

Mapeamento de áreas queimadas no Parque Estadual de Grão-Mogol-MG por meio de imagens Landsat-TM

Rosane Gomes da Silva¹
Ronie Silva Juvanhol¹
Jonathan da Rocha Miranda²
Cristina Rodrigues Nascimento³

¹ Universidade Federal do Espírito Santo - UFES/PPGCFL
Caixa postal 16 - CEP 29550-000, Jerônimo Monteiro - ES, Brasil
{rosanegomes.eaa, roniejuvanhol}@gmail.com

² Universidade Federal de Lavras/DEG
Caixa postal 3037 - CEP 37200-000, Lavras - MG, Brasil
Jonathanrocha7@yahoo.com.br

³ Universidade Federal Rural de Pernambuco/DEPA
Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n - CEP: 52171-900, Recife - PE, Brasil
crisrodnas@gmail.com

Abstract. In large areas, such as Brazil, monitoring of forest fires using satellite images is the most efficient and cheap from the detection methods. The aim of this study was verify the efficiency of spectral indices NDVI and NDBR in the identification and mapping of burnt areas from 2008 to 2011 in the Grão Mogol State Park (PEGM), in north of Minas Gerais State. For this, we used the Landsat-5 satellite images, TM sensor, referring to the orbit/point 218/71 of the years 2008 to 2011. The NDVI and NDBR were generated, as well as the images difference between the rates corresponding the previous scene and the later scene to the fire event. In addition, it recorded the relative difference (%) of the indices in relation to actual data, and performed Tukey test to check the differences between spectral indices. There was no change in landscape considered the years 2008, 2009 and 2010 in relation to the identification of burned areas. Standardised a distance of 15 to 30 days to the date of the post-burned image, it was found that the pixel values able to better distinguish the burned areas of the remaining was from 0.6 in all difference images studied, which allowed the identification of burning for 2011/09/04, 2011/08/18 and 2011/08/27. The Tukey test found no significant differences between indexes available, both of which were effective in mapping areas of burned scars.

Palavras-chave: image processing, spectral indices, burn scar, Cerrado biome, processamento de imagens, índices espectrais, cicatriz de queima, bioma Cerrado.

1. Introdução

O cerrado é um dos biomas brasileiros que mais sofre com relação a perda de cobertura vegetal remanescente. O desmatamento e os incêndios florestais são responsáveis por alterações da paisagem local e podem influenciar as taxas e os processos de sucessão ecológica. A agropecuária, atividade crescente nesse bioma, é a principal causa da supressão da vegetação. Além dos desmatamentos, muitas das práticas envolvem o uso do fogo, como a renovação de pastagens.

As unidades de conservação de proteção integral, como os parques estaduais, são áreas que visam proteger os atributos naturais, onde não é permitido o extrativismo, a pecuária e a agricultura. No entanto, o desmatamento e as queimadas, muitas vezes provenientes da propagação do fogo de propriedades vizinhas, afetam essas áreas, que dessa forma, não conseguem cumprir efetivamente com o seu objetivo de criação.

O impacto dos incêndios em escalas locais, regionais e globais foi revisado em Stolle e Lambin (2003) e Lentile et al. (2006). Em escala local, o fogo pode estimular processos microbianos do solo e a combustão da vegetação, em última análise, alterando a estrutura e a composição de solos e vegetação (Lentile et al., 2006). Em escalas regionais e globais, a

combustão da floresta e vegetação de pastagem libera grandes volumes de gases radiativamente ativos, aerossóis pirogênicos que significativamente influenciam o orçamento radiativo da terra e a química atmosférica (Andreae e Merlet, 2001), afetando a qualidade do ar (Hardy et al., 2001) e aumentando a preocupação sobre os riscos para a saúde humana (Stefanidou et al., 2008). Considerando esses impactos, é importante o monitoramento das áreas afetadas, a fim de auxiliar nos processos de tomada de decisão. Além disso, estudar os processos de regeneração natural da vegetação possibilita entender quais ações devem ser tomadas como auxílio à gestão das áreas protegidas.

