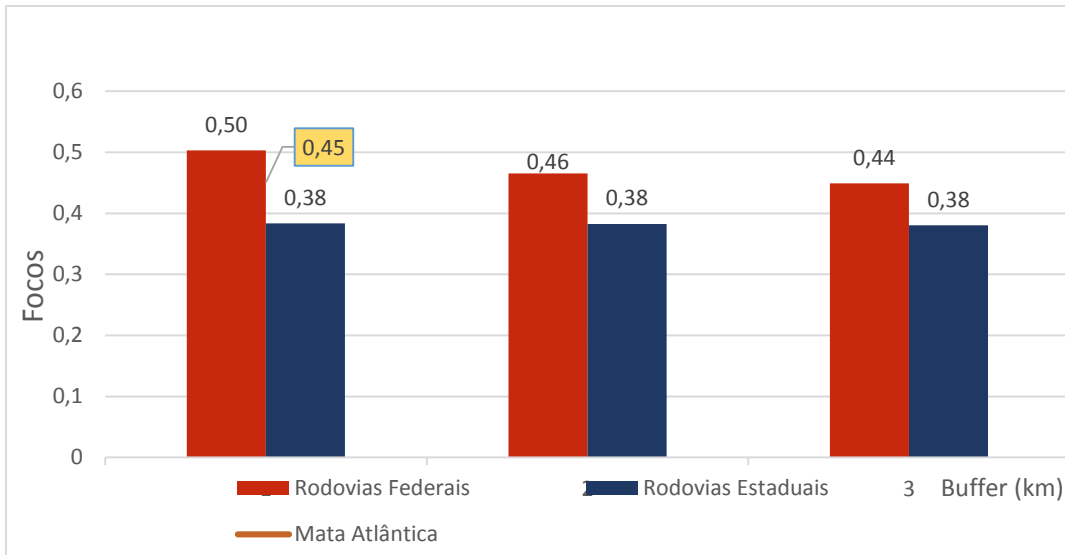


Figura 5: Densidade de Focos de Calor em Rodovias na Mata Atlântica-MG

Quando analisado os focos de calor nas proximidades dos cursos d'água como mostra a Figura 6, observa-se um comportamento semelhante à proximidade de rodovias. Essa característica pode estar relacionada com áreas de cultivo principalmente em Argissolos e Neossolos Flúvicos associados à queima para limpeza do terreno para cultivo.

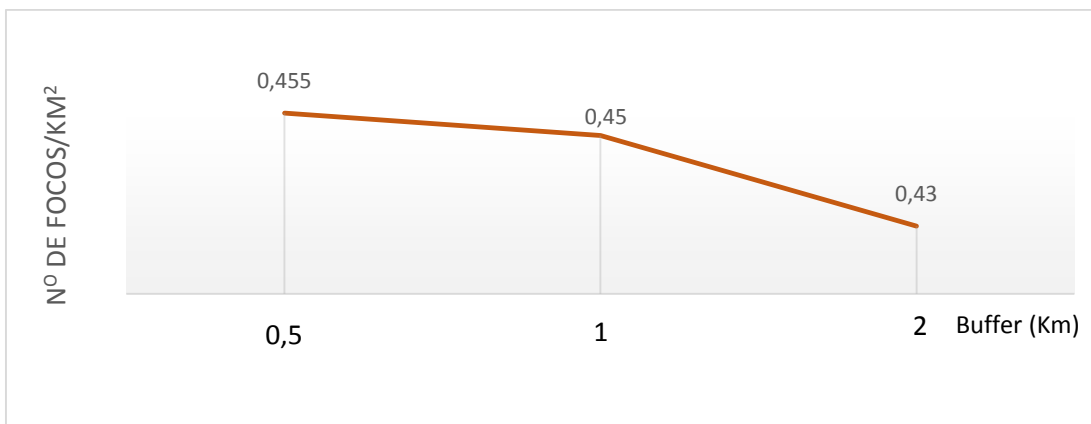


Figura 6: Densidade de focos de calor nas proximidades dos cursos d'água

A análise sobre o mapa de solos foi realizado por biomas a fim de avaliar as

particularidades de cada ambiente. Como mostra a Tabela 1, sobre a Caatinga, o grupo 4 onde estão as classes Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo possui a maior quantidade de focos de calor, com 69% do total. Porém quando analisado a densidade de focos por área observa-se que a classe de solo com maior número de focos por km² é o Neossolo Flúvico.

A distribuição maior sobre Neossolos Flúvicos pode ser explicada por sua localização, onde geralmente estão concentrados ao longo dos rios, áreas na maioria das vezes utilizadas para agricultura, sendo assim, possivelmente o fogo é utilizado como manejo para retirada da vegetação para plantio. Seguido do Neossolo Flúvico, a classe água apresenta o valor mais alto de densidade, fato explicado possivelmente pelo erro de posicionamento do sensor em relação à queimada uma vez que os cursos d'água não são extensos e o seu entorno é bastante utilizado na agricultura.

Tabela 1: Focos de calor em classes de solo na Caatinga

CAATINGA			
<i>Grupo</i>	Classes	Distribuição (%)	Densidade
1	Neossolo Flúvico	16,001	0,142
2	Cambissolo Háplico	8,045	0,008
3	Argissolo Vermelho-Amarelo Nitossolo Háplico Nitossolo Vermelho Planossolo Háplico	2,797	0,005
4	Latossolo Vermelho Latossolo Vermelho-Amarelo	69,005	0,021
5	Neossolo Litólico	0,470	0,001
6	Neossolo Quartzarênico	0,358	0,003
7	Afloramento Rochoso	1,578	0,011
8	Água	1,746	0,032

No bioma Cerrado, a classe que apresenta maior porcentagem de focos de calor é de grupo que contém as classes de Neossolo Flúvico e Plintossolo Argilúvico (grupo 1) seguido do Latossolo Vermelho, Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo (grupo 4). Na

análise de densidade o grupo 1 também predomina provavelmente devido aos mesmos fatores que se destacam no bioma Caatinga seguido do Gleissolo melânico e o Neossolo Litólico.

Áreas de Gleissolo Melânico durante o período de seca são usualmente utilizadas como pastagens e agricultura uma vez que já não encontram-se mais encharcadas o que favorece o ateamento de fogo para manejo do solo. Já os Neossolos Litólicos podem ser explicados pela pouca profundidade do solo em proximidade com as rochas que se aquecem mais rapidamente e facilmente que solos profundos com grande capacidade de armazenamento de água favorecendo assim as chances de ignição da vegetação.

Tabela 2: Focos de Calor em classes de solo no bioma Cerrado

CERRADO			
GRUPO	Classes	Distribuição (%)	Focos/km ²
1	Neossolo Flúvico Plintossolo Argilúvico	57,08	0,570
2	Cambissolo Háptico	17,69	0,303
3	Argissolo Vermelho Argissolo Vermelho-Amarelo Nitossolo Háptico Planossolo Háptico Nitossolo Vermelho	6,124	0,143
4	Latossolo Vermelho Latossolo Amarelo Latossolo Vermelho-Amarelo	49,99	0,226
5	Gleissolo Melânico	0,7188	0,521
6	Neossolo Litólico	14,48	0,491
7	Neossolo Quartzarênico	3,507	0,461
8	Afloramento Rochoso	2,789	0,337
9	Área Urbana	0,0156	0,05
10	Água	0,7129	0,225

No bioma Mata Atlântica, há predomínio de focos de calor sobre os solos do grupos 5 e 4 respectivamente como mostra a tabela 3. A densidade de focos por km² prevalece sobre o grupo dos Argissolos, Nitossolo Háptico, Luvisolo Crômico e Nitossolo Vermelho seguido

dos Cambissolos Húmicos e Afloramento Rochoso que muitas vezes prevalece gramíneas cuja queima é facilitada pelas altas temperaturas que as rochas atingem em superfície.

Áreas urbanas neste bioma apresentam índices de densidade elevado comparado com as demais classes. Estes altos índices ocorrem pelo maior povoamento no bioma Mata Atlântica o que leva a maiores índices de queimadas intencionais em lotes, terrenos abandonados dentre outros.

Tabela 3: Focos de Calor em classes de solo no bioma Mata Atlântica

MATA ATLÂNTICA			
GRUPO	Classes	Distribuição (%)	Focos/km ²
1	Neossolo Flúvico Plintossolo Argilúvico	0,339	0,032
4	Argissolo Vermelho Argissolo Vermelho-Amarelo Nitossolo Háplico Luvissolo Crômico Nitossolo vermelho	21,272	0,332
2	Cambissolo Húmico	0,609	0,275
3	Cambissolo Háplico	14,05	0,155
4	Argissolo Vermelho Argissolo Vermelho-Amarelo Nitossolo Háplico Luvissolo Crômico Nitossolo vermelho	21,272	0,332
5	Latossolo vermelho Latossolo Amarelo Latossolo Vermelho-Amarelo	56,903	0,0196
6	Gleissolo Melânico	0,026	0,0123
7	Neossolo Litólico	2,248	0,050
8	Neossolo Quartzarênico	0,004	0,0003
9	Afloramento Rochoso	3,464	0,270
10	Área Urbana	0,1150	0,256
11	Água	0,928	

A Figura 7 mostra o mapa do Índice de Densidade Kernel em um raio de busca de 5 km. É possível analisar que há concentração de focos de calor na porção nordeste do estado próximo a região da Caatinga. Observa-se também que o sul do Triângulo Mineiro e a Serra da Canastra assim como a Serra do Espinhaço possuem índices elevados.

Considerando o raio de busca de 5 km, para a série de 13 anos, 63,81% da área de Minas Gerais possui de 0 a 0,5 focos de calor enquanto 0,01% possui alta densidade que varia de 5 a 15 focos em um raio de 5 km. Observa-se que para este intervalo, a densidade é mais elevada em regiões de menor pluviosidade. Silva, et al 2013 ressaltam a importância do estimador Kernel em identificar áreas críticas onde há concentração de focos de calor a fim de elaboração e planos de ação estratégicos contra as queimadas.

