

CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL VEGETATIVO PROPÍCIO A QUEIMA A PARTIR DE DADOS ORBITAIS DO SENSOR MODIS

Jonathan da Rocha Miranda

Mestrando em Recursos Hídricos UFLA
jonathanrocha7@yahoo.com.br

Gracielle de Brito Sales

Mestranda em Produção Vegetal UFMG
graciellesales@hotmail.com

Cristina Rodrigues Nascimento

Prof. Dr. da UFRP
crisrodnas@gmail.com

RESUMO

As brigadas de incêndio exercem papel de combate e prevenção a incêndios florestais, sendo que os trabalhos de vigilância têm como alvo operacional a busca por presença de focos ativos. O monitoramento pontual em locais susceptíveis a queima ainda é um tema pouco trabalhado devido à variabilidade dos fatores que contribuem para a proliferação do fogo, tais como as condições do material combustível. Neste contexto, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar a dinâmica de tendência de proliferação da queima, em função dos agentes dispersores, através da correlação dos índices espectrais NDVI e NDWI em relação à extensão dos fragmentos de queimadas. Os dados foram integralizados a árvore de decisão que estabeleceu um conjunto de regras, baseado nas observações de seca antes do início do incêndio. Em resposta ao processamento empregado, obteve-se um algoritmo capaz de mapear as áreas sensíveis ao fogo em função da condição da vegetação seca. Neste estudo, foi possível pré-determinar cerca de 20% dos fragmentos encontrados pós-queima, resultado que pode auxiliar as equipes de brigadistas no combate e prevenção aos incêndios florestais, determinar as áreas prioritárias quanto ao monitoramento pontual, dos locais susceptíveis a queima.

Palavras-chave: Proliferação de queima; Índices espectrais; Mineração de dados.

CHARACTERIZATION OF THE VEGETATIVE FAVORABLE PROFILE TO BURNING FROM ORBITAL DATA OF THE SENSOR MODIS

ABSTRACT

The fire brigades have a combat role and forest fire prevention and surveillance work targeting operational search for presence of active foci. The punctual monitoring in sites susceptible to Burns is still a little theme worked due to variability of the factors that contribute to the spread of fire, such as the conditions of combustible material. In this context the present research aimed to evaluate the trend of proliferation dynamics of burning the dispersers, agents through the correlation of spectral indexes NDVI and NDWI in relation to extension of the fragments of burned. The data were entered the decision tree that has established a set of rules, based on the findings of drought before the start of the fire. In response to processing employee, obtained an algorithm able to map the fire-sensitive areas according to the condition of dry vegetation. In this study, it was possible to pre-determine about of 20% of the fragments found after burning, the result that can help emergency teams in fighting and preventing forest fires, determine the priority areas as the punctual monitoring, susceptible to burning.

Keywords: Proliferation of burning; Spectral rates; Mining of data.

Recebido em 02/02/2015
Aprovado para publicação em 30/09/2015

INTRODUÇÃO

O Estado de Minas Gerais possui valiosas Unidades de Conservação (UCs) e uma crescente necessidade de elaborar medidas para combater com melhor eficácia o risco de incêndios. O efetivo controle das fontes de risco requer o conhecimento de como essas operam localmente e quando e onde os incêndios ocorrem mais comumente. Estas informações estão vinculadas a um registro individual da ocorrência e este registro é a principal fonte de toda a estatística a respeito da quantificação de focos de incêndios. Os dados mais frequentes para programas de prevenção são: as causas dos incêndios; à época, local de ocorrência e a extensão da área queimada (SANTOS, 2004).

Os impactos provocados pela ação do fogo podem acarretar, direta ou indiretamente, grandes alterações no solo e na vegetação, decorrentes principalmente da redução do material morto, cobertura vegetal e alterações na umidade do solo, principalmente quando associado ao pastejo intensivo (CASTILHOS; JACQUES, 1984; PILLAR; QUADROS, 1997).

Neste âmbito o Sensoriamento Remoto pode auxiliar na aquisição de informações espaciais e temporais, que possibilitem a caracterização de ocorrências dos focos de calor, além da medição da área e da biomassa efetivamente afetadas pelo fogo, fornecendo importantes contribuições para estudos sobre esta temática, relacionando estes temas ao meio ambiente, e aos seus efeitos ecológicos, climáticos e na química da atmosfera (FLORENZANO, 2007).

O sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo das plataformas Terra e Aqua, possui a função de fornecer dados relativos aos fenômenos ocorridos na superfície da terra, nos oceanos e atmosfera (PIROMAL *et al.*, 2008). Lombardi (2009), avaliou o grau de concordância entre as áreas queimadas detectadas, e observou que os produtos do MODIS especificamente de detecção de área queimada (MCD45) são os mais apropriados para estimar a biomassa queimada, nos biomas onde obtiveram um desempenho adequado, quando há necessidade de se estimar de forma regular e sistemática a extensão das áreas queimadas em nível regional, continental ou global.