Existe um grande número de sistemas de detecção de incêndios florestais utilizados pelas autoridades. Podem-se utilizar meios de detecção por meio de vigilância terrestre e torres de observação, patrulhamento aéreo com aeronaves ou monitoramento por imagens de satélite. No caso de extensas áreas, como no Brasil, o monitoramento dos incêndios florestais por meio de imagens de satélite é o mais eficiente e de baixo custo. As ações de controle ambiental e efeito do fogo sobre a atmosfera é viável com uso de imagens de satélite, o que exige informações de qualidade e confiáveis (Batista, 2013).

O uso de técnicas, como índices espectrais para monitoramento e análise de incêndios florestais, é viável e preciso, pois a associação das bandas espectrais do sensor permite o contraste entre os alvos com diferentes respostas espectrais. Imagens Landsat - TM são eficientes na detecção e monitoramento de áreas queimadas, no que se refere às análises visual e automática e são disponibilizadas gratuitamente por vários órgãos de pesquisa no mundo. A banda 4 do sensor é a melhor para identificação e quantificação de áreas queimadas, observando-se os tons e contrastes em relação às outras superfícies. Em contrapartida devido a uma maior homogeneidade, a banda 5 é a melhor para identificar áreas não atingidas pelo fogo (Ponzonni et al., 1986).

O objetivo deste trabalho foi verificar a eficiência dos índices espectrais NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e NDBR (Índice de queimada Normalizada) na identificação e mapeamento de áreas queimadas no período de 2008 a 2011 no Parque Estadual de Grão Mogol (PEGM), norte do estado de Minas Gerais.

2. Metodologia do Trabalho

2.1 Área do estudo

A pesquisa foi realizada tendo como área de estudo o Parque Estadual de Grão Mogol, que se encontra inserido entre as coordenadas geográficas 16°36'55" e 16°12'40" de Latitude Sul e 42°58'4" e 42°46'32" de Longitude Oeste, fazendo parte da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha e, secundariamente, na bacia do rio Itacambiraçu, e na bacia terciária do rio Ventania. Ocupa parte do rio Extrema e parte da bacia hidrográfica do rio Vacaria (Minas Gerais, 1998), conforme a Figura 1.

De acordo com o Decreto nº 39.906 de 1998, o objetivo de sua criação é proteger a fauna e flora da região, as nascentes dos rios e córregos, propiciar desenvolvimento regional por meio de pesquisas e trabalhos científicos e o uso dos recursos naturais em atividades turísticas. A região de Grão Mogol é uma área prioritária de conservação em Minas Gerais no que diz respeito aos mamíferos e a Serra do Espinhaço no que diz respeito à flora, invertebrados e fatores abióticos (Fundação Biodiversitas, 2005).

Segundo Minas Gerais (1998), a Unidade de Conservação engloba diversas tipologias florestais, que variam de acordo com as condições fisiológicas. De um modo geral, predominam formações de campo cerrado, que se apresenta aberto e ralo; e ocorrência de campo sujo. Nas vertentes, há formação de brejos e no alto da serra, campos rupestres com vegetação subarbustiva herbácea entre afloramentos rochosos. A composição florística é diferenciada, com a presença de várias espécies endêmicas, raras e em extinção.