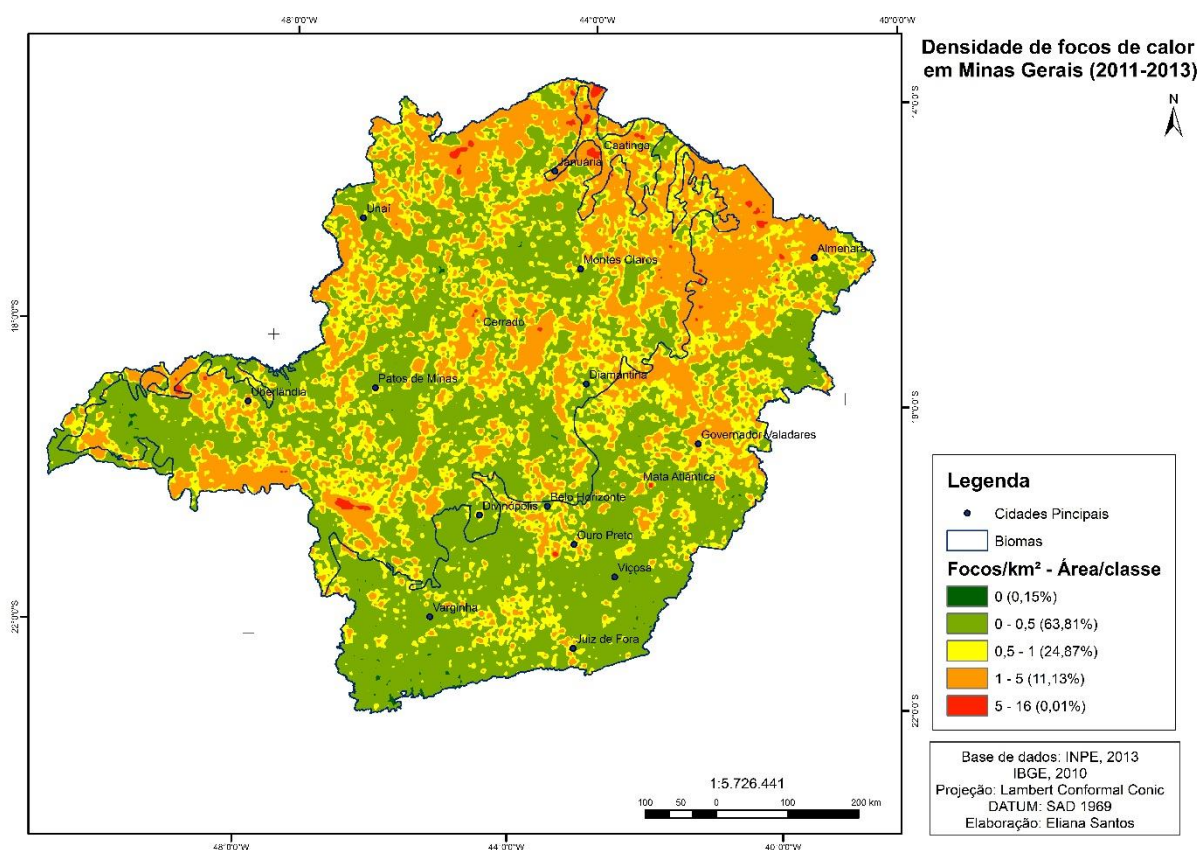


Figura 7: Densidade Kernel- raio de 5 km para focos de calor em Minas Gerais de 2001 a 2013

A influência da altitude na concentração de focos de calor pode ser analisada através da figura 8. A maior parte do estado de Minas Gerais encontra-se em altitudes superiores a 600 m e o pico da Bandeira localizado na Serra da Mantiqueira é o ponto mais alto do estado com 2.890 m ITAMARATY, (2015). Há concentração de focos de calor em altitudes que variam de 600 a 1300 metros. Essas áreas em sua maioria compreendem serras protegidas por unidades de conservação que são hoje motivo de conflitos com população instigando incêndios

criminosos ou são áreas mais susceptíveis aos incêndios pois áreas serranas com presença de campos rupestres são frequentes no estado.

Observa-se concentração mais pronunciada em altitudes que variam de 800 a 1300, a causa da densidade nessa faixa de altitude pode ser explicada por serem áreas utilizadas para cultivo em que muitas vezes as queimadas são utilizadas para manejo do solo como já discutido anteriormente áreas estas provavelmente ocupada por encostas com predomínio de Cambissolos e Latossolos.

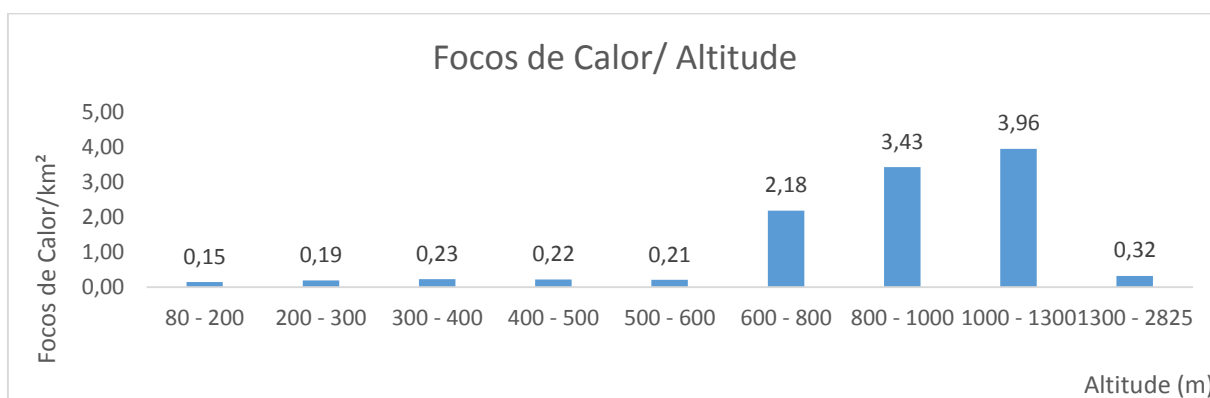


Figura 8: Influência da altitude sobre a densidade de focos de calor

A face de exposição do relevo não mostrou influência na concentração de focos de calor como mostra a figura 9.

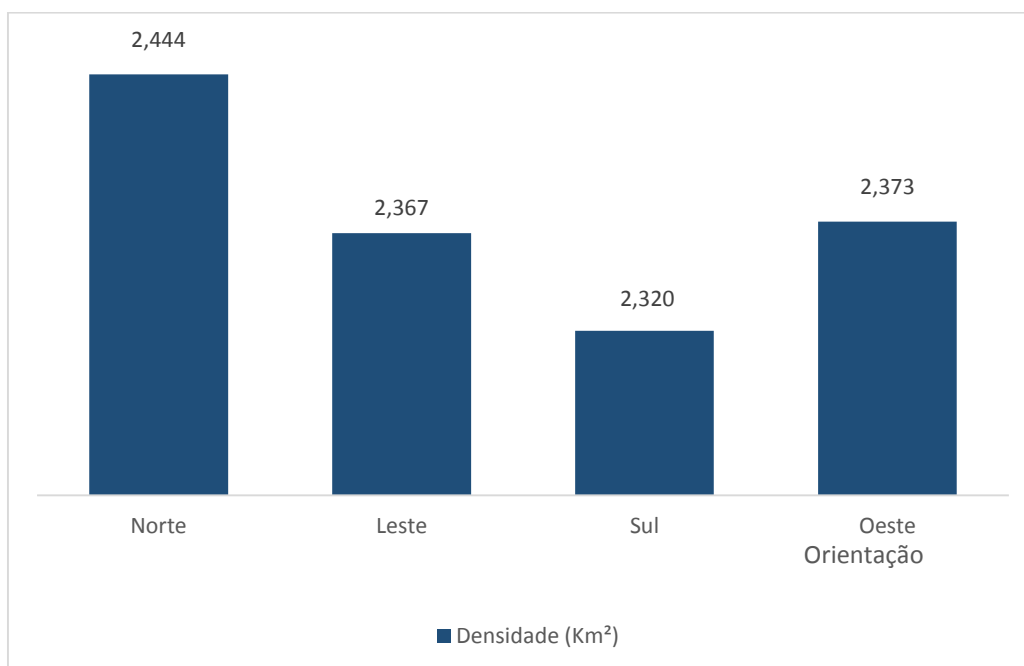


Figura 9: Densidade de focos de calor sobre face de exposição do relevo

5. CONCLUSÕES

O estudo da distribuição espacial dos focos de calor no estado de Minas Gerais mostrou que :

- Os focos de calor tem maior densidade de ocorrência no bioma caatinga, seguido pelo cerrado e Mata Atlântica
- Os focos de calor estão mais concentrados próximos as rodovias, sendo que maiores valores são observados nas proximidades de rodovias federais do que aqueles observados em rodovias estaduais
- Nas proximidades dos cursos d'água são observados maiores valores de densidade de focos de incêndio, possivelmente pelo uso mais intensivo do solo.
- Os Neossolos Flúvicos apresentam maior concentração de focos de calor por área no bioma Caatinga. No Cerrado, há uma maior densidade sobre o grupo dos Neossolos Flúvicos e Plintossolos Argilúvicos seguido do grupo de Latossolos. Por fim, na Mata Atlântica prevalece sobre o grupo de Argissolos, Nitossolo Háptico, Luvisolo Crômico e Nitossolo Vermelho seguido dos Cambissolos Húmicos.
- Na análise de densidade Kernel, observa-se concentração de focos de calor na porção nordeste do estado próximo a região da caatinga quando o raio de busca é de 5km onde 63,81% da área de Minas Gerais possui de 0 a 0,5 focos de calor enquanto 0,01% possui alta densidade que varia de 5 a 15 focos em um raio de 5 km.
- Quando avaliado o Índice Kernel em um raio de 1 km, é possível analisar que os focos de calor estão distribuídos de forma mais homogênea, principalmente na parte sul e nordeste do.
- A altitude influencia na concentração de focos apresentando maiores valores em altitudes que variam de 800 a 1300 metros.
- A face de exposição do relevo não mostrou influência na concentração de focos de calor.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COSTA, S. L. L.; CUNHA FILHO, M.; STOSIK, B.; Stosic, T.. **Correlações de longo alcance em séries temporais de focos de calor nos biomas brasileiros**. 2014. Dissertação (Mestrado em Biometria e Estatística Aplicada) - Universidade Federal Rural de Pernambuco.