Neste contexto o referido trabalho teve como objetivo em estabelecer as condições vegetativa em seu estágio de seca que são capazes de favorecer na proliferação da queima. Os algoritmos elaborados possuem a capacidade de identificar nas imagens do sensor (MODIS) nos produtos de área queimada (MCD45) e refletância da superfície (MOD09). Utilizando de técnicas de otimização, baseados em algoritmos que possibilite a identificação operacional dos padrões das cicatrizes da queima e relacione com o perfil espectral da vegetação que foi atingida pelo fogo.

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

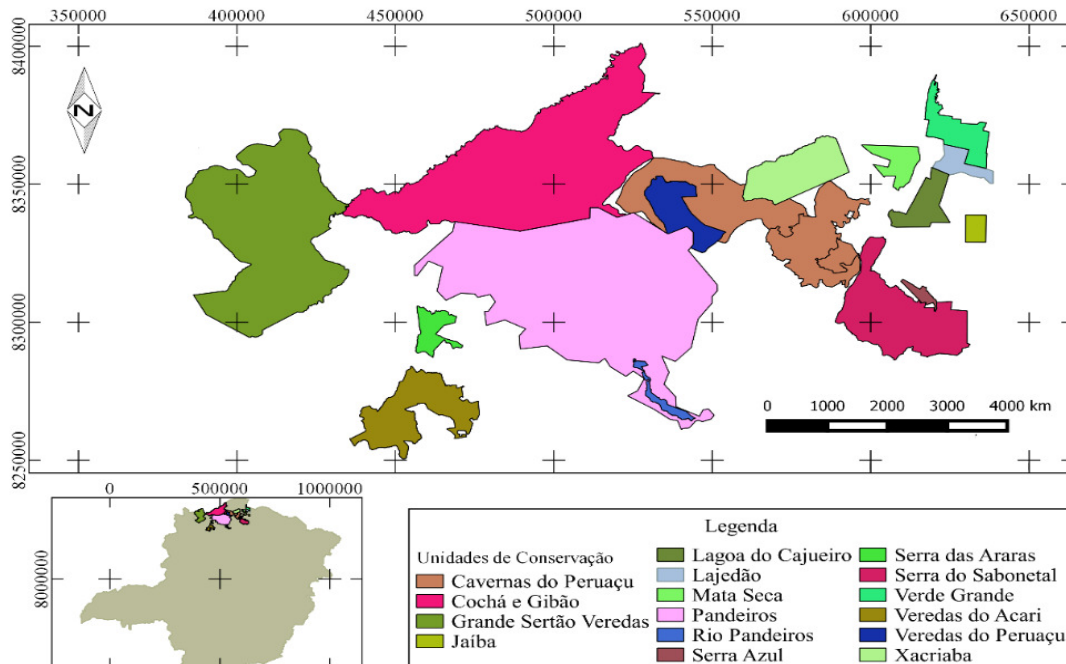
A Figura 1 representa as unidades de conservação concentrada na região Norte do Estado de Minas Gerais, a leste do Rio São Francisco, estas regiões estão sobre a administração Federal e Estadual, sendo classificadas por Parque Nacional, Refúgio de Vida Silvestre, Área de Proteção Ambiental, Parque Estadual e Terra Indígena (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização das unidades de conservação abrangidas no estudo

Unidade de conservação	Admin	Categoria da UC	Área (ha)
Grande Sertão Veredas	Federal	Parque Nacional	230.853,00
Veredas do Acari	Estadual	Refúgio de Vida Silvestre	58.780,50
Xacriabá	Federal	Terra Indígena	46.437,10
Cochá e Gibão	Estadual	Área de Proteção Ambiental	284.845,00
Pandeiros	Estadual	Área de Proteção Ambiental	380.478,00
Mata Seca	Estadual	Parque Estadual	15.367,20
Cavernas do Peruaçu	Federal	Área de Proteção Ambiental	143.354,00

Fonte: MINAS GERAIS (2014).

Figura 1. Localização espacial das Unidades de Conservação



Os incêndios nas unidades de conservação do Norte de Minas são recorrentes, devido às características climáticas, a baixa umidade relativa da vegetação e por questões culturais de uso da terra (PEREIRA, 2009). A área se encontra na transição entre os biomas Caatinga e Cerrado, com predomínio do Cerrado e suas variações, tornando-se extremamente sensível quanto à ação do fogo. Em grande parte da região, podem ser observadas a utilização de práticas agropecuária, onde é comum a utilização do fogo como ferramenta de manejo na abertura de novas áreas agrícolas, como também no controle de pragas de pastagens e lavouras, e para eliminar sobras de pasto envelhecidas, trazendo consequências a médio e longo prazo (NASCIMENTO *et al.*, 2012).

De acordo com o balanço de incêndios florestais 2012 disponibilizado pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), as UCs Pandeiros, Veredas do Acari e Cochá e Gibão tiveram 53, 33 e 18 ocorrências de incêndio registradas, respectivamente, ao longo do ano de 2012. No que se refere a área queimada em unidades Estadual, essas três UCs juntas somaram em 40.733,27 hectares atingidas pelo fogo, o que representou em cerca de 89% do total para todo o Estado de Minas Gerais, este dado apenas leva em consideração as áreas atingidas dentro das UCs.

