

Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI, SAVI, RATIO E IAF para identificação de queimadas

Marcos Antônio Neris Coutinho^{1*}, Ana Clara Gonçalves Fernandes¹, Venilson Gonçalves Santos¹, Cristina Rodrigues Nascimento²

Resumo

O ato de queimar a vegetação é tido como um meio eficaz e de baixo custo para a abertura de novas áreas para cultivo. No entanto, a longo prazo esse método não é sustentável e pode causar danos irreversíveis ao local, como a extinção de espécies endêmicas, degradação do solo e de recursos hídricos. A presente pesquisa foi realizada com imagens do Parque Estadual Lapa Grande (PELG), no município de Montes Claros/MG. Foram selecionadas duas cenas do satélite LANDSAT-8, referentes aos dias 29/09 e 15/10 de 2014, antes e depois dos eventos de queimada, respectivamente. Procedeu-se a correção atmosférica das cenas e, após seu pré-processamento, foram geradas imagens dos índices de vegetação NDVI, SAVI, RATIO e IAF. A partir disso, identificou-se o padrão de resposta das cicatrizes de queimada na imagem gerada por cada índice. Foram criadas 5 categorias, queimada severa (QS), queimada moderada (QM), queimada leve (QL), mata seca (MS) e outros tipos de vegetação (MV). Estas categorias foram associadas às áreas correspondentes nas imagens através do fatiamento das mesmas. A quantificação da área queimada foi feita através da Medida de Classes, onde todos os índices apresentaram bom desempenho na identificação das cicatrizes de queimada. A maior limitação dos índices NDVI, IAF e SAVI foi a identificação de falsos positivos. O RATIO foi o índice que apresentou menor identificação de falsos positivos, sendo o mais adequado para trabalhar em regiões com perfil topográfico irregular.

Palavras-chave: SIG. Imagens de satélite. Plataformas orbitais. Sensoriamento remoto.

Comparative analysis of NDVI, SAVI, RATIO AND IAF to identify burned

Abstract

The act of burning the vegetation is seen as an effective and inexpensive way for opening new areas for cultivation. However this approach is not sustainable forward in time, because can cause irreversible damage to the site, such as the extinction of endemic species, soil degradation and water resources. This survey was conducted with images of Lapa Grande State Park (PELG) in the municipality of Montes Claros, Minas Gerais. There was selected two scenes of Landsat-8 satellite, one referring to September 29, and another to October 15, 2014, before and after burning, respectively. Proceeded to the atmospheric correction of the scenes, and after its preprocessing, were generated images of vegetation

¹Acadêmico(a) de Engenharia Agrícola e Ambiental - Instituto de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, Minas Gerais, Brasil

*Autor para correspondência: marcos_eafsal@hotmail.com

²Docente Orientadora - Instituto de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Minas Gerais

Recebido para publicação em 18 de novembro de 2015

Aceito para publicação em 20 de abril de 2016

índices NDVI, SAVI, RATIO and IAF. With this images were identified the response pattern of burned scars on the image generated by each index, and as result were generated 5 categories: severe burn (QS), moderate burning (QM), light burnt (QL), dried woods (MS) and other types of vegetation (MV). These categories were associated with corresponding areas in the images by methodology of slicing of the images. The quantification of burned area was made by Class Measure and all indices performed well in identifying the burnt scars. The biggest limitation of NDVI indices, IAF and SAVI was the identification of false positives. The RATIO was the index that showed lower identification of false positives, and the most suitable for working in areas with irregular topographic profile.

Keywords: SIG. Satellite images. Orbital platforms. Remote sensing.

Introdução

Uma queimada pode ser definida como a combustão da matéria orgânica na superfície do solo, seja de forma natural ou criminosa. Ainda hoje, apesar dos riscos envolvidos como incêndios em áreas de preservação, destruição do habitat natural de espécies animais e redução da biodiversidade local, o fogo é muito utilizado no manejo de áreas rurais para limpeza de pastos, aceiros e abertura de áreas de cultivo, devido ao baixo custo e fácil operação.

A situação é agravada no período de seca, quando a umidade da vegetação é baixa. Nessa época é comum o aumento de casos de incêndio em áreas de mata. A obtenção de informações e acesso a essas áreas é dificultado pelos obstáculos geográficos de cada região, o que torna a identificação e combate dos focos de incêndio onerosa.

O uso de imagens de satélite tem contribuído para a identificação de focos de calor e incêndios na superfície em áreas de difícil acesso, mostrando-se uma alternativa viável. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2015) disponibiliza de forma periódica dados relativos à identificação de focos de calor, obtidos de diferentes satélites, em todo território nacional e armazena estas informações em um banco de dados, que serve como base para estudos sobre o assunto. De acordo com França e Ferreira (2005), o uso de dados remotos contribui de forma significativa para a compreensão da dinâmica do uso da terra e impactos socioambientais.

Apesar do grande número de trabalhos que trata sobre a identificação de cicatrizes de queimadas a partir de imagens de satélite, os métodos utilizados para este fim ainda são muito ineficientes. Gotiño *et al.* (2011) deixam claro a necessidade de desenvolvimento de métodos mais precisos, que possuam menores taxas de

omissão na identificação de focos em pequenas áreas.

A adequação das fórmulas de índices de vegetação para seu uso em dados remotos possibilita obter uma série de informações sobre a superfície. De acordo com suas características, cada alvo apresenta um valor ou uma resposta espectral refletindo, absorvendo e/ou transmitindo a Radiação Eletromagnética (REM). Os sensores das estações espaciais captam a resposta de cada alvo e geram imagens com estas informações.

A obtenção de imagens por sensores remotos limita-se apenas pelas interferências da atmosfera. Os gases, partículas suspensas e nuvens presentes acima do alvo interferem na captação da radiação refletida pela superfície pelo sensor. Através do tratamento das imagens e do uso de índices de vegetação é possível reduzir essas interferências, enfatizando as características de interesse dos alvos.