DIAS, G.F. **Mudança Climática Global e Educação Ambiental**, Prelo, 2007.

FERNANDES Filho, E. et al. **Levantamento de Solos e Aptidão Agrícola do Município de Mariana, 2011** (Relatório Técnico).

GASPAR, L. **Queimadas no Brasil**. Fundação Joaquim Nabuco, Recife. Disponível em: <<http://basilio.fundaj.gov.br/pesquisaescolar/>>. Acesso em: 07 de maio 2014.

SILVA, T.B; ROCHA, W.J.S.F; ANGELO, M.F. **Quantificação e análise espacial dos focos de calor no Parque Nacional da Chapada Diamantina- BA**. In Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, abril 2013.

SILVA FILHO, E. B.; TELES, L. J. S.; SANTOS NETO, L. A. **Ocorrências de focos de calor no estado de Rondônia em 2007**. *Soc. nat. (Online)*, Uberlândia, v. 21, n. 2, Aug. 2009. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-45132009000200009&lng=en&nrm=iso>. acesso em 10 Dec. 2014.

JESUS, S.C. de; Setzer, A.W.; Morelli, F. **Validação de focos de queimadas no Cerrado em imagens TM/Landsat-5**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15., 2011, Curitiba. Anais. São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p. 8051-8058. CD-ROM, On-line. ISBN: 978-85-17-00056-0. Disponível em: http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/documentos/2011_Jesus_etal_Validacao_focos_XVSBSR.pdf. Acesso em: 30 nov. 2014.

RODRIGUES, M. **Introdução ao Geoprocessamento**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1., São Paulo, 1990. Anais. São Paulo: Escola Politécnica, 1990. p. 1-26

TOMZHINSKI, G. W.; FERREIRA COURA, P. H.; DO COUTO FERNANDES, M. **Avaliação da Detecção de Focos de Calor por Sensoriamento Remoto para o Parque Nacional do Itatiaia**. *Biodiversidade Brasileira*, v. 2, p. 201-211, 2011.

AValiação DO TEMPO DE PERMANÊNCIA DE CICATRIZES DE QUEIMADAS NA PAISAGEM ATRAVÉS DE IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT 5 E RESOURCESAT-1 NO ESTADO DE MINAS GERAIS.

RESUMO

As queimadas são grandes modificadoras da paisagem além de alterar a dinâmica da biodiversidade, de propriedades da atmosfera e sobretudo do solos e seus constituintes. Visto a necessidade e importância de identificar e estimar o tempo de duração das cicatrizes de queimadas na paisagem, este estudo teve o objetivo através de imagens do satélite Landsat 5 e ResourceSat-1 avaliar sobre os biomas Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica o tempo que a vegetação necessita para se reabilitar deixando de existir sobre ela características da combustão da vegetação anterior. Para tanto foi utilizado para os três biomas a sequência necessária de imagens onde fosse possível acompanhar o reestabelecimento da vegetação sobre as cicatrizes. Foram identificadas 19 cicatrizes no bioma Caatinga, 19 na Mata Atlântica e 46 cicatrizes no Cerrado. Observou-se que na Caatinga o período de duração das cicatrizes é superior às dos demais biomas podendo alcançar 128 dias enquanto para o Cerrado são necessários em média 87 dias e para a Mata Atlântica 73 dias fato que pode ser explicado devido a diferença na média de precipitação anual entre estes biomas. A presença de nuvens sobretudo no bioma Mata Atlântica dificultou a identificação e acompanhamento de cicatrizes além de alterar valores do NDVI da vegetação sobre as cicatrizes. A dificuldade para obtenção de imagens sem nebulosidade para uma mesma cena de meses consecutivos explica esta dificuldade.

PALAVRAS-CHAVE: Queimadas; focos de calor; Landsat 5; ResourceSat-1; LISS III

ABSTRACT

Fire is great landscape modifier in addition to changing the dynamics of biodiversity, the properties of the atmosphere and especially the soil and its constituents. Since the need and importance of identifying and estimating the duration of burnt scars in the landscape, this study aimed at the digital Landsat 5 and ResourceSat 1-evaluate on the Caatinga, Cerrado and Atlantic Forest as long as the vegetation needs to rehabilitate cease to exist upon it features the combustion of previous vegetation. For that was used for the three biomass necessary sequence of images where it was possible to follow the re-establishment of vegetation on the scars. We identified 19 scars on Caatinga biome, 19 in the Atlantic Forest and the Cerrado 46 scars. It was observed that in the Caatinga of scars duration is superior to the other biomes can reach 128

days while for the Cerrado are needed on average 87 days and for the Atlantic Forest 73 days fact that can be explained by the difference in mean annual rainfall between these biomes. The presence of clouds above the Atlantic Forest biome hindered the identification and monitoring of scars in addition to changing values of vegetation NDVI on the scars. The difficulty to obtain images without cloudiness to the same scene consecutive months explains this difficulty.

KEY-WORDS: Fires; Hot Spots; Landsat 5; ResourceSat-1; LISS III

1. INTRODUÇÃO

Os incêndios são hoje os principais causadores de perturbação ecológica dos ecossistemas e suas causas podem ser tanto pela ação antrópica como de forma natural. As consequências das queimadas no ambiente podem ser prejudiciais a curto e longo prazo como podem também favorecer a flora com a quebra da dormência de sementes e a constituição química dos solos a curto prazo com a disponibilização rápida de alguns nutrientes e a mineralização da matéria orgânica.

O monitoramento de queimada no território brasileiro se dá em diferentes formas de acordo com a extensão do terreno. Em parques e unidades de conservação este monitoramento é pontual, realizado geralmente por torres de controle posicionadas em locais estratégicos onde a ação de combate aos incêndios sejam mais eficientes. Entretanto, em áreas com grandes extensões este recurso torna-se ineficaz e a necessidade de técnicas mais abrangentes mostra-se essencial.

Neste sentido, técnicas de geoprocessamento e mais especificamente de sensoriamento remoto são grandes aliadas para previsões de risco de incêndios e de estudos posteriores às queimadas a fim de analisar sua distribuição espacial e suas principais áreas de ocorrência bem como seus fatores potencializantes, estudos que podem levar a criação de metodologias que visam minimizar seus efeitos no meio ambiente.

O uso de imagens de satélite para estudos relacionados às queimadas é hoje um meio de entender o comportamento do fogo em grande escala e a alta disponibilidade destas imagens de forma gratuita vem contribuir para o avanço destas pesquisas. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE disponibiliza gratuitamente imagens de diversos satélites além de possuir grande acervo de focos de calor do território brasileiro, que pode ser visualizados minutos após a passagem dos satélites.

Através de imagens de satélites é possível identificar áreas queimadas através da cicatriz que é deixada na paisagem, sendo assim, características como extensão e severidade também podem ser obtidas através de processamentos em *softwares* de geoprocessamento. Estas ferramentas permitem avaliar e dar suporte para trabalhos de campo em pesquisas relacionadas aos efeitos das queimadas no solo, na fauna e na flora.

2. OBJETIVOS

Este estudo tem como objetivo analisar, através de imagens dos satélites Landsat 5 e ResourceSat-1, a evolução e duração de cicatrizes de queimadas nos biomas Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica bem como o reestabelecimento da vegetação através da variação no índice de vegetação de áreas submetidas a queima.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Liu (2007), a detecção de focos de calor por sensores instalados em satélite é controlada por vários fatores, dentre eles, o ângulo de visada dos sensores, iluminação e propriedades da superfície e subsuperfície. Essas propriedades podem ser caracterizadas, por exemplo, como a heterogeneidade de relevos tendo variações quanto a áreas côncavas, convexas e diferentes altitudes, emissividade dos alvos decorrentes da data e horário de ocorrência da queimada, cobertura de vegetação, umidade, condutividade e capacidade calorífica do solo e mudanças atmosféricas como a presença de nuvens intensidade, direção de ventos e temperatura de superfície.

Dentre os instrumentos de sensoriamento remoto mais utilizados para a detecção de queimadas estão imagens da série Landsat e mais especificamente do Landsat 5 em função de suas bandas multiespectrais. De acordo com Liu, 2007 a série Landsat teve início em 1972, com o lançamento do satélite ERTS-1. Posteriormente foram lançados a sequência 2, 3, 4, 5, 7 e mais recentemente o 8 no ano de 2013. A tabela a seguir mostra as especificações das bandas espectrais do sensor TM (Thematic Mapper) do Landsat.

Tabela 1: Faixas espectrais do sensor TM-Landsat

Banda	Resolução espectral (μm)	Bandas espectrais
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

Na região do termal, a resolução espacial do sensor TM é de 120 x 120 m sendo que nas demais bandas a resolução é de 30 x 30 m. A resolução espectral é de 7 bandas, a resolução radiométrica é de 8 bits e a resolução temporal é de 16 dias, considerando que o Landsat é um satélite de órbita polar que se movimenta no sentido norte-sul (INPE, 2014).

Outro sensor utilizado recentemente pelo INPE na detecção de focos de calor e utilizado neste estudo é o ResourceSat-1. A bordo deste satélite está o sensor LISS-III. Basicamente as diferenças entre estes sensores é quanto à resolução. O satélite ResourceSat-1 possui resolução espacial de 23,5 m para todos os canais espectrais que somam 4. A resolução temporal é de 24 dias e a resolução radiométrica de 7 bits ambas inferior ao Landsat 5. A tabela abaixo mostra as especificações do sensor LISS-III.