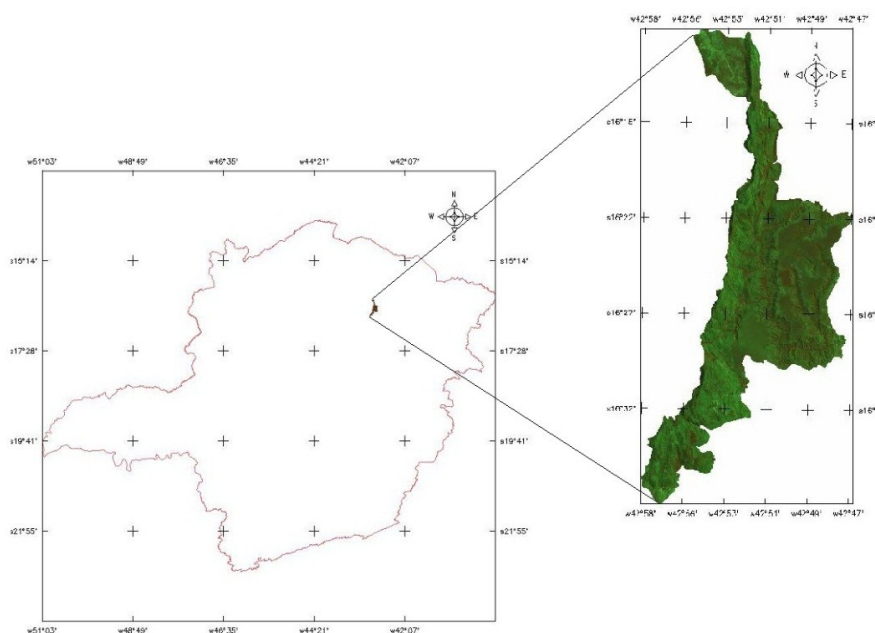


Figura 1- Localização espacial do Parque Estadual de Grão Mogol em Minas Gerais.

2.2 Dados e pré-processamento

Foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT-5, sensor TM, referentes à órbita/ponto 218/71, onde está inserida a região de Grão Mogol e o Parque Estadual de Grão Mogol. Essas imagens correspondem aos dias 07/05/2008, 26/07/2008, 27/08/2008, 12/09/2008, 26/05/2009, 29/07/2009, 15/09/2009, 01/08/2010, 17/08/2010, 18/09/2010, 04/08/2011, 20/08/2011, 05/09/2011, 21/09/2011. As cenas utilizadas no estudo correspondem às bandas 3, 4, 5 e 7 do satélite, representativas das regiões do vermelho (0,63- 0,69 μ m), infravermelho próximo (0,76- 0,90 μ m), infravermelho médio (1,550 – 1,750 μ m) e infravermelho médio (2,080 – 2,350 μ m), respectivamente. Essas cenas foram georreferenciadas utilizando como base imagem GEOCOVER/NASA.

A sequência de processamentos foi realizada no *software* SPRING 5.2. Para o recorte da área de estudo, foi utilizado arquivo vetorial em formato *.*shape*, correspondente às unidades de conservação estaduais de Minas Gerais e disponível no site do Zoneamento Ecológico Econômico de Minas Gerais (<http://www.zee.mg.gov.br/>), desenvolvido pelo Sistema Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais. Após destacada a área de interesse, foram realizadas as correções atmosférica e radiométrica, com o auxílio da linguagem de programação LEGAL. O método utilizado para as correções foi o método *Dark Object Subtraction* (DOS). Segundo Luiz et al. (2003), essa metodologia assume a existência de objetos escuros na imagem, com valores de refletância próximos de zero, mas que aparecem com valor superior devido ao efeito da atmosfera. Atribuindo-se um valor calculado a partir do mínimo valor do nível de cinza ao espalhamento, pode-se removê-lo de todos os pixels da imagem.

2.3 Mapeamento das áreas queimadas

Foram geradas as imagens de índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) e índice de queimada normalizada (NDBR) para todas as datas, utilizando-se a linguagem de programação LEGAL, do SPRING 5.2. O NDVI é determinado a partir da razão entre a diferença e a soma das refletâncias nas bandas infravermelho próximo e do vermelho, de acordo com a Equação 1 (Rouse et al., 1974):

$$NDVI = \frac{(\rho_4 - \rho_3)}{(\rho_4 + \rho_3)} \quad (1)$$

Onde: ρ_3 representa a refletância da região do vermelho e ρ_4 representa a refletância do infravermelho próximo. Os valores variam de -1 a +1, sendo o valor de -1 associado a presença de água, valores próximos de 0 associados a solos e o valor de +1 associado ao maior vigor da vegetação. O NDBR utiliza as bandas 4 e 7 do sensor TM, apresentando um melhor contraste entre a vegetação fotossinteticamente ativa e a área queimada (Cardozo et al., 2011). Esse índice é calculado a partir da Equação 2:

$$NDBR = \frac{(\rho_4 - \rho_7)}{(\rho_4 + \rho_7)} \quad (2)$$

Onde: ρ_7 representa a refletância da região do infravermelho médio e ρ_4 representa a refletância do infravermelho próximo.