Com o objetivo de preservar e proteger o complexo de grutas e abrigos, bem como a fauna e flora locais e os principais mananciais responsáveis pelo abastecimento de água da cidade de Montes Claros, o Parque Estadual da Lapa Grande (PELG) foi criado em 10 de janeiro de 2004, com base no decreto nº44.204 (IEF, 2015). O parque está inserido em uma região com ocorrência predominante do bioma Cerrado, dentro da cidade de Montes Claros.

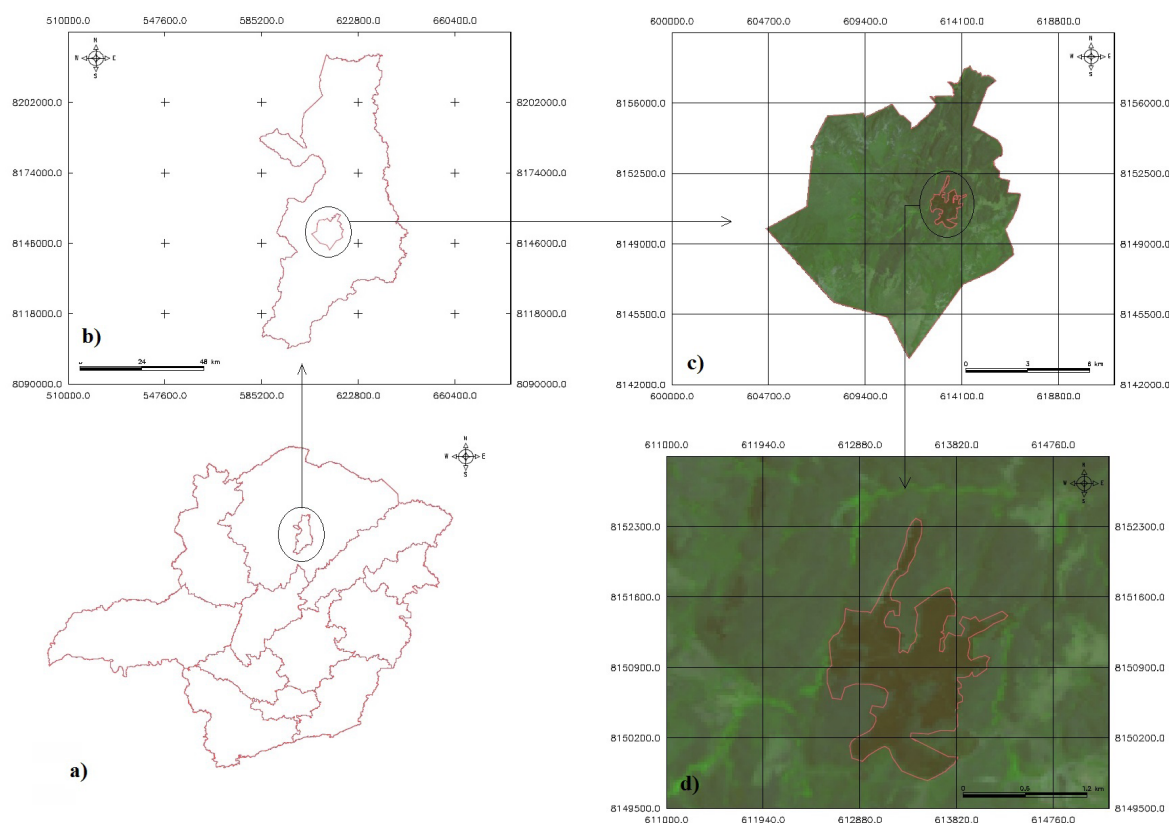
O objetivo desta pesquisa foi comparar a eficiência entre os índices de vegetação da diferença normalizada (NDVI), índice de vegetação ajustada para o solo (SAVI), índice de razão simples (RATIO) e índice de área foliar (IAF) para a identificação de áreas queimadas no Parque Estadual do Lapa Grande, município de Montes Claros - MG.

Material e métodos

A área de estudo foi composta por duas cenas do sensor *Operational Land Imager* (OLI) do satélite Landsat-8, órbita/ponto 218/72, com resolução espacial de 30 metros. Uma cena corresponde ao dia 29/09/14 e 15/09/14, antes e

após a ocorrência de queimadas. O retângulo envolvente da área, foi definido pelas seguintes coordenadas planas: $X1 = 531000.0000$ e $X2 = 761430.0000$ e $Y1 = 7964470.0000$ e $Y2 = 8198500.0000$, onde está localizado o município de Montes Claros/MG (FIGURA 1).

Figura 1 - Localização espacial do Parque Estadual Lapa Grande



Legenda: a) Estado de Minas Gerais
b) Município de Montes Claros
c) Parque Estadual Lapa Grande
d) Área queimada no parque

Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

As imagens geradas pelo LANDSAT-8, ao contrário das geradas pelos seus antecessores, são georreferenciadas pela *United States Geological Survey* (USGS) utilizando o processo de correção geométrica baseado na aquisição de pontos de controle a partir das bases de dados disponíveis pelo projeto *Global Land Surveys 2000*.