Tabela 2: especificações do sensor LISS-III

Bandas	Resolução espectral (μm)	Bandas espectrais
1	0.52-0.59 μm	Verde
2	0.62-0.68 μm	Vermelho
3	0.77-0.86 μm	IV Próximo
4	1.55-1.70 μm	IV médio

A partir de imagens de satélite é possível utilizar técnicas em que a vegetação torna-se realçada sendo possível também analisar a ausência desta vegetação em um mesmo lugar. Uma das alternativas mais utilizadas para detecção e estudo de áreas queimadas a partir da vegetação, é a diferença de NDVI (Índice da Vegetação por Diferença Normalizada) criado por ROUSE et al. (1973). De acordo com Figueiredo (2005), o NDVI é um modelo resultante da combinação dos níveis de reflectância em imagens de satélites que provem da equação composta pelas respostas das bandas espectrais do vermelho e infravermelho. O NDVI é obtido pela razão entre a diferença da resposta espectral do pixel nas bandas do infravermelho próximo e do vermelho e a soma dessas duas bandas.

“A região do visível, o qual se insere a banda 3, compreende toda radiação eletromagnética da faixa espectral de 400 a 700 nm. Nesta faixa espectral, tanto a reflectância quanto a transmissão das folhas são menores do que 15%, porém a reflectância apresenta um pico máximo em 555 nm. Na região do infravermelho, é constituída de radiações eletromagnéticas cujos comprimentos de onda situam-se entre 700 nm e 1 mm. Esta região divide-se em três partes: Infravermelho próximo (700 a 1.300 nm) que se localiza a banda 4, Infravermelho médio (1.300 a 2.500 nm) e infravermelho distante (2.500 a 1 mm). Nesta região do espectro eletromagnético, a evidência do mecanismo de reflexão interna nas folhas é muito forte” (MOREIRA, 2003).

Sendo assim, ao comparar imagens com emprego da técnica do NDVI, será detectada a vegetação com muito mais facilidade. Ao se compararem duas imagens com datas diferentes, o que não for caracterizado como vegetação, será caracterizado como corte da mesma ou a ocorrência de queimada. Os valores de NDVI variam de -1 a 1, onde valores negativos indicam a ausência da vegetação, portanto, em imagens pré e pós queima irão possuir grandes diferenças de NDVI o que facilitará a identificação das cicatrizes de queimadas.

Cicatrizes de queimadas podem ser consideradas como áreas onde houve remoção de vegetação decorrente da ignição de material vegetal com deposição de cinzas. As cicatrizes podem permanecer no ambiente por vários dias por conta de suas características espectrais de acordo com Arino, et. al., 2000. Ainda segundo os autores, na região do visível que varia de 0,4 a 0,7 um as cicatrizes podem ter comportamento distinto apresentando cinzas brancas dependendo da concentração de clorofila, da intensidade do fogo que consumirá todo carbono disponível e também do tipo de vegetação. As cicatrizes podem também apresentar cinzas escuras quando a queima da vegetação é incompleta em decorrência da falta de oxigênio.

Sensores a bordo de satélites polares e geoestacionários são utilizados frequentemente em estudos para detecção de cicatrizes de queimadas e alguns problemas são encontrados quando se pretende estudar séries temporais de áreas extensas como a presença de nuvens. Selhorst e Brown, 2003, ao analisarem dados de queimadas do estado do Acre a partir dos satélites NOAA-12 e GOES-8 identificando visualmente as cicatrizes na paisagem. Os autores chegaram a conclusão que existem erros de omissão dos dois satélites causados pela presença de nuvens afirmando que a detecção de queimadas é de aproximadamente da metade a um décimo das queimadas que realmente ocorreram em campo.

Outros problemas relacionados à detecção de queimadas é quanto a resolução temporal dos sensores que muitas vezes não condizem com a data da queimada fazendo com que a vegetação se regenere e a cicatriz não fique mais visível nas imagens. A resolução espacial do sensor é outro fator limitante que as vezes por possuírem baixa resolução não conseguem capturar queimadas com áreas pequenas. Gontijo et al., 2011 observou esta limitação ao estudar a detecção de queimadas através do satélite Landsat 5. Ao utilizar como validação focos de calor disponibilizados pelo INPE sobre imagens Landsat, observaram que queimadas de grande porte são facilmente detectadas, enquanto apenas 29,28% das queimadas com até 10 ha foram detectadas em uma cena Landsat entre o norte do estado de Minas Gerais e o sul da Bahia.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo compreende o estado de Minas Gerais localizada na região sudeste do Brasil, com área de 586.522,122 km² e população de 19.597.330 de habitantes (IBGE 2010).

Para o processamento de dados foi utilizado a extensão ArcMap do programa ArcGis 10.1 e o programa Excel. As imagens do satélite Landsat 5 TM para o bioma Cerrado e Caatinga e imagens do satélite ResourceSat-1 para o bioma Mata Atlântica foram adquiridas, através do site do INPE no endereço *-<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>*. A utilização do satélite ResourceSat-1 foi necessária devido à ausência de cenas Landsat sem nuvens para a sequência de meses em uma mesma localidade. Os focos de calor foram obtidos também no site do INPE-*<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>*.

A partir da análise visual de ausência de nuvens foi determinado que seriam avaliadas imagens dos anos de 2005, 2006, 2010, 2011 e 2012 nos biomas Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga, no estado de Minas Gerais. As cenas escolhidas compreendem os meses do período seco (maio a setembro) e início do período chuvoso (outubro a dezembro) para que se possa

acompanhar o tempo de reestabelecimento da vegetação nos diferentes biomas bem como a mudança nos índices de vegetação nas áreas queimadas.

Para o bioma Cerrado foi escolhido a cena LANDSAT_5_TM_219_072, para o bioma Caatinga a cena LANDSAT_5_TM_218_071 e para a Mata Atlântica a cena LISS3_332_093 sendo que para o Cerrado foram utilizadas 6 imagens com as seguintes datas: 07/07/10; 09/09/10; 25/09/10; 11/10/10; 28/11/10 e 31/10/11. Para o bioma Caatinga foram avaliadas 5 imagens das datas: 03/08/05; 20/09/05; 06/10/05; 07/11/05 e 26/01/06. Por fim para o bioma Mata Atlântica foi utilizado também cinco imagens com as datas 18/08/12; 11/09/12; 05/10/12; 29/10/12 e 22/11/12.

Após a aquisição das imagens, foi realizada a composição das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do satélite Landsat e das bandas 3, 4 e 5 do satélite ResourceSat-1 através da ferramenta *Composite Bands*. Posteriormente uma das imagens foi georreferenciada com a base de dados de rodovias e hidrografia do IBGE a partir da ferramenta *Georeferencing* do ArcGis 10.1. Para georreferenciar as demais, foi utilizado o comando *Auto Registration* da ferramenta *Georeferencing* em que a partir da primeira imagem já georreferenciada, é coletado pontos automaticamente sobre as demais que estão sobrepostas à primeira bastando apenas excluir valores altos de erros no georreferenciamento para obter um RMS (Erro Médio Quadrático) total inferior ao tamanho de célula da imagem Landsat, ou seja 30 m.

Foi realizada análise visual em todas as imagens para identificar as cicatrizes na paisagem. Depois de identificadas, foram traçados polígonos no entorno das cicatrizes a fim de identificá-las e calcular seu tamanho. Posteriormente, o arquivo vetorial de pontos de focos de calor posterior às datas da imagem, foi sobreposto às imagens de satélite e ao arquivo vetorial contendo os polígonos de cicatrizes assim, foi possível identificar a data de início da queimada, uma vez que os focos de calor possuem a data de captura do satélite indicando a presença de calor no local do ponto. A partir da data de captura do foco pelo satélite e da data da última imagem em que se via evidências das cicatrizes foi calculado seu tempo médio de permanência na paisagem.

Obteve-se uma imagem anterior à data da queimada a fim de verificar as variações nos Índices de Vegetação por Diferença Normalizada anterior e posterior à queima a fim de evidenciar o vigor da vegetação pré e pós fogo. A partir da data inicial do foco, todas as imagens posteriores foram verificadas quanto a presença da cicatriz sobre estas imagens foram calculados o NDVI e a imagem onde a presença da cicatriz não era mais evidente foi também processada. O cálculo de NDVI foi realizado a partir da ferramenta *Raster Calculator* a partir da fórmula:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad (1)$$

Onde,

NIR = Infravermelho próximo;

R = Vermelho

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise visual das imagens foram detectadas 19 cicatrizes no bioma Caatinga, 19 na Mata Atlântica e 46 no Cerrado. No Anexo I encontra-se a descrição de todas as cicatrizes. Abaixo, (Figura 1) tem-se um exemplo de como foi analisado o tempo de permanência da cicatriz bem como o NDVI durante o processo de reestabelecimento da vegetação no bioma Caatinga. A cicatriz número 12 apresenta área de 84,7 ha enquanto a cicatriz número 13 tem 117,84 ha. Ambas estão sobre áreas destinadas à agricultura (classe identificada a partir de classificação visual) e estão situadas no município de Grão Mongol, norte do estado de Minas Gerais. A data da queimada foi em 18/09/05.