Para a detecção das áreas queimadas, processou-se as imagens diferença ($\Delta NDVI$ e $\Delta NDBR$) entre os índices correspondentes à cena anterior e a cena posterior à data de queimada, considerando a disponibilidade de cenas, conforme Tabela 1.

Foram geradas 18 imagens diferença para cada índice e 36 imagens diferença no total.

Tabela 1. Cenas consideradas como anteriores e posteriores para a geração das imagens diferença

Ano	Imagens diferença estudadas	
	Cena anterior	Cena posterior
2008	07/05/2008	26/07/2008
	07/05/2008	27/08/2008
	07/05/2008	12/09/2008
	26/07/2008	27/08/2008
	26/07/2008	12/09/2008
	27/08/2008	12/09/2008
2009	26/05/2009	29/07/2009
	26/05/2009	15/09/2009
	29/07/2009	15/09/2009
2010	01/08/2010	17/08/2010
	01/08/2010	18/09/2010
	17/08/2010	18/09/2010
2011	04/08/2011	20/08/2011
	04/08/2011	05/09/2011
	04/08/2011	21/09/2011
	20/08/2011	05/09/2011
	20/08/2011	21/09/2011
	05/09/2011	21/09/2011

Para obter a confiabilidade dos índices gerados com imagens de satélite, foi necessário confrontar os resultados com dados obtidos no campo, considerados referência. Junto ao Instituto Estadual de Florestas (IEF), foram adquiridos os relatórios de ocorrência de incêndios florestais no PEGM entre 2008 e 2011. Esses relatórios correspondem aos dias 04/08/2008, 19/08/2011, 27/08/2011, 04/09/2011 e 09/09/2011.

Posteriormente foi contabilizada a diferença relativa (%) dos índices em relação aos dados reais, de acordo com a Equação 3 (Gomes e Malavolta, 1949).

$$\text{Dif relativa} = \frac{(\text{Dado real} - \text{Dado encontrado})}{\text{Dado real}} * 100 \quad (3)$$

Onde: Dado real corresponde ao valor da queimada real e Dado encontrado é o valor de área mapeada pelo índice. A estatística para verificar as diferenças entre os índices espectrais foi realizada pelo teste de média de *Tukey*, no *software* ASSISTAT 7.7. Foram considerados como tratamentos as datas de queimadas estudadas, e como repetições foram selecionados 26 amostras de pixel de cada imagem diferença, representativos de áreas que foram queimadas. As respostas encontradas pela aplicação dos dois índices espectrais foram associadas às fitofisionomias existentes no local.

3. Resultados e Discussão

A partir da interpretação das imagens RGB-543 foi possível perceber que não houve variação da paisagem para as datas consideradas dos anos de 2008, 2009 e 2010 em relação à identificação de áreas queimadas, o que esteve de acordo com as respostas dos índices NDVI e NDBR, que não identificaram eventos de queimadas. Por esse motivo, essas imagens não foram utilizadas no estudo do comportamento dos índices espectrais. Apenas no ano de 2011 foi observada alteração da paisagem relacionada à ocorrência de queimadas.

A Figura 2 mostra as imagens diferença dos índices entre as datas 20/08/2011 e 21/09/2011, utilizadas para caracterizar as queimadas ocorridas em 27/08/2011 e 04/09/2011, e, 04/08/2011 e 21/09/2011, utilizadas para caracterizar a queimada ocorrida em 19/08/2011). No caso das imagens diferença, em que a relação obedecida foi da imagem anterior à data de queimada com a imagem posterior, os valores de pixel oscilaram entre -2 e 2.