No *software* SPRING 5.2 foi criado um banco de dados para estruturação e análise das informações essenciais ao estudo. Para isolar a área de estudo do restante da cena foi utilizado um vetor do PELG no formato *shape*, disponível no *site* do Zoneamento Ecológico Econômico

de Minas Gerais (ZEE). Foi também realizada a conversão dos níveis de cinza dos pixels das imagens em valores de refletância, de acordo com a Equação 1. Após destacar a área de interesse, foi realizada a correção atmosférica das bandas 4, 5 e 6 do sensor OLI do Landsat-8, que representam, respectivamente, as regiões do vermelho ($0.64 - 0.67 \mu$), infravermelho próximo ($0.85 - 0.88 \mu$) e infravermelho médio ($1.57 - 1.65 \mu$) do espectro eletromagnético (EEM). Com base a metodologia apresentada por Tizado (2014), foram calculados os valores de E_{sun} , $Sun_radiance$ e da refletância da superfície, segundo as Equação 1, 2 e 3.

$$E_{sun} = (\pi * d^2) * \frac{RADIANCE_MAXIMUM}{REFLECTANCE_MAXIMUM} \quad (1)$$

Onde;

E_{sun} = refletância média da atmosfera, medida em Watts.m⁻².srad⁻¹.µm⁻¹;

d = distância entre a terra e o sol;

$RADIANCE_MAXIMUM$ = radiância máxima da banda (i), obtida no Metadado;

$REFLECTANCE_MAXIMUM$ = refletância máxima da banda (i), obtida no Metadado;

$$Refletância = (DN * RADIANCE_MULT + RADIANCE_ADD) / Sun_radiance \quad (3)$$

Onde:

Refletância = valor da radiação refletida por cada pixel;

$RADIANCE_MULT$ = radiância da banda, obtida no Metadado;

$RADIANCE_ADD$ = radiância da banda, obtida no Metadado;

$Sun_radiance$ = a radiação emitida pelo sol, medida em Watts.m⁻².srad⁻¹.µm⁻¹.

O NDVI foi calculado segundo a Equação 4. A imagem gerada apresenta valores de pixels variando entre -1 e 1, onde, de acordo Rosendo (2005), valores próximos a 1 indicam vegetação densa, enquanto valores próximos a 0 (zero) superfície não vegetada. Valores negativos são associados à superfície com presença de água.

$$NDVI = \frac{b5 - b4}{b5 + b4} \quad (4)$$

Onde:

$b4$ = refletância referente à banda 4;

$b5$ = refletância referente à banda 5.

O SAVI, proposto por Huete (1988) *apud* Rosendo (2005), teve como objetivo incorporar as influências do solo ao NDVI através da inserção do fator L na fórmula. Este fator varia conforme as características da área estudada, oscilando entre 1, para áreas pouco vegetadas, 0,5, para áreas com vegetação de densidade

$$Sun_radiance = [E_{sun} * \sin(\theta)] / (\pi * d^2) \quad (2)$$

Onde;

$Sun_radiance$ = a radiação emitida pelo sol, medida em Watts.m⁻².srad⁻¹.µm⁻¹;

E_{sun} = refletância média da atmosfera, medida em Watts.m⁻².srad⁻¹.µm⁻¹;

θ = ângulo de elevação solar, obtido no Metadado;

d = distância entre a terra e o sol, obtido no Metadado.

intermediária e 0,25 para áreas com vegetação densa. O SAVI é calculado segundo a Equação 5. O fator L utilizado foi de 0,5.

$$SAVI = \frac{(1 + L) * (b5 - b4)}{(L + b5 - b4)} \quad (5)$$

Onde:

$b4$ = refletância referente à banda 4;

$b5$ = refletância referente à banda 5.

O RATIO relaciona a refletância da vegetação nas bandas do infravermelho próximo e do vermelho, adequando-se a estudos relacionados ao desenvolvimento vegetativo de culturas e estimativa de biomassa (PEARSON; MILLER, 1972). O índice é obtido através da Equação 6.

$$RATIO = \frac{b4}{b5} \quad (6)$$

Onde:

$b4$ = refletância referente à banda 4;

$b5$ = refletância referente à banda 5.

O IAF é um índice biofísico que representa a relação entre a área foliar de uma vegetação e a área de solo ocupada por ela (ALLEN; TASUMI; TREZZA, 2002). Para calcular o índice utilizou-se a Equação 7.

$$IAF = \frac{\ln((0,69 - SAVI)/0,59)}{0,91} \quad (7)$$

Onde:

SAVI = o valor dos pixels da imagem gerada com o índice SAVI.

O fatiamento das imagens geradas pelos índices de vegetação foi realizado com o *software Spring*, dividindo em cinco categorias os intervalos de resposta dos alvos com mesmas características. São elas: QS, QM, QL, MS e MV, correspondendo respectivamente a áreas que foram atingidas pelo fogo de forma severa (QS), moderada ou leve (QM), áreas com vegetação de Mata Seca (MS) e, por fim, a áreas com outros tipos de vegetação (MV). As categorias geradas foram agrupadas formando um mapa temático para cada índice. A partir do mapa de cada índice calculou-se as áreas afetadas pelo fogo por meio da Medida de Classes, ferramenta disponível no *Spring*.

A percentagem de acerto de cada índice foi calculada, pela diferença relativa, relacionando as áreas queimadas com os falsos positivos, segundo a Equação 8.

$$Pa = 100 - \left(\frac{anq}{aq} * 100 \right) \quad (8)$$

Onde:

Pa = percentagem de acerto na identificação da queimada pelo índice (%);

anq = área de falsos positivos identificada pelo índice (ha);

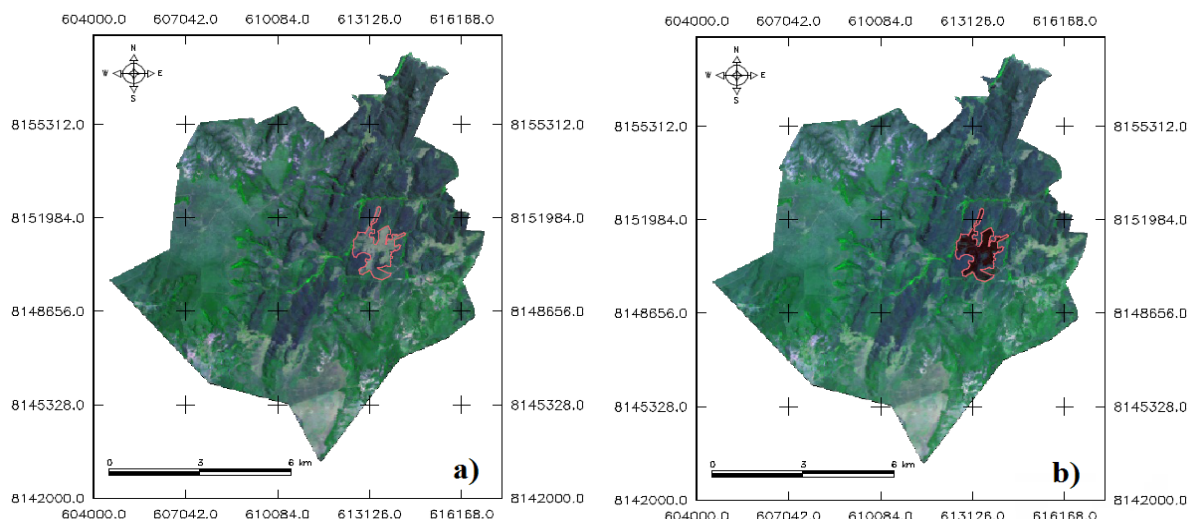
aq = área queimada identificada pelo índice (ha).