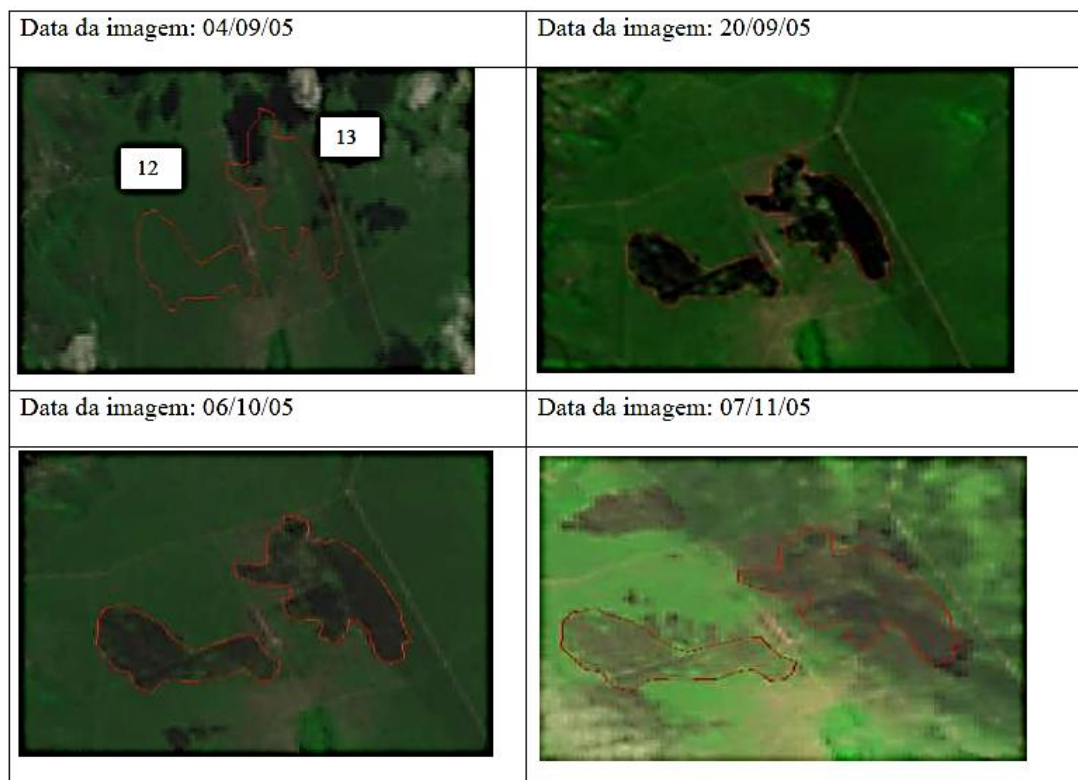


Figura 1: cicatriz sobre o bioma Caatinga

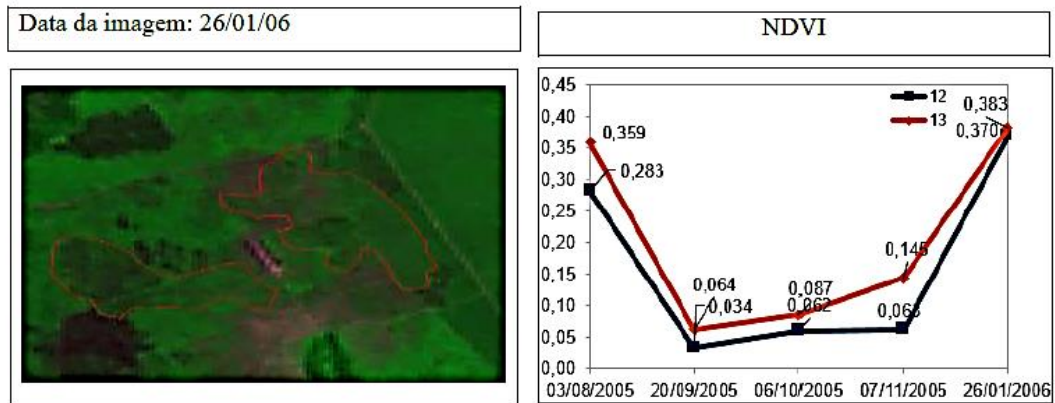


Figura 1: cicatriz sobre o bioma Caatinga (continuação)

É possível observar que a data da imagem onde aparece a queimada é de dois dias após a queima e o NDVI das cicatrizes 12 e 13 passam, de 0,28 e 0,36 para 0,034 e 0,064, respectivamente, demonstrando a perda de vegetação. É válido ressaltar que a data de captura do foco de calor ocorre no mês de setembro, época de estiagem para o clima predominante na região. Após 130 dias do início da queimada, a cicatriz desapareceu completamente, não deixando mais evidências de sua ocorrência na paisagem.

A Figura 2 representa a média das variações do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para as 19 cicatrizes. Pode-se observar que a cicatriz 17 apresenta ascensão de NDVI ao contrário do comportamento esperado. Esse fato se dá pela presença de nuvens na primeira imagem, anterior às queimadas com data 03/08/05 como é demonstrado na figura 2.

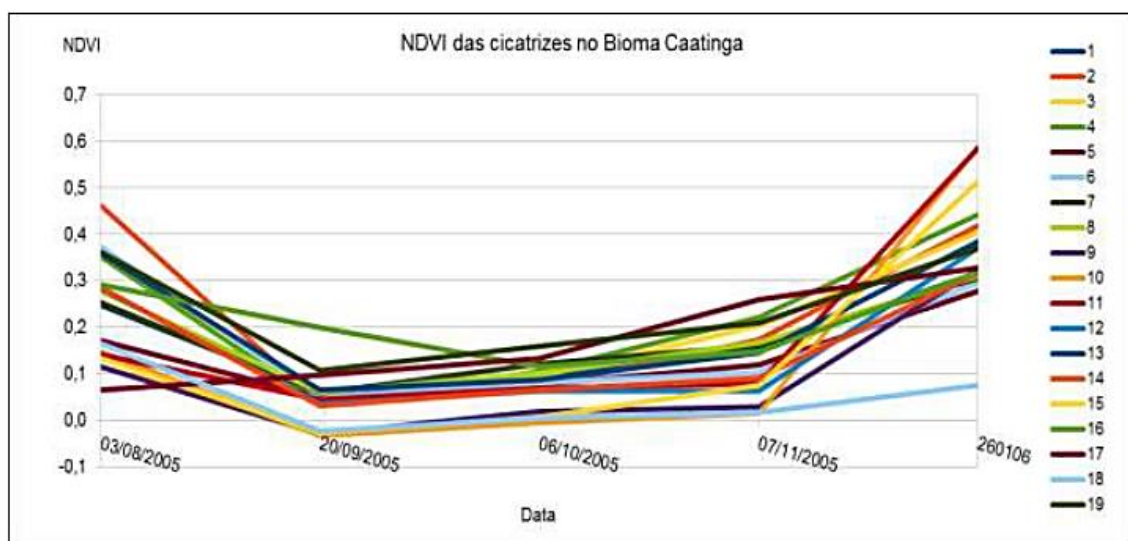


Figura 2: NDVI das cicatrizes no Cerrado

Em linhas gerais, o NDVI anterior às queimadas apresentam-se alto indicando o vigor da vegetação. Logo após a queima o índice cai perceptivelmente como indica no gráfico a imagem de 20/09/05. Com a recuperação da vegetação e desaparecimento da cicatriz, o índice volta a crescer. O fator propulsor desta mudança são as chuvas que ocorrem no período de verão e neste caso a recuperação se dá de forma mais efetiva entre os meses de novembro a janeiro. A cicatriz 16 apresenta também comportamento diferenciado. Isto se dá pelo fato de que o início da queimada desta cicatriz foi em 01/10/05, posterior às demais sendo que a data final da queimada foi estimada a partir o momento quem que não era possível visualizar sua cicatriz na paisagem.

Quanto ao uso do solo, no bioma Caatinga, das 19 cicatrizes identificadas, foi constatado que 10 estavam sobre áreas de agricultura, 4 sobre pastagem e 5 sobre áreas de mata como é apresentado na tabela a seguir. O uso agrícola predominante se dá principalmente na utilização de áreas ao longo dos cursos d' água onde o solo é mais fértil. Além disto, a queima para cultivo nesta região ainda é muito presente principalmente onde se observa práticas de agricultura rudimentar.

Tabela 3: Características das cicatrizes na Caatinga

<i>Cicatriz</i>	<i>Uso</i>	<i>Início</i>	<i>Fim</i>	<i>Área km²</i>	<i>Não Vista</i>	<i>Dias de Permanência</i>
1	Pastagem	13/09/2005	07/11/2005	2,45	26/01/2006	135
2	Pastagem	27/08/2005	26/01/2006	2,03	26/01/2006	152
3	Agricultura	06/09/2005	26/01/2006	2,40	26/01/2006	142
4	Agricultura	21/08/2005	26/01/2006	3,76	26/01/2006	158
5	Agricultura	14/09/2005	26/01/2006	3,24	26/01/2006	134
6	Mata	17/09/2005	26/01/2006	1,82	26/01/2006	131
7	Mata	06/10/2005	07/11/2005	0,37	26/01/2006	112
8	Mata	06/10/2005	07/11/2005	0,63	26/01/2006	112
9	Agricultura	18/09/2005	26/01/2006	1,78	26/01/2006	130
10	Agricultura	17/09/2005	26/01/2006	0,58	26/01/2006	131
11	Agricultura	11/09/2005	07/11/2005	0,78	26/01/2006	137
12	Agricultura	18/09/2005	26/01/2006	1,18	26/01/2006	130
13	Agricultura	18/09/2005	26/01/2006	0,85	26/01/2006	130
14	Pastagem	17/09/2005	26/01/2006	2,10	26/01/2006	131
15	Agricultura	18/09/2005	26/01/2006	8,60	26/01/2006	130
16	Mata	01/10/2005	26/01/2006	0,60	26/01/2006	117
17	Mata	13/09/2005	07/11/2005	1,03	07/11/2005	55
18	Agricultura	30/08/2005	26/01/2006	1,56	26/01/2006	149
19	Pastagem	17/09/2005	26/01/2006	1,23	26/01/2006	131

Ainda segundo os dados da Tabela 3, em média as cicatrizes no bioma Caatinga levam até 128 dias para se reconstituírem e voltarem a ter altos valores de NDVI. As cicatrizes identificadas sobre este bioma não são muito extensas, com áreas médias em torno de 1,94 km² e variando de 0,37 a 8,6 km².

Observa-se que a Tabela 3 possui uma coluna indicando a data do fim da queimada e uma coluna descrita como “não vista”. Este intervalo foi necessário devido algumas cicatrizes não apresentarem claramente evidências ou não de cinzas ou marcas deixadas pela combustão, sendo que, na data intitulada como “não vista” fica clara a sua completa extinção quando analisado visualmente na imagem de satélite, além de que a data da coluna “não vista” expressa maiores valores de NDVI do que a data imediatamente anterior aumentando o índice de confiabilidade da estimativa de tempo de permanência da cicatriz na paisagem.