AQUISIÇÃO DOS DADOS

Para a análise da caracterização e delimitação das cicatrizes queimadas foram adquiridos os seguintes dados.

- Imagens do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) produto MCD45 referente ao produto de área queimada que detecta as ocorrências de mudanças rápidas da refletância da superfície. Mapeia apenas os incêndios recentes a uma extensão espacial de 500 metros (BOSCHETTI *et al.*, 2009).
- MODIS produto MOD09 que é uma estimativa da refletância da superfície, computado a partir do nível 1A nas bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 com os comprimentos de onda centrados em 0,648 μm , 0,858 μm , 0,470 μm , 0,555 μm , 1,240 μm , 1,640 μm , e 2,130 μm , respectivamente. Estas bandas são definidas para o estudo da superfície terrestre (VERMOTE *et al.*, 2011).

As imagens do sensor MODIS foram adquiridas gratuitamente junto a *United States Geological Survey* (USGS) em sua base de dados *Global Visualization Viewer* (<http://glovis.usgs.gov/>).

Foram manipuladas um total de 33 imagens (Tabela 2) correspondente ao período de julho a outubro para os anos de verificação 2011 a 2013. Este período foi escolhido por representar a época de maior ocorrência de focos de calor ativos. Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2014), cerca de 82% de focos de calor ativos são detectados entre os meses de agosto a outubro nos casos registrados em Minas Gerais. Os casos de incêndio se intensifica neste período devido principalmente por se tratar pela época mais seca do ano e anteceder a estação chuvosa, onde muitos agricultores utilizam do fogo como ferramenta de manejo antes de iniciar o plantio. Esses focos são pontos geográficos captados por sensores espaciais na superfície do solo, quando detectado temperatura acima de 47°C e área mínima de 900m² (GONTIJO *et al.*, 2011).

Tabela 2. Composição das imagens selecionadas para o estudo

Produto	Resolução (metros)	Intervalo de Aquisição	Dia (dia/mês) (2011,2012 e 2013)	Banda espectral
MOD09A1	500	Diário	30/07, 03/09, 05/10, 30/10	IVM
MOD09Q1	250	Diário	30/07, 03/09, 05/10, 30/10	IVP, V
MCD45A1	500	Mensal	02/08, 02/09, 02/10	-

Os dados foram processados no *software* (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) SPRING 5.1.8 (CÂMARA *et al.*,1996), sendo as imagens do sensor MODIS convertidas do formato *Hierarchical Data Format* (HDF) para **.geotiff*, utilizando-se o aplicativo *MODIS Reprojection Tool* (MRT) esta ferramenta foi obtida gratuitamente por meio da *Land Processes Distributed Active Archive Center*.

CÁLCULO DOS ÍNDICES ESPECTRAIS NDVI E NDWI

O *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) se refere à condição mais aproximada sobre a condição da vegetação, segundo Ponzoni *et al.*(2007), este índice tem sido utilizado como ferramenta de monitoramento para descrever perfis sazonais e temporais da vegetação bem como a duração do período de crescimento, pico verde e mudanças fisiológicas das folhas. Obtido através da razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo e do vermelho, pela soma das mesmas (Equação1).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (1)$$

Em que: ρ_{NIR} =Refletância no canal infravermelho próximo e ρ_{RED} = Refletância no canal vermelho.

Calculado através de combinações das bandas espectrais do infravermelho próximo e infravermelho médio (Equação 2) o *Normalized Difference Water Index* (NDWI) é uma derivação do NDVI que caracteriza corpos de água e elimina a influência do solo na vegetação (ROSA *et al.*,2012).

$$NDWI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{MIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{MIR}} \quad (2)$$

Em que: ρ_{NIR} = Refletância no canal infravermelho próximo e ρ_{MIR} = Refletância no canal infravermelho médio.

CARACTERIZAÇÃO AUTOMÁTICA DAS CICATRIZES DE QUEIMA

Para caracterizar as áreas de queimadas foi desenvolvido um algoritmo de detecção automática, em (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) LEGAL/SPRING (CAMERA *et al.*,1996) capaz de:

- Realizar o cruzamento entre a área diagnosticada pelo fatiamento da imagem MCD45 e as regiões em que houve uma mudança abrupta de vegetação. A técnica de

detecção de mudanças utilizada foi a de imagem diferença segundo metodologia proposta por Mather (1999). Este dado foi gerado pela diferença do vigor vegetativo NDVI calculado a partir da refletância do produto MOD09 do sensor MODIS.

- Estabelecer a seguinte sentença de decisão: **Se** a imagem diferença possuir um valor negativo e possuir pixel correspondente na imagem ponderada do MCD45A1 **então** área queimada confirmada e/ou detectada.
- Ponderar a imagem considerando um peso de 6,25 que equivale a área de um pixel em hectares.
- Atualização do vetor das unidades de conservação com a operação de soma zonal orientada ao objeto.