A fim de comprovar a eficácia dos índices de vegetação na identificação e identificação e quantificação das áreas queimadas, confrontou-se os resultados obtidos por eles com um valor de referência disponibilizado pelo PELG. Segundo o parque, a área média atingida pelo fogo foi de 208 hectares.

Resultados e discussão

No dia 07/09/2014, devido a um curto circuito na rede elétrica da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) que passa pelo Parque Estadual Lapa Grande, iniciou-se um incêndio que consumiu uma área aproximada de 208 hectares (PELG, 2014). Buscou-se identificar e quantificar a área queimada no parque através dos índices de vegetação NDVI, SAVI, RATIO e IAF.

Figura 2 - Localização da área queimada no Parque Estadual Lapa Grande



Legenda: a) Imagem do PELG antes do incêndio

b) Imagem do PELG depois do incêndio. Em destaque, a área que foi atingida

Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

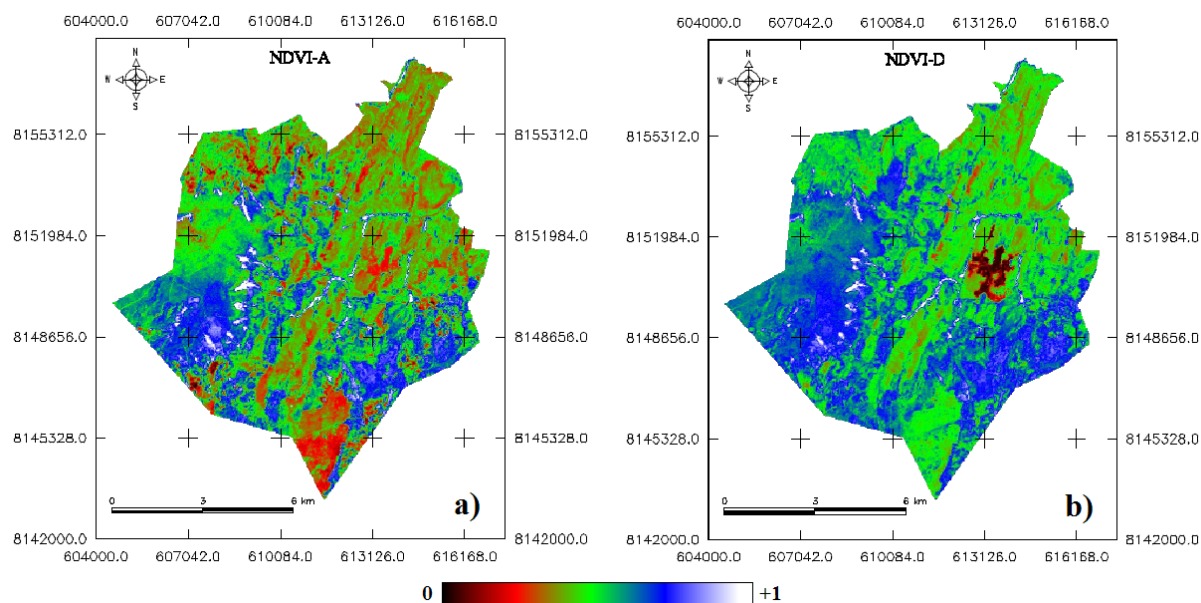
O NDVI é um índice apropriado para o estudo da vegetação, ideal para estimativas de quantidade, qualidade e humidade da mesma, além de monitoramento dessas características ao longo do tempo (NOVAS, 2008). O índice

apresentou bons resultados na identificação de áreas que foram queimadas, classificando como tal valores de refletância entre 0,029 e 0,2. O índice detectou algumas interferências, no geral, ligadas a áreas de topografia elevada, sombre-

adas ou com exposição de rochas. Na Figura 3 é possível comparar as imagens geradas pelo NDVI antes e após a ocorrência da queimada e

observar as áreas de interferência, que aparecem na coloração vermelha clara (FIGURA 3b).

Figura 3 - Imagem do índice DNVI, representando a área antes (a) (29/07/2014) e depois (b) (15/08/2014) da queimada



Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

Nas imagens, a cor avermelha representa áreas de pastagem ou com vegetação de baixo porte. Pela cor verde estão representadas áreas cobertas por vegetação do tipo Mata Seca ou com pouca cobertura vegetal, enquanto tons azuis e brancos representam locais com vegetação perene, como várzeas e nascentes. Na Figura 3b, destacada em tons escuros de vermelho e preto, encontra-se a área queimada do PELG. Não foram identificados pixels com valores negativos, geralmente associados aos corpos d'água.

Avaliando a eficiência do NDVI na identificação de áreas queimadas na região de Campos de Cima da Serra – RS, os autores Deprá, Arruda e Kuplich (2013) constataram relativa eficiência do índice na identificação de cicatrizes, inclusive sob diferentes níveis de regeneração da vegetação.