No bioma Cerrado, das 45 cicatrizes identificadas, 11 estão em áreas de agricultura e 35 sobre pastagens. A Figura 3 demonstra a evolução do reestabelecimento da vegetação das queimada sobre o Cerrado. A cicatriz apresentada a seguir possui 106,77 km² e se localiza entre os municípios de Buritizeiro e São Gonçalo do Abaeté no norte do estado. O início da queimada deu-se no dia 23/08/10. Quando analisada o gráfico de NDVI, observa-se uma forte queda que anteriormente à queima era 0,317 e após a queima caiu para 0,055. Após revitalização da vegetação, o NDVI encontra-se maior que na imagem anterior a queima (07/07/10) sendo este de 0,374, fato que pode ser explicado devido ao período de maior pluviosidade da data da última imagem analisada.

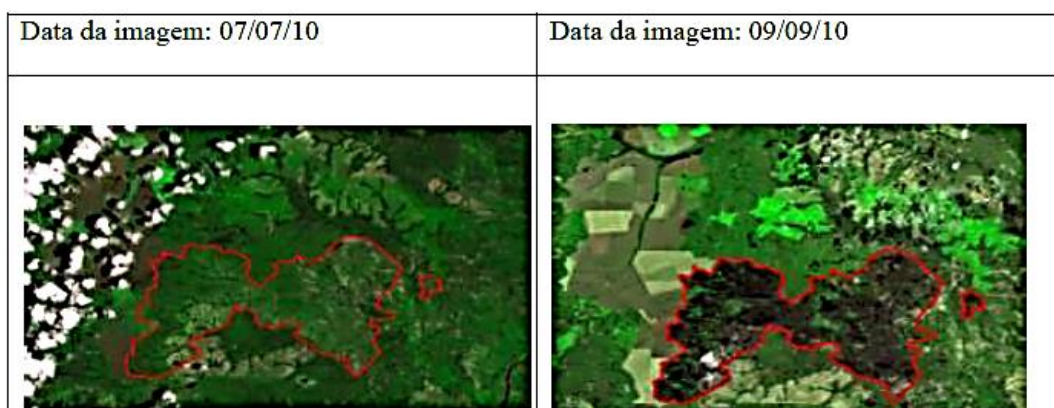


Figura 3: Cicatriz no bioma Cerrado

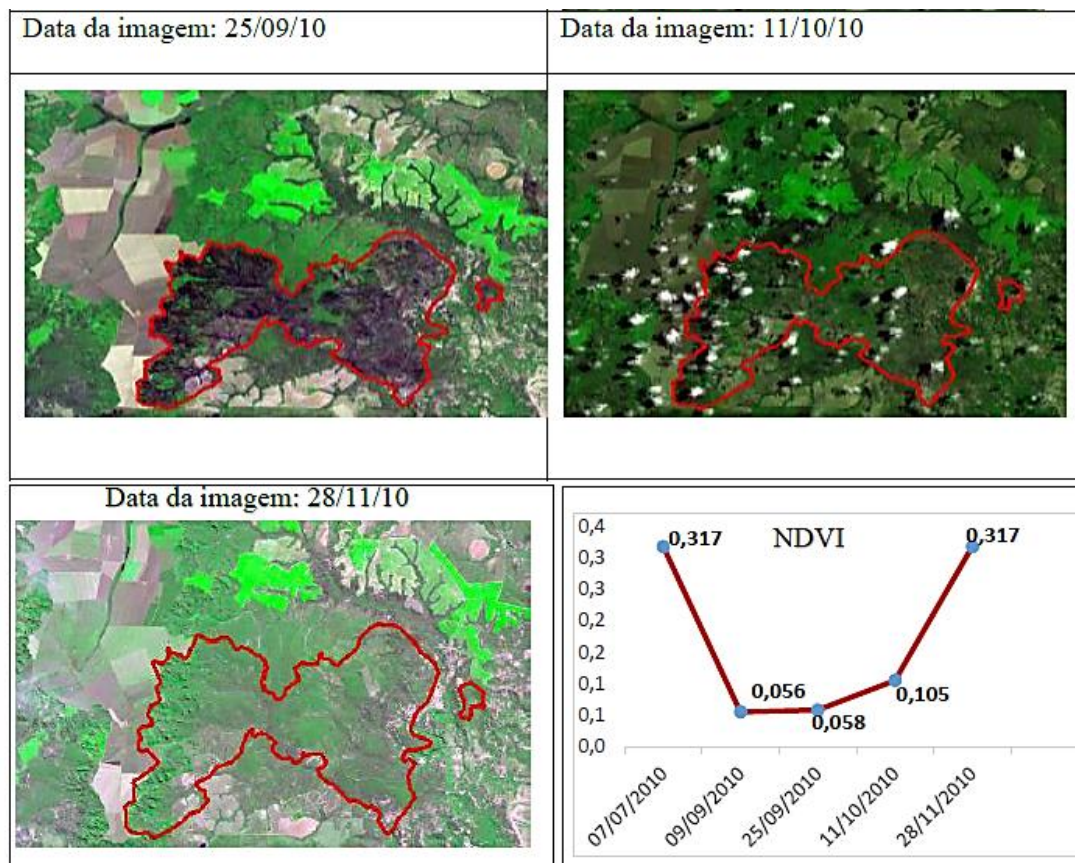


Figura 3: Cicatriz no bioma Cerrado (Continuação).

A figura 4, representa o NDVI para as 46 cicatrizes. Observa-se um comportamento homogêneo em que o NDVI decresce bruscamente após a queima e se recupera progressivamente até atingir altos valores.

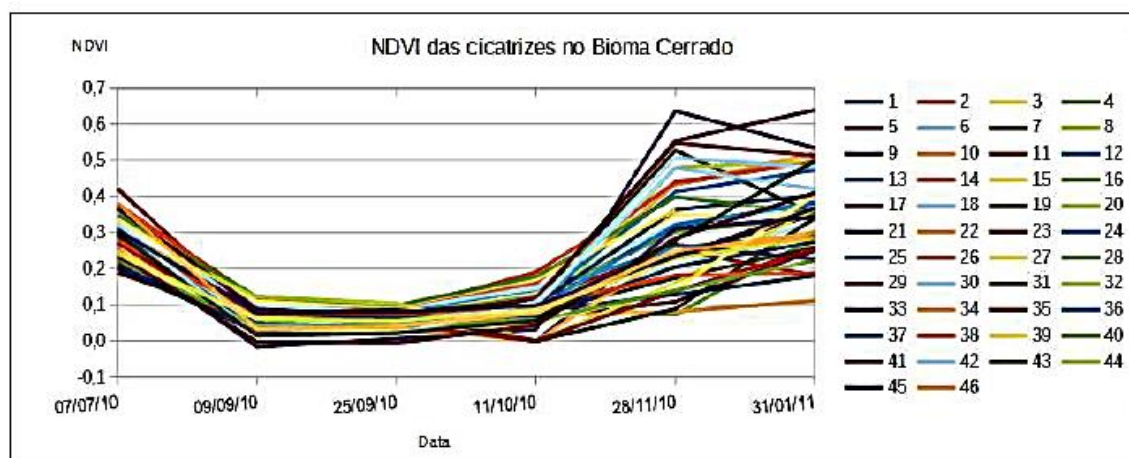


Figura 4: NDVI das cicatrizes no bioma Cerrado

A tabela 4, mostra a data de início e fim das queimadas. A área de cada cicatriz também pode ser observada sendo que a menor cicatriz identificada tinha 0,28 km² enquanto a maior

106,77 km². No Cerrado as cicatrizes identificadas possuem em média 7,26 km² área superior à média da Caatinga. No bioma cerrado a permanência da cicatriz na paisagem é de 87 dias o que em comparação com o bioma Caatinga é inferior. O principal motivo que pode explicar esse número é a maior pluviosidade do Cerrado em relação à Caatinga principalmente nos meses de verão.

No Cerrado, para imagens Landsat a identificação das cicatrizes foi relativamente simples o que levou a um número maior de cicatrizes identificadas em detrimento dos demais biomas. Áreas de pastagem como pode ser observado na tabela 2 são as áreas em que mais ocorrem a queima.

Tabela 4: Especificações das cicatrizes no bioma Cerrado

<i>Cicatriz</i>	<i>Uso</i>	<i>Início</i>	<i>Fim</i>	<i>Não Vista</i>	<i>Área km²</i>	<i>Dias de Permanência</i>
1	Pastagem	23/08/10	11/10/10	28/11/10	106,77	97
2	Pastagem	03/09/10	11/10/10	28/11/10	1,59	86
3	Pastagem	04/09/10	11/10/10	28/11/10	20,06	85
4	Pastagem	03/09/10	11/10/10	28/11/10	9,82	86
5	Agricultura	08/08/10	11/10/10	28/11/10	4,57	112
6	Pastagem	10/08/10	28/11/10	31/01/11	27,10	174
7	Pastagem	01/09/10	11/10/10	28/11/10	8,31	88
8	Pastagem	27/08/10	11/10/10	28/11/10	1,47	93
9	Agricultura	06/09/10	11/10/10	28/11/10	1,88	83
10	Agricultura	06/09/10	11/10/10	28/11/10	1,71	83
11	Pastagem	17/08/10	11/10/10	28/11/10	1,35	103
12	Pastagem	26/08/10	11/10/10	28/11/10	3,28	94
13	Pastagem	30/08/10	28/11/10	28/11/10	6,50	90
14	Pastagem	07/09/10	28/11/10	28/11/10	5,76	82
15	Pastagem	26/08/10	11/10/10	28/11/10	10,19	94
16	Pastagem	24/08/10	11/10/10	28/11/10	3,03	96
17	Pastagem	03/08/10	25/09/10	11/10/10	1,14	69
18	Pastagem	31/08/10	28/11/10	28/11/10	1,42	89
19	Agricultura	17/08/10	11/10/10	28/11/10	9,68	103
20	Agricultura	21/08/10	11/10/10	28/11/10	0,69	99
21	Agricultura	07/09/10	11/10/10	28/11/10	0,28	82
22	Pastagem	03/08/10	11/10/10	28/11/10	1,75	117
23	Pastagem	03/08/10	11/10/10	28/11/10	6,31	117
24	Agricultura	08/09/10	28/11/10	28/11/10	5,72	81
25	Pastagem	30/08/10	28/11/10	31/01/11	4,37	154
26	Pastagem	05/09/10	25/09/10	11/10/10	7,24	36
27	Pastagem	27/08/10	11/10/10	28/11/10	11,06	93
28	Pastagem	27/08/10	11/10/10	28/11/10	1,86	93
29	Pastagem	25/08/10	11/10/10	28/11/10	0,96	95
30	Pastagem	25/09/10	11/10/10	28/11/10	6,54	64
31	Pastagem	08/08/10	11/10/10	11/10/10	13,12	64
32	Pastagem	07/08/10	11/10/10	11/10/10	2,16	65