Definidas as cicatrizes de queima em polígonos fechados, os mesmos foram convertidos em vetores, no qual se inseriu na tabela de atributos os objetos relativo à média dos índices NDVI e NDWI sobre cada fragmento. O algoritmo realizou a atualização da tabela pelo processo de atualização orientada ao objeto pela média zonal dos índices, para o período anterior a queima.

INDUÇÃO POR ÁRVORE DE DECISÃO

Baseando-se pela relação entre a extensão do fragmento da cicatriz da queima e os índices NDVI e NDWI, definiu-se os parâmetros para a análise da técnica de árvore de decisão. Neste processo se espera encontrar um padrão das condições da vegetação atingida pela queima, ou seja, em resposta aos índices vegetativos estima-se o potencial da extensão da cicatriz da queima. Esta técnica foi trabalhada pelo algoritmo de indução C4.5 do *software* WEKA 3.7 (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*) desenvolvido pela *University of Waikato* e disponível gratuitamente (<http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka>). Segundo Latorre *et al.*(2007), este método tende a dividir os dados em um conjunto de treinamento, até que cada subconjunto obtido deste particionamento contenha casos de uma única classe. Caso haja associações fora do previsto pode-se retirá-las pelo processo de poda. O autor ainda define que a poda é um passo importante para a correção de possível superestimação dos valores fora do previsto da análise.

A partir das regras de associação derivadas do processo da árvore de decisão, definiu-se a base do novo algoritmo que estabelece os locais pontuais susceptíveis a queima.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta a área das cicatrizes da queima dentro de cada UCs. Mesmo com a inclusão dos erros, os resultados se apresentam numa margem satisfatória no que diz respeito ao mapeamento por imagens de satélite de baixa resolução espacial. Segundo Shandley e Franklin (1996), o intervalo aceitável para exatidão de mapas temáticos varia de 80 a 95% de confiabilidade. Os dados foram confrontados de acordo com a área diagnosticada pelo boletim de queimada fornecido pelo Instituto Chico Mendes (ICM, 2012) para as unidades federais e o relatório do SEMAD (2012) para as unidades estaduais, consideradas referência ou verdade de campo.

Tabela 3. Área queimada no período seco para ano de 2012

Unidade de conservação	Área diagnosticada pelo algoritmo (ha)	Área diagnosticada pelos órgãos responsáveis (ICM, SEMAD) (ha)	Erro da observação
Cochá e Gibão	24.900,00	24.719,18	-1%
Grande Sertão Veredas	16.737,50	17.043,47	2%
Pandeiros	12.500,00	13.806,63	9%
Veredas do Acari	1.493,75	2.207,46	32%
Xacriabá	1.268,75	-	-
Mata Seca	675,00	-	-
Cavernas do Peruaçu	275,00	-	-

Para a unidade Veredas do Acari mesmo apresentando um erro de 32%, pode-se considerar uma margem dentro dos limites esperado, pois o trabalho foi realizado na época seca do ano, portando não contabilizando possíveis queimadas fora da data do período. Outra ressalva que justifique a omissão dos dados está relacionada a resolução espacial baixa que o satélite opera, onde se detecta apenas regiões com o raio maior de 500m. Segundo Pereira *et al.* (1997), é importante conhecer o intervalo de tempo entre a ocorrência do fogo e a data de aquisição dos dados espectrais devido às alterações que irão ocorrer na refletância destas áreas, ocasionadas pela recuperação da vegetação atingida pelo fogo. Os resultados do processamento são compatíveis aos encontrados por Araújo e Ferreira Júnior (2011), de acordo com os autores o mapeamento das cicatrizes da queima pelo produto MCD45/MODIS apresenta resultado satisfatório para o bioma Cerrado, devido a sua alta acuidade, discriminando grandes e pequenas áreas atingidas pelo fogo.

No restante das observações nota-se um erro máximo de 9% para a APA Pandeiros, estas pequenas oscilações de detecção de área em superestima ou subestimar as cicatrizes de queima, estar relacionado muito em função da própria mudança natural da superfície. Segundo Pereira e Setzer (1996), a dispersão de cinzas pelo vento e a rebrota da vegetação neste período também pode resultar em problemas na identificação operacional das queimas.

Em toda a extensão foi diagnosticada um total de 193 cicatrizes distribuídas entre as UCs (Figura 2). Deste total 143 correspondem às cicatrizes com a área menor que 200 hectares, o que representa apenas a 10,2% de toda superfície queimada. As cicatrizes de extensão superior a 1700 hectares, contabilizadas por apenas 6 cicatrizes, representam um pouco mais de 48% do total da área queimada (Tabela 4). Os resultados demonstram que mesmo em pequenos casos, as queimadas de grandes extensões são as mais impactantes nas UCs e demandam um maior zelo em seu monitoramento e o acompanhamento das áreas sujeitas ao fenômeno.