A Figura 4 mostra a imagem gerada pelo SAVI. É possível observar, em tons de vermelho mais escuros, áreas de topografia mais elevada e em tons de vermelho mais claros, áreas ocupadas por gramíneas e vegetação de baixo porte na Figura 4a. De forma parecida com o NDVI, os tons verdes representam áreas de Mata Seca

e os tons azuis e brancos, vegetação perene.

Na figura 4b, a área atingida pelo fogo foi destacada em tons de vermelho escuro. Os valores de refletância dessa imagem variaram entre 0 e 1, sendo os menores valores (0,018 a 0,13) associados às cicatrizes de queimada e os maiores valores à vegetação vigorosa. Silva *et al.* (2009) associaram valores encontrados com o SAVI entre -0,065 e 0,292 a áreas com solo exposto.

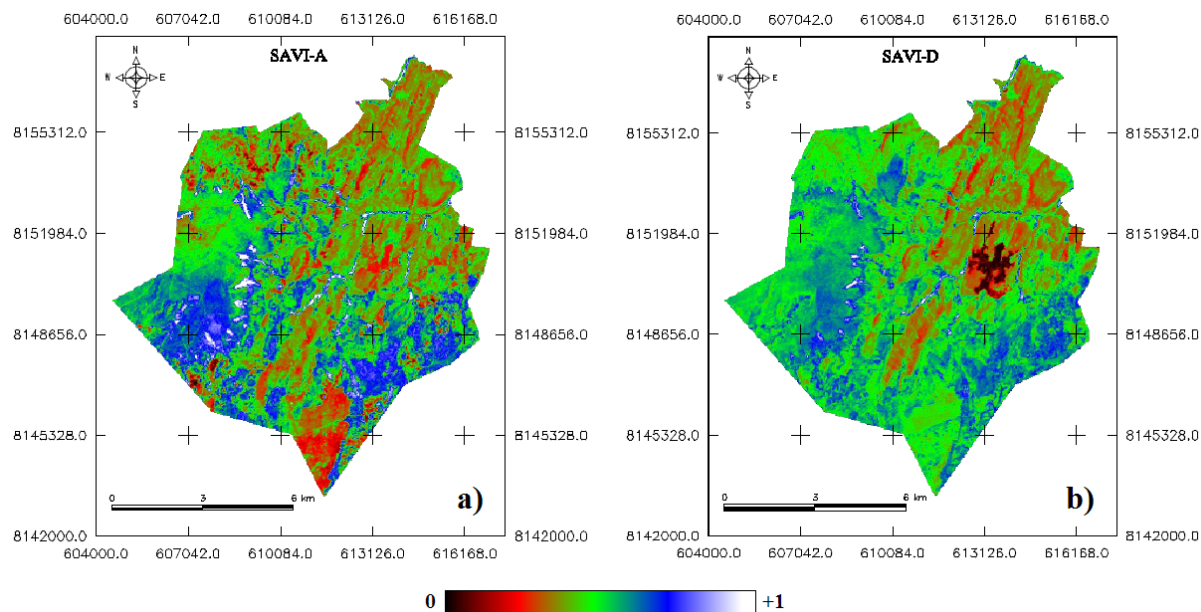
A proximidade entre os valores de refletância encontrados pelos autores mencionados acima e os valores encontrados nesta pesquisa indicam a capacidade do índice SAVI em distinguir áreas que foram queimadas de áreas com vegetação. Cicatrizes de queimada possuem resposta espectral diferente da resposta de áreas vegetadas, o que valida esta comparação.

Áreas com vegetação menos densa ou com solo exposto tendem a apresentar valores de refletância variando entre 0,16 e 0,23 com o SAVI em períodos com maior déficit hídrico no decorrer do ano (BORATTO; GOMIDE, 2013). O intervalo de resposta encontrado no PELG para áreas de vegetação do tipo Mata Seca asseme-

lha-se ao intervalo mencionado pelos autores, variando entre 0,13 e 0,24. A capacidade do índice em distinguir áreas com vegetação caduci-

fólia e áreas queimadas é um fator relevante e desejável em trabalhos com esse tipo de vegetação.

Figura 4 - Imagem do índice SAVI, representando a área antes (a) (29/07/2014) e depois (b) (15/08/2014) da queimada



Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

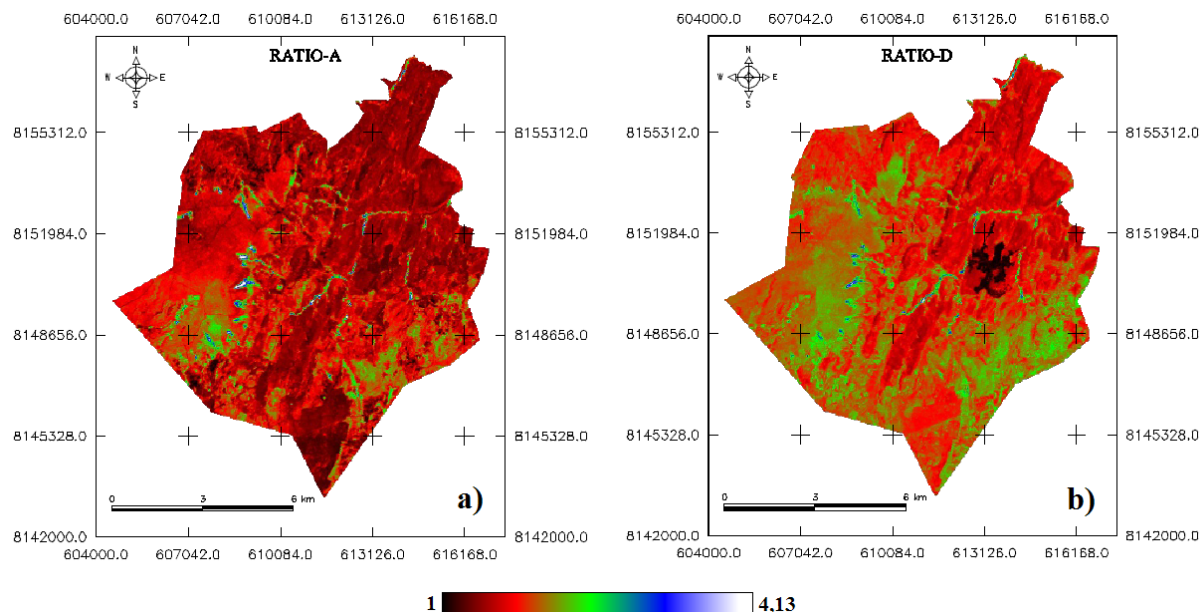
Tomando como parâmetros a absorção da radiação pela vegetação na faixa do vermelho e refletância na faixa do infravermelho próximo, o RATIO se mostra viável como indicador de desenvolvimento de culturas agrícolas e estimativa de biomassa (ANDRADE; FERREIRA; BOLFE, 2013). Esta característica do RATIO permite que, de forma indireta, ele possa ser utilizado para identificar áreas queimadas. Cicatrizes de queimada tendem a apresentarem resposta espectral distinta a áreas com vegetação, desta forma, espera-se que estas áreas apareçam de forma diferente na imagem, possibilitando a identificação e quantificação de áreas