Tabela 4: Especificações das cicatrizes no bioma Cerrado (continuação)

33	Pastagem	04/09/10	11/10/10	28/11/10	7,27	85
34	Pastagem	08/09/10	11/10/10	28/11/10	4,63	81
35	Pastagem	07/09/10	25/09/10	11/10/10	2,62	34
36	Pastagem	07/09/10	11/10/10	11/10/10	1,96	34
37	Pastagem	04/09/10	11/10/10	11/10/10	3,55	37
38	Pastagem	07/08/10	11/10/10	11/10/10	1,28	65
39	Pastagem	31/08/10	28/11/10	28/11/10	7,03	89
40	Pastagem	23/08/10	11/10/10	11/10/10	1,92	49
41	Agricultura	11/08/10	28/11/10	28/11/10	5,97	109
42	Agricultura	30/08/10	28/11/10	28/11/10	1,45	90
43	Agricultura	29/07/10	11/10/10	28/11/10	0,67	122
44	Pastagem	15/09/10	11/10/10	11/10/10	2,33	26
45	Pastagem	27/09/10	11/10/10	28/11/10	4,85	62
46	Agricultura	28/08/10	28/11/10	31/01/11	0,87	156

Na Mata Atlântica, das 19 cicatrizes identificadas, apenas 2 estão em áreas de agricultura e 17 sobre pastagens. As imagens a seguir (Figura 5) demonstram a evolução do reestabelecimento da vegetação em queimada sobre a Mata Atlântica. A cicatriz apresentada fica no município de Carrancas e possui uma área de 22,34 km². O início da queimada deu-se no dia 02/09/12.

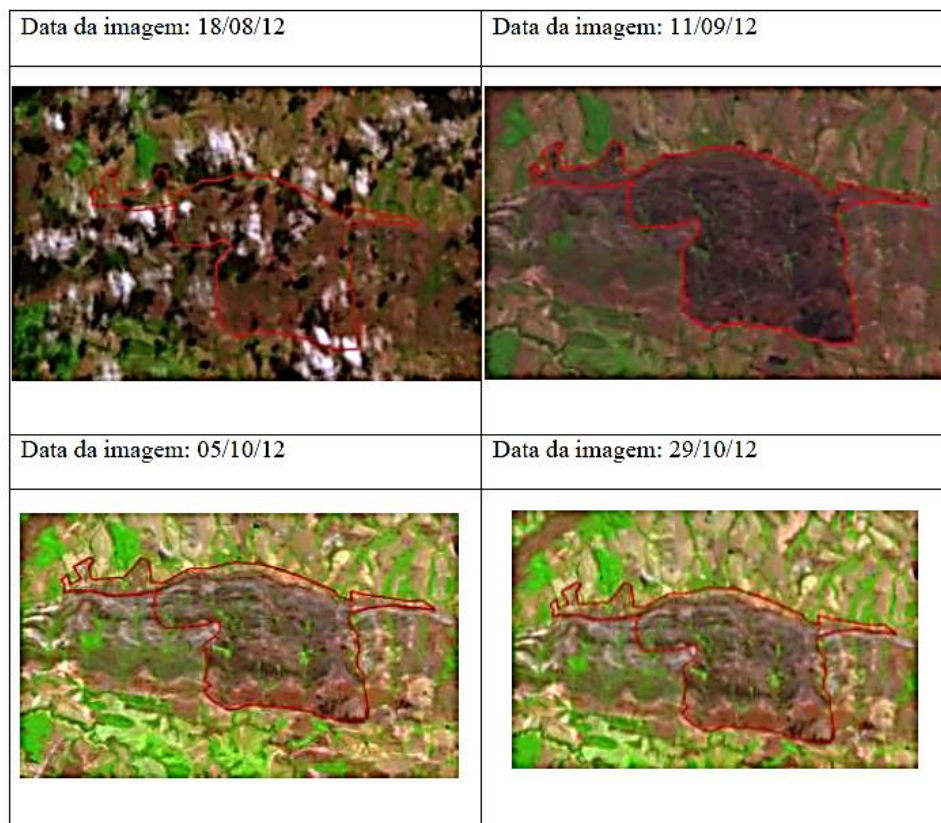


Figura 5: cicatrizes no bioma Mata Atlântica

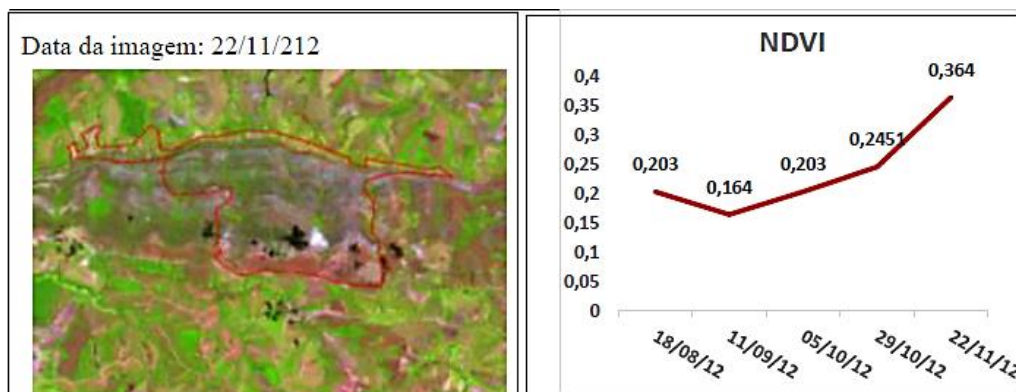


Figura 5: cicatrizes no bioma Mata Atlântica

Apesar do valor de NDVI na imagem do dia 22/11/12 estar elevado, visualmente não é possível observar a vegetação com tanto vigor como era esperado. Isto se deve pelo fato de que a área onde encontra-se essa cicatriz está sobre rocha exposta com no máximo uma fina camada de solo, isto dificulta a diferenciação da cicatriz antes e depois da queima onde o contraste não é tão efetivo como nas cicatrizes observadas no Cerrado e na Caatinga.

A figura 6 apresenta o gráfico de valores de NDVI para as 19 cicatrizes no bioma Mata Atlântica. É observado uma heterogeneidade nos valores que pode também ser analisada no Anexo I. Essa variação se dá principalmente pela grande quantidade de nuvens nas imagens do sensor LISS III do satélite ResourceSat-1. A presença de nuvem em determinada imagem faz com que o NDVI decresça bruscamente. Apesar da nebulosidade, a imagem do ResourceSat-1 foi a que apresentou maiores condições de ser analisadas ao tempo de duração de uma cicatriz uma vez que imagens da série Landsat não forneceram imagens adequadas devido a massiva presença de nuvens impossibilitando qualquer tipo de análise espacial e/ou temporal.

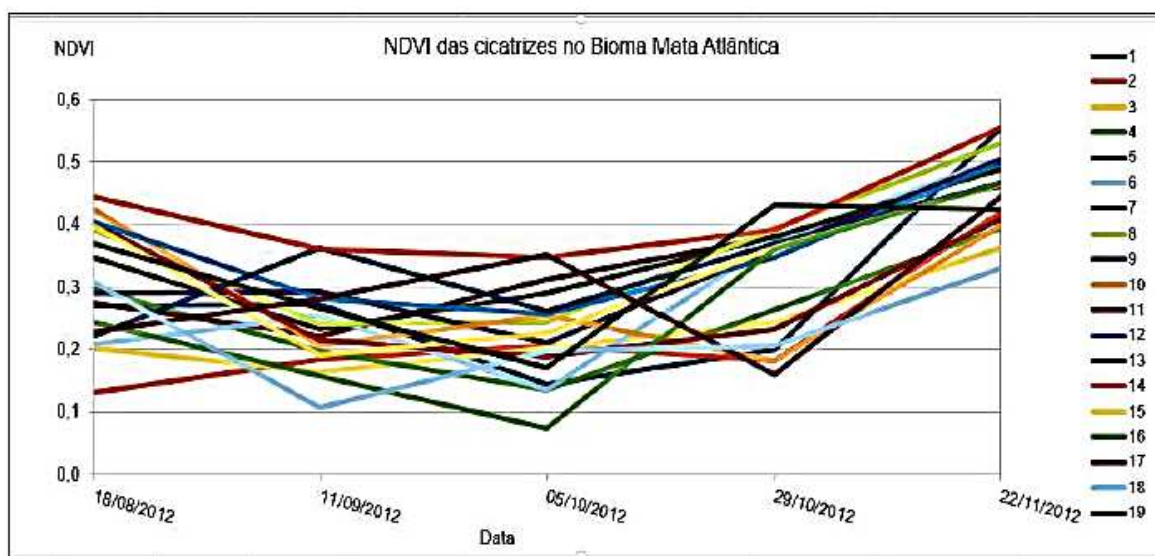


Figura 6: Comportamento do NDVI em cicatrizes na Mata Atlântica

Na Tabela 5 é apresentado as especificações das cicatrizes. Na Mata Atlântica, identificaram-se cicatrizes com as menores áreas entre os três biomas. A média do tamanhos das cicatrizes é de 1.66 km² variando entre 0,08 e 22,35 km². O tempo de permanência das cicatrizes na paisagem é em média de 73 dias número inferior aos demais biomas o que pode ser explicado dentre outros fatores principalmente pelo maior índice de chuvas neste bioma.