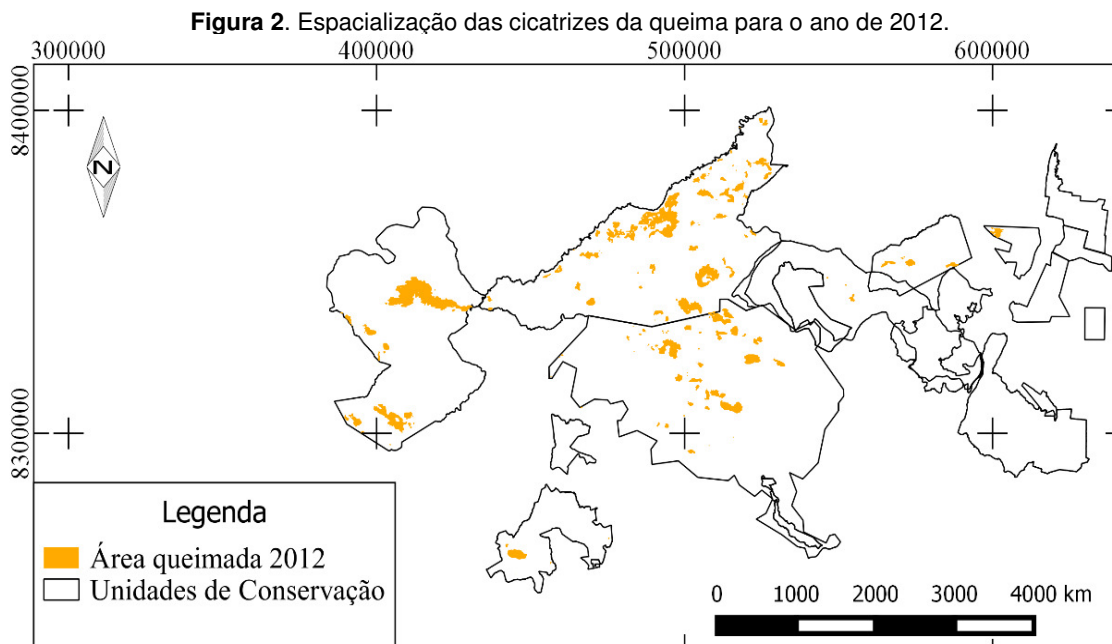


Tabela 4. Quantificação das cicatrizes em polígonos

Classe (ha)	Nº de polígonos	Área da classe (ha)	% da classe na cena
0-200	143	5.912,50	10,20%
200-400	20	6.050,00	10,40%
400-600	10	5.006,25	8,60%
600-800	8	5.750,00	9,90%
800-1700	6	7.193,75	12,40%

Classe (ha)	Nº de polígonos	Área da classe (ha)	% da classe na cena
Acima 1700	6	28.068,75	48,40%
Total	193	57.981,25	100,00%

Ao se analisar as médias dos índices, nota-se que em todas as classes o NDWI e NDVI (Tabela 5) apresentam flutuações de valores similares ao encontrado por Leiva *et al.* (2013), que sua pesquisa no monitoramento de seca, o índice encontrado variou entre -0,2 a -0,6 indicando a condição de baixa umidade. Em seu estudo também observou que o NDVI responde de acordo com as condições climáticas locais e precipitação, fator que pode influenciar no diagnóstico da severidade da seca.

Tabela 5. Regra de decisão para as classes

Classe (ha)	Regra de decisão
Acima 1700	NDWI < -0,23 e NDVI < 0,47
800-1700	-0,22 > NDWI > -0,23 e NDVI < 0,47
600-800	NDWI > -0,22 e NDVI < 0,47
400-600	0,49 < NDVI < 0,50
200-400	NDVI < 0,32
0-200	NDVI > 0,54

Percebe-se que em média o NDVI e o NDWI (Tabela 6) apresentam-se dentro da margem de resposta do que se espera de uma vegetação seca. Contudo, a amplitude dos valores não se correlaciona com a extensão da cicatriz de queima. Esta relação foi estabelecida somente pelo uso da mineração destas variáveis através da árvore de decisão.

Tabela 6. Média dos índices NDVI e NDWI para as classes

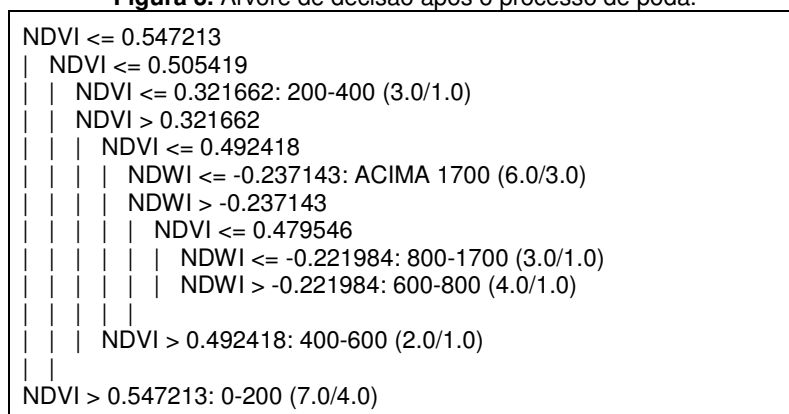
Classe (ha)	NDVI	NDWI
0-200	0,48	-0,21
200-400	0,47	-0,22
400-600	0,51	-0,21
600-800	0,44	-0,24
800-1700	0,51	-0,20
Acima 1700	0,44	-0,24
Média Geral	0,48	-0,22

Vale ressaltar que as regras estabelecidas pela árvore de decisão são apenas um parâmetro de tendência espacial de queima pela condição do material combustível, cuja vegetação apresenta índices de amplitude baixa que o discriminam em condições de seca.