queimadas.

Na Figura 5a pode-se observar em tons de vermelho escuro locais de topografia elevada e com exposição de rochas e em tons vermelhos medianos, áreas de pastagem e Mata Seca. Os tons de vermelho mais claros representam áreas com vegetação perene. As cores verde, azul e branca representam vegetação presente em nascentes e áreas baixas.

Na Figura 5b a área queimada se destaca em tons mais escuros, apresentando valores de refletância entre 1,06 e 1,33.

Figura 5 - Imagem do índice RATIO, representando a área antes (a) (29/07/2014) e depois (b) (15/08/2014) da queimada



Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

O IAF é um índice que deriva do NDVI e do SAVI, desta forma, tende a apresentar resultados parecidos com os obtidos por estes índices. As respostas dos índices de vegetação estão relacionadas com o vigor da vegetação, que por sua vez depende das condições hídricas do local. Desta forma, os valores apresentados pelo IAF também relacionam-se com as condições hídricas, tendendo a subir conforme aumenta o vigor da vegetação (BORATTO; GOMIDE, 2013).

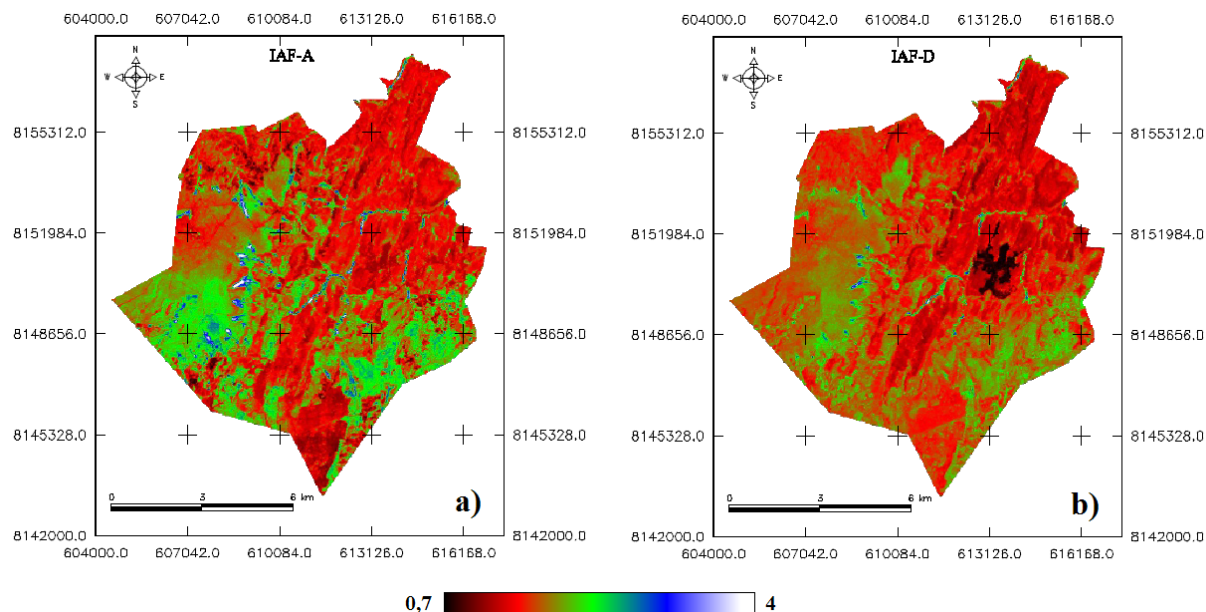
De forma análoga ao RATIO, com base nesta teoria, espera-se poder utilizar o IAF de forma indireta para identificar cicatrizes de quei-

mada, uma vez que a resposta espectral dessas áreas tende a ser baixa por não possuírem vegetação.

Na Figura 6, tons em vermelho escuro representam pontos de topografia elevada e/ou com exposição de rochas enquanto tons mais claros de vermelho, áreas com pastagens, vegetação de baixo porte e Mata Seca. Pontos com coloração verde, azul e branca representam áreas com vegetação perene em várzeas e nascentes.

Na Figura 6b, a área queimada aparece destacada na coloração preta, representada por valores de refletância entre 0,79 e 1,1.

Figura 6 - Imagem do índice IAF, representando a área antes (a) (29/07/2014) e depois (b) (15/08/2014) da queimada



Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

A quantificação da área queimada foi realizada a partir do fatiamento das imagens, alocando em cinco classes distintas os pixels com características similares, distinguindo também as áreas queimadas conforme o grau de severidade do evento. A Figura 7 apresenta o resultado do fatiamento das imagens e as classes geradas para cada índice.