Tabela 5: Especificações das cicatrizes no bioma Mata Atlântica

<i>Cicatriz</i>	<i>Uso</i>	<i>Início</i>	<i>Fim</i>	<i>Não vista</i>	<i>Área km²</i>	<i>Dias de Permanência</i>
1	Pastagem	20/08/12	29/10/12	29/12/12	0,55	70
2	Pastagem	10/08/12	29/10/12	29/10/12	0,30	80
3	Pastagem	02/09/12	22/11/12	22/11/12	22,35	81
4	Pastagem	09/09/12	22/11/12	22/11/12	0,65	74
5	Pastagem	08/09/12	29/10/12	29/10/12	0,15	51
6	Pastagem	07/09/12	22/11/12	22/11/12	0,62	76
7	Pastagem	22/08/12	29/10/12	22/11/12	0,33	68
8	Pastagem	07/09/12	22/11/12	22/11/12	1,01	76
9	Pastagem	18/08/12	29/10/12	29/10/12	0,82	72
10	Pastagem	18/08/12	22/11/12	22/11/12	0,13	96
11	Pastagem	25/08/12	29/10/12	22/11/12	0,25	65
12	Pastagem	10/09/12	22/11/12	22/11/12	2,96	73
13	Pastagem	01/09/12	22/11/12	22/11/12	0,18	82
14	Pastagem	09/09/12	29/10/12	29/10/12	0,21	50
15	Agricultura	09/09/12	22/11/12	22/11/12	0,10	74
16	Agricultura	10/09/12	22/11/12	22/11/12	0,11	73
17	Pastagem	02/09/12	22/11/12	22/11/12	0,80	81
18	Pastagem	09/09/12	22/11/12	22/11/12	0,08	74
19	Pastagem	01/09/12	22/11/12	22/11/12	0,11	82

6. CONCLUSÕES

- O tamanho das cicatrizes variou em entre os biomas estudados. A Mata Atlântica possui cicatrizes com menores áreas enquanto o Cerrado possui as maiores.
- A presença de nuvens dificulta a visualização da cicatriz além de interferir consideravelmente nos valores de NDVI, o que pode ser considerado uma dificuldade neste estudo principalmente para a o bioma Mata Atlântica que não dispunha de imagens 100% livre de nebulosidade.
- Quanto ao uso dos solos, as pastagens são as áreas onde é detectada o maior número de queimadas fator ligado principalmente à limpeza de áreas para diversos fins.
- O tempo de permanência de uma cicatriz na paisagem variou conforme o bioma. Na Caatinga este tempo pode chegar a 128 dias em média, enquanto no Cerrado chega a 87 dias e na Mata Atlântica 73 dias o que pode ser explicado pela diferença na média de pluviosidade entre os biomas no período seco e chuvoso.
- Cicatrizes sobre rocha ou solo exposto são mais difíceis de identificar devido suas características espectrais semelhantes às queimadas, sendo necessário a confirmação com os valores de NDVI pré e pós fogo.
- A técnica de diferença de NDVI foi positiva ao passo que auxilia na distinção entre valores no vigor da vegetação o que pode ser mais uma ferramenta importante na detecção de queimadas quando estas não são identificadas pelos satélites.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

Arino, O; Piccolini, I.; Siegert, F.; Eva, H; Chuvieco, E.; Martin, P.; Li, Z.; Fraser, R, H.; Kasischke, E.; Roy, D.; Pereira, J.; Stroppiana, D. (2000). **Burn scars mapping methods. In: Ahern F.; Grégoire, J.M.; Justice, C. Florest fire monitoring and mapping: a component of global observation of forest cover.** European Commission Joint Resarch Centre, 526 p.

SELHORST, D.; BROWN, I. **Queimadas na amazônia sul-ocidental, estado do Acre – Brasil: comparação entre produtos de satélites (GOES-8 e NOAA-12) e observações de campo.** in Anais XI SBSR, Belo horizonte, Brasil, 05 -10 abril 2003, INPE, p. 517-524.

GONTIJO, A. B; PEREIRA, A. A; OLIVEIRA, D.S.O; JUNIOR, F.W.A; **Detecção de queimadas e validação de focos de calor utilizando produtos de Sensoriamento Remoto.** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.7966.

8. ANEXOS

Tabela 1: NDVTs das cicatrizes no bioma Cerrado

<i>CICATRIZ</i>	<i>DATA</i>					
	07/07/10	09/09/10	25/09/10	11/10/10	28/11/10	31/01/11
1	0,317	0,056	0,058	0,105	0,317	0,375
2	0,292	0,066	0,056	0,078	0,242	0,291
3	0,186	0,047	0,038	0,094	0,074	0,277
4	0,237	0,066	0,059	0,097	0,072	0,289
5	0,211	0,046	0,045	0,061	0,109	0,251
6	0,306	0,101	0,079	0,154	0,202	0,335
7	0,223	0,020	0,042	0,078	0,174	0,259
8	0,280	0,030	0,066	0,117	0,229	0,303
9	0,210	0,060	0,069	0,088	0,266	0,226
10	0,190	0,056	0,056	0,067	0,081	0,111
11	0,421	0,071	0,070	0,119	0,252	0,181
12	0,273	0,060	0,077	0,137	0,258	0,294
13	0,202	0,048	0,056	0,082	0,128	0,181
14	0,379	0,112	0,084	0,191	0,433	0,501
15	0,274	0,073	0,072	0,130	0,350	0,344
16	0,282	0,074	0,073	0,123	0,301	0,343
17	0,189	0,056	0,067	0,079	0,234	0,349
18	0,352	0,101	0,097	0,146	0,323	0,371
19	0,307	0,080	0,079	0,108	0,528	0,351
20	0,273	0,026	0,033	0,062	0,480	0,496
21	0,256	-0,017	0,007	0,031	0,636	0,534
22	0,277	0,064	0,054	0,104	0,433	0,519
23	0,231	0,030	0,045	0,121	0,548	0,513
24	0,273	0,051	0,036	0,112	0,413	0,473
25	0,203	0,025	0,028	0,101	0,363	0,403
26	0,375	0,118	0,097	0,160	0,440	0,494
27	0,334	0,110	0,097	0,170	0,361	0,000
28	0,348	0,122	0,098	0,178	0,398	0,354
29	0,366	0,088	0,068	0,116	0,554	0,639
30	0,324	0,048	0,061	0,000	0,507	0,480
31	0,287	0,076	0,085	0,000	0,089	0,341
32	0,297	0,122	0,105	0,000	0,161	0,366
33	0,294	0,086	0,071	0,000	0,310	0,343
34	0,254	0,034	0,035	0,000	0,248	0,299
35	0,271	0,030	0,046	0,000	0,138	0,255
36	0,301	0,034	0,048	0,089	0,321	0,384
37	0,237	0,054	0,063	0,068	0,205	0,275
38	0,278	0,077	0,072	0,097	0,182	0,187
39	0,243	0,035	0,025	0,051	0,142	0,406
40	0,222	0,040	0,041	0,057	0,140	0,223
41	0,238	-0,002	-0,006	0,044	0,285	0,410
42	0,321	0,014	0,019	0,108	0,479	0,420
43	0,297	0,014	0,022	0,056	0,278	0,499
44	0,240	0,060	0,055	0,086	0,228	0,285
45	0,307	0,076	0,079	0,099	0,234	0,367
46	0,380	0,032	0,042	0,077	0,252	0,285

Tabela 2: NDVTs das cicatrizes no bioma Caatinga

CICATRIZ	DATA				
	03/08/2005	20/09/2005	06/10/2005	07/11/2005	26/01/2006
<i>1</i>	0,247	0,061	0,089	0,152	0,317
<i>2</i>	0,461	0,037	0,073	0,173	0,418
<i>3</i>	0,351	0,065	0,095	0,203	0,403
<i>4</i>	0,351	0,037	0,104	0,221	0,441
<i>5</i>	0,171	0,049	0,077	0,119	0,278
<i>6</i>	0,373	0,048	0,080	0,102	0,295
<i>7</i>	0,254	0,059	0,121	0,160	0,305
<i>8</i>	0,276	0,060	0,101	0,167	0,308
<i>9</i>	0,115	-0,030	0,018	0,028	0,324
<i>10</i>	0,146	-0,035	-0,007	0,014	0,586
<i>11</i>	0,140	0,045	0,069	0,078	0,584
<i>12</i>	0,283	0,034	0,062	0,063	0,370
<i>13</i>	0,359	0,064	0,087	0,145	0,383
<i>14</i>	0,285	0,031	0,064	0,091	0,315
<i>15</i>	0,132	-0,029	0,006	0,075	0,512
<i>16</i>	0,291	0,198	0,116	0,147	0,318
<i>17</i>	0,065	0,096	0,132	0,258	0,326
<i>18</i>	0,166	-0,025	0,003	0,017	0,074
<i>19</i>	0,361	0,106	0,158	0,209	0,370

Tabela 3: NDVI's das cicatrizes na Mata Atlântica

<i>Cicatriz</i>	<i>DATA</i>				
	18/08/2012	11/09/2012	05/10/2012	29/10/2012	22/11/2012
1	0,271	0,272	0,145	0,201	0,555
2	0,132	0,185	0,206	0,1827	0,42
3	0,203	0,164	0,203	0,2451	0,364
4	0,297	0,197	0,136	0,2634	0,393
5	0,274	0,222	0,313	0,3815	0,462
6	0,209	0,255	0,137	0,3731	0,506
7	0,348	0,233	0,291	0,381	0,488
8	0,392	0,242	0,244	0,395	0,53
9	0,29	0,292	0,212	0,3601	0,505
10	0,424	0,207	0,256	0,1831	0,398
11	0,402	0,215	0,188	0,2331	0,409
12	0,406	0,282	0,257	0,3479	0,499
13	0,223	0,362	0,262	0,3706	0,466
14	0,444	0,361	0,347	0,3924	0,554
15	0,399	0,19	0,226	0,3638	0,465
16	0,245	0,159	0,074	0,3604	0,466
17	0,229	0,281	0,353	0,1594	0,445
18	0,307	0,107	0,197	0,2075	0,331
19	0,369	0,265	0,171	0,4307	0,425