As classes de menores dimensões (0-200, 200-400 e 400-600 hectares) possuem como critério de diagnóstico apenas a resposta do NDVI, e também nestas condições se enquadram as classes subsequentes de maiores proporções de área (Figura 3). Logo o tratamento somente com esta variável pode levar uma subestimativa do classificador, e como consequência, determinar de forma equivocada, o nível do risco por ponto analisado. Estas classes, como demonstrado na Tabela 6, mesmo que ocorram com maior frequência, sua severidade agride em uma escala inferior quando se compara às classes de maiores dimensões.

O uso do NDWI como parâmetro complementar, infere na determinação das classes mais severas (600-800, 800-1700 e acima 1700 hectares), e consequentemente no mapeamento das zonas de risco em função das condições de vegetação.

Figura 3. Árvore de decisão após o processo de poda.



No teste de validação da regra de decisão aplicado para os anos de 2011 e 2013, as áreas mapeadas por risco de incêndio em função da amplitude dos índices espectrais (Tabela 7), coincidiram em 20 e 15%, respectivamente para os anos em estudo. Sendo que a regra aplicada se baseou nos parâmetros de análise em detectar o perfil de vegetação propícia a queimas de extensão severa correspondente às cicatrizes acima de 600 hectare, visto que de acordo com as características locais e da estação seca do ano, naturalmente grande parte das UCs atenderia a regra do perfil de queima de menor porte (abaixo de 600 hectares).

Tabela 5. Quantificação das cicatrizes em polígonos e a relação do diagnóstico previsto pelo algoritmo para o ano de 2011 e 2013

Classe (ha)	Nº de polígonos (2011)	Nº de polígonos (2013)	Área da classe 2011 (ha)	Área da classe 2013 (ha)	% de polígono previsto de risco pelo algoritmo (2011)	% de polígono previsto de risco pelo algoritmo (2013)
0-200	52	27	2.843,28	1.428,31	9,62%	7,41%
200-400	16	5	4.274,50	1.386,06	25,00%	40,00%
400-600	14	1	7.988,75	593,18	42,86%	100,00%
600-800	10	-	6.708,90	-	50,00%	15,15%
800-1700	4	-	3.764,50	-	100,00%	-
Acima 1700	-	-	-	-	-	-
Total	96	33	25.579,94	3.407,56	25,00%	15,15%

Mesmo em menores casos, as cicatrizes de maiores extensões (acima de 600 ha), se enquadraram no perfil determinado pelo algoritmo, que o pré-determinou como potencial risco a queimas severas caso haja um foco no local. Porém a estrutura, logística e pessoal para as UCs são insuficientes para um planejamento de controle de incêndios. Segundo a SEMAD (2012) as unidades Pandeiros, Cochá e Gibão possuem 15 pessoas responsáveis pelo monitoramento dos focos de incêndio, atividades de combate e rondas periódicas, sendo que somente estas duas UCs possuem juntas uma área de 692.482,00 ha. Esta deficiência dificulta na detecção dos focos uma vez que se trata de locais de difícil acesso. O monitoramento de focos de calor disponibilizado pelo INPE, muitas vezes identifica pontos distante entre si, e pela deficiência de pessoal em realizar as patrulhas, podem ocasionar em queimas descontroladas pelo retardo no combate. Neste âmbito caso ocorra focos deste gênero, pode-se optar em atuar nos locais onde a vegetação se encontra seca e diagnosticada pelo algoritmo como risco de incêndio, podendo então prevenir e combater de forma mais pontual uma vez que se determinam as áreas prioritárias ao patrulhamento.

As Figuras 4 e 5 demonstram a distribuição das cicatrizes de queima e as regiões determinadas pelo algoritmo como material de risco de incêndio, observa-se que grande parte das cicatrizes da queima ou estão dentro ou próximas as regiões determinadas pelo algoritmo.