Conforme a Figura 7c, dentre os índices analisados o RATIO foi o que apresentou menor incidência de falsos positivos. Segundo Eastman (2003), o fato desse índice relacionar as bandas do infravermelho próximo e do vermelho permite que ele reduza problemas relacionados

às interferências causadas pela topografia do local estudado.

O NDVI apresentou bons resultados na identificação de áreas queimadas, no entanto, foi o índice que apresentou maior incidência de falsos positivos, conforme a Figura 7a.

Os índices SAVI e IAF foram semelhantes no que diz respeito à identificação de falsos positivos. A Tabela 1 apresenta a distribuição dos intervalos de respostas de cada índice para cada classe e, a Tabela 2 a área referente aos falsos positivos identificados pelos índices, além da percentagem de acerto de cada um.

Tabela 1 - Distribuição dos intervalos de resposta de cada índice para as classes temáticas

Classes	Intervalo de resposta			
	NDVI	SAVI	RATIO	IAF
Queimada Severa (QS)	0,029 - 0,05	0,018 - 0,05	1,06 - 1,12	0 - 079
Queimada Moderada (QM)	0,05 - 0,13	0,05 - 0,075	1,12 - 1,16	0,79 - 0,86
Queimada Leve (QL)	0,13 - 0,2	0,075 - 0,13	1,16 - 1,33	0,86 - 1,1
Mata Seca (MS)	0,2 - 0,3	0,13 - 0,24	1,33 - 1,66	1,1 - 1,3
Mata Verde (MV)	0,3 - 0,6	0,24 - 0,58	1,66 - 4,13	1,3 - 4

Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

Tabela 2 - Relação de áreas queimadas e falsos positivos identificados pelos índices

Índice	NDVI	SAVI	RATIO	IAF
AQ (ha)	159,12	144,09	122,94	148,68
FP (ha)	78,12	27,18	1,62	40,32
A (%)	50,90	81,14	98,68	72,88

Nota: Relação de áreas queimadas (AQ)

Falsos positivos (FP) identificados por cada índice

Porcentagem de acerto de cada um (A)

Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

Monteiro (2013) identificou respostas de refletância em áreas de caatinga semelhantes às encontradas nesta pesquisa utilizando o NDVI, na Área de Preservação Ambiental das Onças (APA das Onças). Os valores de refletância encontrados pelo autor variaram entre 0,26 a 0,33 para áreas classificadas como Caatinga Hiperxerófila; 0,33 a 0,42 para vegetação Hipoxerófila; 0,42 a 0,77 para vegetação Serrana e Brejo de Altitude.

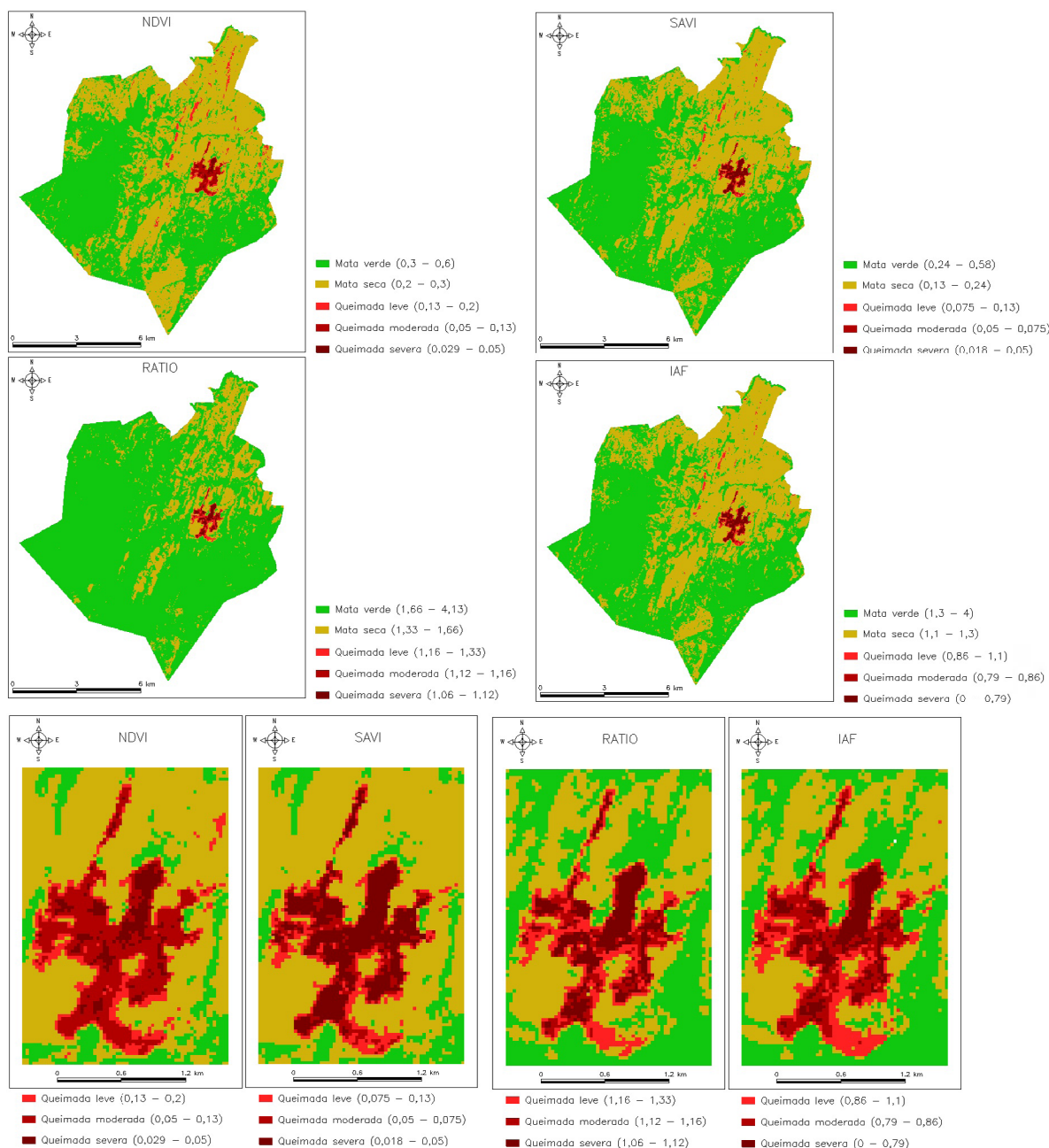
A vegetação Hiperxerófila e Hipoxerófila apresentam características semelhantes à vegetação do PELG, sendo a primeira composta por espécies caducifólias de porte baixo e/ou médio porte e a segunda composta por vegetação perene de porte médio. A resposta apresentada pela vegetação Serrana e Brejos de Altitude na pesquisa do autor é semelhante à resposta de