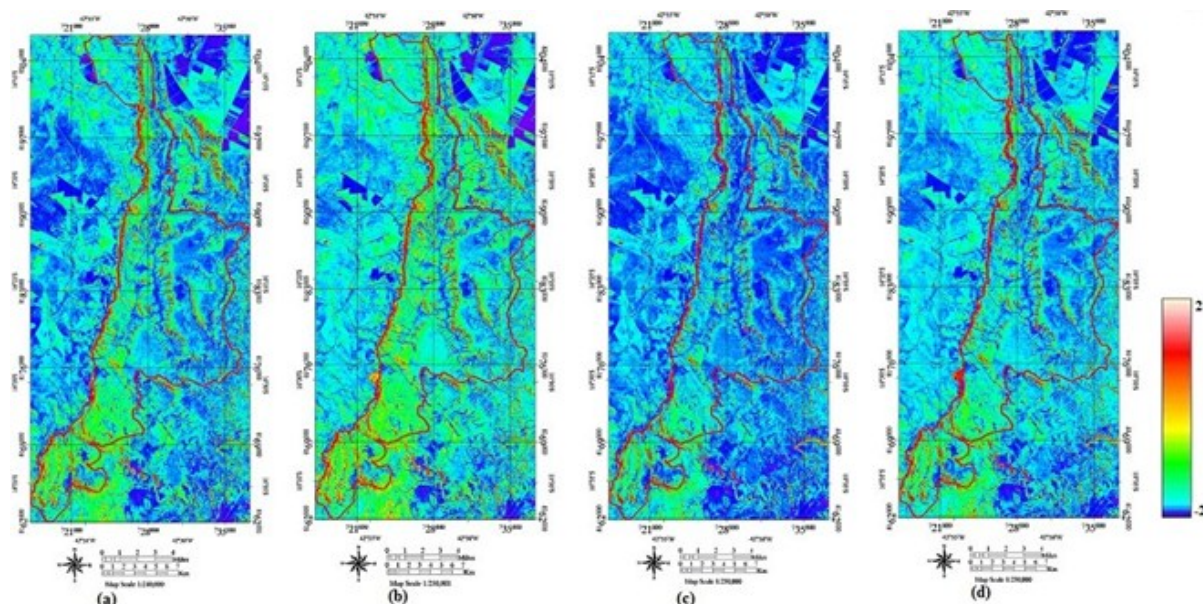


Figura 2. Imagens diferença, (a) NDBR entre 20/08/2011 e 21/09/2011, (b) NDVI entre 20/08/2011 e 21/09/2011, (c) NDBR entre 04/08/2011 e 21/09/2011, (d) NDVI entre 04/08/2011 e 21/09/2011

Foi padronizada uma distância de 15 a 30 dias para a data da imagem pós-queimada e constatou-se que os valores de pixel capazes de distinguir melhor as áreas queimadas das

demais foi a partir de 0,6 em todas as imagens diferença estudadas. Na escala de cores em arco-íris (Figura 2), os valores mais altos apresentam a cor vermelha e mais baixos, azul. As queimadas dos dias 19/08/2011, 27/08/2011 e 04/09/2011 puderam ser as identificadas por meio desta metodologia.

Além disso, a partir de imagens RGB-543 e dos resultados do NDVI e NDBR verificou-se que o incêndio ocorrido em 09/09/2011 não foi expressivo (0,34ha) o suficiente para ser visualizado na imagem de satélite e, portanto, essa data também não foi utilizada no estudo. Isso demonstra que na área de estudo, áreas inferiores a 0,5ha não são detectadas tanto pelo NDVI como pelo NDBR em imagens Landsat-5/TM. Os resultados de área contabilizada e porcentagem de erros encontrada podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2. Áreas queimadas no PEGM, em hectares, e diferença relativa dos índices NDVI e NDBR.