Figura 4. Espacialização dos focos de calor, cicatrizes de queima e risco a queima severa para o ano de 2011

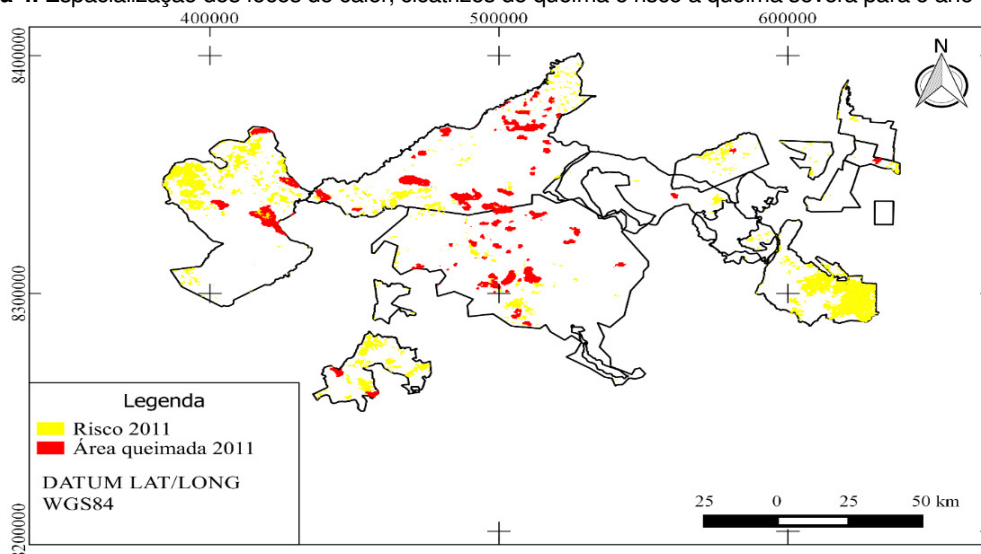
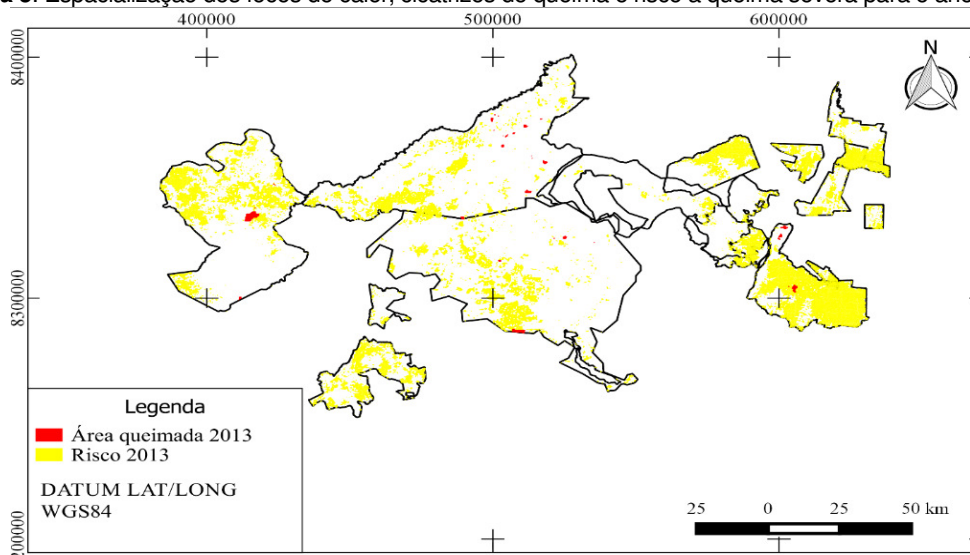


Figura 5. Espacialização dos focos de calor, cicatrizes de queima e risco a queima severa para o ano de 2013



O sistema empregado atual para o combate de incêndio nas UCs, utilizam-se dos pontos de focos disponibilizado pelo INPE e de sua localização para checar se há uma ocorrência de incêndio. Mas os pontos de focos de calor nem sempre se localizam em uma queima efetiva, segundo Miranda *et al.* (2012), 40% dos focos de calor são de fato um indício de queimada, ou seja, haverá caso onde um foco não corresponde a um incêndio, o que reforça o uso das análises pela árvore de decisão como ferramenta de prevenção e monitoramento de incêndios florestais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização da vegetação propícia à queima é um fator determinante para o planejamento do combate e prevenção do fogo. Os resultados demonstram que é possível determinar as áreas de risco à proliferação, em função dos seus índices espectrais NDWI e NDVI.

O mapeamento das áreas de risco pode auxiliar a equipe de brigadista em direcionar os combatentes em locais onde haja um maior risco de proliferação de queima. Uma vez que se monitorem estes locais o combate se torna mais ágil evitando a proliferação da queima em áreas sensíveis ou excessivamente seca.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, F.M; FERREIRA JÚNIOR, L.G. Validação do produto MODIS MCD45A1 área queimada utilizando imagens LANDSAT TM para o bioma Cerrado. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, **Anais...** Curitiba: INPE, 2011, p.6410 - 6417.

BOSCHETTI, L; ROY, D; HOLFFMANN, A.A. **MODIS Collection 5 Burned Area Product - MCD45**. Version 2.0, November 2009. Disponível em: <https://earthdata.nasa.gov/sites/default/files/field/document/MODIS_Burned_Area_Usr_Guide_2.0.pdf>. Acessado em: 10 de fevereiro de 2014.

CAMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, v.20, n.3, p.395-403, 1996.