Método	Datas de ocorrência de Queimadas		
	19/08/2011	27/08/2011	04/09/2011
Δ NDVI	107,37ha	16,47ha	36,99ha
Δ NDBR	149,85ha	28,62ha	51,84ha
Real	120ha	24ha	87,25ha
Diferença Relativa (%)			
Método	19/08/2011	27/08/2011	04/09/2011
Δ NDVI	10,52	31,37	57,6
Δ NDBR	24,87	19,25	40,58

Pela Tabela 2 pode-se observar que a detecção de áreas queimadas esteve relacionada ao intervalo de dias analisados. Quanto maior o período em relação à diferença para o NDVI, menor foi a diferença relativa (%) em relação aos dados de referência, como para a queimada do dia 19/08/2011, cuja imagem anterior foi do dia 04/08/2011 e a posterior do dia 21/09/2011. Houve um aumento do erro do NDVI quando a data posterior foi mais próxima à data de queimada.

No caso do NDBR, o valor de erro foi inferior para o dia 27/08/2011, e superior para as datas 19/08/2011 e 27/08/2011, indicando que o maior erro esteve associado com intervalo de dias menor. A Tabela 3 apresenta as fitofisionomias queimadas em cada data.

Tabela 3. Fitofisionomias afetadas pelos incêndios florestais na área de estudo.

Data	Fitofisionomias
19/08/2011	Campo Rupestre (30ha) Veredas(30ha) Cerrado <i>Sensu Strictu</i> (60ha)
27/08/2011	Campo sujo (24ha)
04/09/2011	Campo Rupestre (87,25ha)

Os menores erros de NDVI ocorreram em áreas de queimadas onde havia veredas, campos rupestres e cerrado *Sensu Strictu*. Porém, para o NDBR os menores erros estiveram associados à presença das fitofisionomias de campo sujo. A vegetação de veredas apresenta uma menor regeneração natural após os eventos de queimadas, o que pode ter contribuído para uma eficiência relativa dos índices, mesmo considerando a data posterior às queimadas com aproximadamente um mês após a ocorrência das mesmas.

No caso da data de 04/09/2011, que é a mais próxima da data posterior de 21/09/2011, o erro pode ser devido à rápida regeneração da vegetação, considerando que trata-se de uma

área menor quando comparada com as outras ou o tempo da imagem posterior pode não ter sido suficiente para mapear toda a cicatriz de queimada.

Para corroborar com os resultados deste estudo, em Silva et al. (2013), o NDBR mostrou-se mais sensível na detecção de áreas queimadas no Parque Estadual de Serra Nova, superestimando essa área. Já o NDVI subestimou a área queimada.

Quanto à caracterização de áreas queimadas, o resultado do teste de *Tukey* não encontrou diferenças significativas entre os índices, indicando que os valores do pixel encontrados são semelhantes entre si e que, a diferença dos dois índices está na sua sensibilidade em detectar queimadas. Os pixels correspondentes às queimadas no NDVI foram todos detectados pelo NDBR, não sendo considerados pixels distintos, mas apenas o NDBR distinguiu outros pixels além daqueles caracterizados como áreas queimadas pelo NDVI.

Com a análise dos dados fornecidos pelo IEF, observou-se que as áreas queimadas nem sempre são as mesmas ao longo do ano e que as origens destas queimadas são diversas, mas que na maioria dos casos são oriundas de renovação de pastagem em áreas próximas ao parque e por não conseguirem controlar as queimadas, acabam se tornando incêndios florestais atingindo drasticamente as áreas da Unidade de Conservação. Essas áreas são extensas, de 100 a 150ha, e correspondem ao bioma Cerrado em suas diversas fitofisionomias.

Dessa forma, é importante que haja um monitoramento em áreas protegidas, visando evitar a ocorrência de incêndios, que geralmente começam nas áreas do entorno. Além disso, melhores resultados podem ser obtidos, caracterizando a área com mapas de uso e ocupação do solo.

4. Conclusões

Os índices NDVI e NDBR são eficientes no mapeamento de áreas de cicatrizes de queimadas, no Parque Estadual de Grão Mogol-MG.

Valores de pixel correspondentes a áreas queimadas, podem ser considerados 0,6 em imagens referentes ao ano de 2011, com um período de diferença de 30 dias após as queimadas.

Agradecimentos

Ao Instituto Estadual de Florestas (IEF-MG) por disponibilizar os relatórios de ocorrência de incêndios florestais dos anos de 2008 a 2011 no Parque Estadual de Grão Mogol-MG.

Referências

- Andreae, M.O.; Merlet, P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 15, p. 955–966, 2001
- Batista, A. C.; **Deteção de incêndios florestais por satélites**; Paraná, 2013. Disponível em <<http://www.floresta.ufpr.br/firelab/wp-content/uploads/2013/09/artigo16.pdf>> Acesso em 27 maio 2013.
- Brasil. Decreto n 2.661 de 1998. Art. 27. LEI 4771. Coletânea de legislação ambiental, Odete Medauar, ed. 10, p. 1129,2011.
- Cardozo, F. S.; Martins, F. S. R. V.; Pereira, L. O.; Sato, L. Y.; Moura, Y. M.; Pereira, G.; Shimabukuro, Y. E. Avaliação de áreas queimadas a partir dos índices espectrais NDVI e NDBR. Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto (SBSR), 15, 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos, INPE, 2011. Artigos, p. 7950-7957.
- Fundação Biodiversitas. **Biodiversidade em Minas Gerais, Um atlas para sua conservação**. 2 .ed., Belo Horizonte: 2005. 222 pg.
- Hardy, C.C.; Ottmar, R.D., Peterson, J.L., Core, J.E., Seamon, P. **Smoke management guide for prescribed and wild land fire**. Boise: National Wildfire Coordination Group, 2001.

Lentile, L.B.; Holden, Z.A.; Smith, A.M.S.; Falkowski, M.J.; Hudak, A.T.; Morgan, P.; et al.. Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. **International Journal of Wildland Fire**, v. 15, p. 319-345, 2006.

Luiz, A. J. B.; Gurtler, S.; Gleriani, J. M.; Epiphânio, J. C. N.; Campos, R. C.; Refletância a partir do número digital de imagens TM+. Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto (SBSR), 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos, INPE, 2003. Artigos, p. 2071 - 2078.

Instituto Estadual de Florestas – Minas Gerais. **Parque Estadual de Grão Mogol**, 1998.

Gomes, F. P.; Malavolta, E. **Aspectos matemáticos e estatísticos da lei de Mitscherlich**, Escola Superior Agricultura Luiz de Queiroz. vol. 6, Piracicaba, 1949.

Ponzoni, F.J.; Lee, D.C.L.; Hernandez Filho, P. Avaliação da área queimada e da regeneração da vegetação afetada pelo fogo no parque nacional de Brasília através de dados TM-Landsat. Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto (SBSR), 04., 1986. **Anais...** São José dos Campos, INPE, 1986. Artigos, p. 615-621.

Rouse, J. W.; Hass, R.H.; Deering, D.W.; Schell, J. A. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. **College Station**: Texas A&M University, 1974. 87 p.

Silva, R.G.; Miranda, J.R.; Nascimento, C.R. Detecção de áreas queimadas no Parque Estadual de Serra Nova/MG utilizando os índices espectrais NDVI e NDBR. Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto (SBSR), 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos, INPE, 2013. Artigos, p. 6923-6929.

Stefanidou, M.; Athanaselis, S.; Spiliopoulou, C. Health impacts of fire smoke inhalation. **Inhalation Toxicology**, v. 20, p. 761-766, 2008.

Stolle, F.; Lambin, E.F. Interprovincial and interannual differences in the causes of land-use fires in Sumatra, Indonesia. **Environmental Conservation**, v. 30, n. 4, p.375–387, 2004.