CASTILHOS, Z.M.S; JACQUES, A.V.A. **Produção e qualidade de uma pastagem natural submetida a tratamentos de introdução de trevo vesiculoso cv. Yuchi (*Trifolium vesiculosum Savi*), ceifa e queima**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura Estado Rio Grande do Sul, v.11, p.65 112, 1984.

FLORENZANO, T.G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de textos, 2007. 101p.

GONTIJO, A.B; et al. Detecção de queimadas e validação de focos de calor utilizando produtos de Sensoriamento Remoto. IN: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, **Anais...** Curitiba: INPE, 2011, p.7966 - 7973.

ICM - Instituto Chico Mendes. **Nota informativa - Incêndios Florestais em Unidades de Conservação Federais**. Governo Federal, 25 de setembro de 2012. 3pg. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/servicos/boletins-de-incendio.html>>. Acessado em: 10 de janeiro de 2014.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Monitoramento de queimadas e incêndios**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/>>. Acesso em 10 mai. 2014.

LPDAAC - Land Processes Distributed Active Archive Center. **MODIS Reprojection Tool**. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/tools/modis_reprojection_tool>. Acesso em: 11 de março 2013.

LATORRE, M.L.; et al. Integração de dados de sensoriamento remoto multiresoluções para a representação da cobertura da terra utilizando campos contínuos de vegetação e classificação por árvores de decisão. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, n.1, p. 63-74. 2007.

LEIVA, J. F; et al. L. Monitoramento da seca de 2011/12 a partir do NDWI e NDVI padronizado do SPOT-Vegetation. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 364-370.

LOMBARDI, R.J.R. **Estimativa de áreas queimadas com produtos MODIS como subsídios à estimativa de emissões de gases de efeito estufa pela queima de biomassa na Amazônia e cerrado brasileiros**. 2009. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) Instituto de Pesquisa Espaciais – INPE. São José dos Campos: INPE, 2009. 187p.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. 2. ed. Chichester: John Wiley, 1999. 292p.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Balanco e Resultados 2012 e Plano de Ação 2013: Prevenção e Combate a Incêndios Florestais**. Workshop externo. Disponível em: <<http://www.meioambiente.mg.gov.br/previncendio-e-eventos-criticos/arquivos-previncendio>>. Acessado em: 17 de dezembro de 2013.

_____. **ZEE: Zoneamento Ecológico Econômico para o Estado de Minas Gerais**. 2014. Disponível em: <<http://geosisemanet.meioambiente.mg.gov.br/zee/>>. Acesso em: 20 de dezembro 2014.

MIRANDA, J. R., et al. SIG aplicado ao estudo temporal da recuperação de áreas queimadas na região norte do estado de Minas Gerais In: FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P.S. (Org.). **A engenharia agrícola na evolução dos sistemas de produção**. 1 ed. Londrina : SBEA, 2012, v.1, p. 564-572.

NASCIMENTO, C.R.; MIRANDA, J.R.; SALES, G.B. GIS applied to the study of temporal recovery of burned areas in the municipality of Pai Pedro located in region north of the state of Minas Gerais. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 2, p. 98-109, 2012.

PEREIRA JR., A.C.; SETZER, A.W. Comparison of fire detection in savannas using AVHRR's channel 3 and TM images. **International Journal of Remote Sensing**, v.17, n.10, p. 1925-1937, 1996.

PEREIRA, A.A. **Uso de geotecnologia para detecção e análise de queimadas e focos de calor em unidades de conservação no norte de Minas Gerais**. 2009. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Lavras: Universidade Federal de Lavras – UFLA, 91p.

PEREIRA, J.M.C.; et al. 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: Universidad de Alcalá, 1997. p. 127-183.

PILLAR, V.P; QUADROS, F.L.F. Grassland-forest boundaries in southern Brazil. **Coenoses**, v.12, v.2/3, p.119-126, 1997.

PIROMAL, R.A.S; et al. Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia. **Revista Acta Amazônica**, v. 38, n.1, p. 77 –84, 2008.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação**. São Jose dos Campos-SP. Ed: Parentese, 2007.

ROSA, A.N.C.S; et al. **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: Universidade de Brasília. 2012.

SANTOS, J. F. **Estatísticas dos Incêndios Florestais em Áreas Protegidas no Período de 1998 a 2002**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Curitiba: Universidade Federal do Paraná.

SHANDLEY, J.; FRANKLIN, J. Testing the Woodcock-Harward image segmentation algorithm in an area of southern California chaparral and woodland vegetation. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 17, n.5, p.983-1004, 1996.

VERMOTE, E.F; KOTCHENOVA, S.Y; RAY, J.P. **MODIS Surface Reflectance User's Guide - MODIS Land Surface Reflectance Science Computing Facility**. Version 1.3. February, 2011. Disponível em: < http://modis-sr.ltdri.org/products/MOD09_UserGuide_v1_3.pdf>. Acesso em: 15 de março de 2014.

WEKA. **Data Mining With Open Source Machine Learning Software**. Disponível em: <<http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>>. Acesso em: 20 de abril 2014.