áreas de APP's e nascentes no PELG, conforme a Figura 7a.

Nas Figura 7e, 7f, 7g e 7h é possível observar um recorte feito com a finalidade de excluir os falsos positivos da cena e calcular a área queimada sem esta interferência. Nota-se a variação do grau de severidade da queimada com mais detalhes, com pontos mais escuros representando áreas severamente atingidas pelo fogo.

Na Figura 7f observa-se que o SAVI foi o índice que apresentou maior sensibilidade na identificação da área queimada, classificando-a quase que em sua totalidade como sendo de grau severo. Os demais índices mantiveram uma distribuição mais uniforme entre os níveis de severidade da queimada.

Figura 7 - Resultado do fatiamento das imagens dos índices de vegetação



Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

Em sua maioria, a área atingida pelo fogo era composta por pastagem. A combustão desse tipo de material vegetal tende a apresentar distribuição uniforme o que justifica a classificação homogênea apresentado pelo índice SAVI para a área queimada.

A variação da classificação da área queimada pelos índices NDVI, RATIO e IAF não interfere na classificação de sua eficácia, diferente da classificação de falsos positivos, o que interfere diretamente.

Conclusão

Os índices apresentaram resultados satisfatórios na identificação de áreas queimadas, sendo o RATIO o que apresentou menor interferência de áreas sombreadas e de topografia elevada.

O NDVI foi limitado pela identificação elevada de falsos positivos.

Apesar de ter apresentado maior sensi-

bilidade quanto a identificação do grau de severidade da queimada, o SAVI também apresen-

tou uma elevada quantidade de falsos positivos, seguido pelo IAF.

Referências

- ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL Surface energy balance algorithm for land – Advanced training and users manual**. Idaho Implementation, version 1.0, 2002.
- ANDRADE, D. D.; FERREIRA, M. C.; BOLFE, E. L. Estimativa e mapeamento de carbono em fragmentos da Apa Fernão Dias (MG) com uso de dados orbitais do sensor TM-Landsat. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA APLICADA, 15, 2013, Vitória. **Anais...** Vitória: Departamento de Geografia, CCHN, UFES, 2013. p.1-10. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/90869/1/Bolfe.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2015.
- BORATTO, I. M. P.; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p.7345-7352. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0075.pdf>>. Acesso em: 04 set. 2014.
- DEPRÁ, B.; ARRUDA, D. C.; KUPLICH, T. M. **Identificação de queimadas nos campos de Cima da Serra, RS, através dos índices NDVI e NDBR**. SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 65. 2013, Recife. **Anais...** São Paulo: SBPC, 2013. Disponível em: <<http://www.sbpnet.org.br/livro/65ra/resumos/areas/listaA.6.10.htm>>. Acesso em: 31 out. 2014.
- EASTMAN, J. R. **Idrisi Kilimanjaro Guide to GIS and Image Processing**. p.306. Clark LabsClark University: EUA, 2003. Disponível em: <<https://www.mtholyoke.edu/courses/tmillet/course/geog307/files/Kilimanjaro%20Manual.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2015.
- FRANÇA, D. A.; FERREIRA, N. J. Considerações sobre o uso de satélites na detecção e avaliação de queimadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3017-3023. 1 DVD. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/itid.inpe.br/sbsr/2004/11.20.11.30/doc/3017.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2014.
- GOTIJO, G. A. B. *et al.* Detecção de queimadas e validação de focos de calor utilizando produtos de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 3017-3023. 1 DVD. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1587.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2014.
- HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing Environ.** Vol. 25, 1988. Citado por: ROSENDO, J. dos S. Índices de Vegetação e Monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do rio Araguari -MG - utilizando dados do sensor Modis. 2005. 130 p. Dissertação (Mestrado em Geografia e Gestão do Território) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2005. Disponível em: <http://ecologia.ib.usp.br/lepac/bie5759/jussara_santos.pdf> Acesso em: 15 out. de 2014.
- IEF. **Parque estadual Lapa Grande**. Disponível em: <<http://www.ief.mg.gov.br/instituicao/281?task=view>>. Acesso em: 15 fev. 2015.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2012. **Portal do monitoramento de queimadas e incêndios**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas>>. Acesso em: 20 jan. 2015.
- MONTEIRO, T. R. R. **Uso dos Solos, índices de Vegetação e Degradação na APA das Onças - PB**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia). Centro de Ciências Exatas da Natureza, Universidade Federal da Paraíba. Paraíba, 2013. Disponível em: <http://www.geociencias.ufpb.br/posgrad/dissertacoes/thereza_rachel.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2015.
- NOVAS, M. F. B.; CRUZ, P. P. N.; SILVA, R.; DI PACE, F. T. Análise da Variação dos Índices de Vegetação Estimados por Sensoriamento Remoto em Dois Períodos ao Sul da Bacia do Rio Traipu-AL. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA GEOINFORMAÇÃO, 2. 2008, Recife. **Anais...** Disponível em: <https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOII_CD/Organizado/sens_foto/170.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2015.
- PEARSON, R. L.; L. D. MILLER, 1972. **Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the short-grass Prairie**. Pawnee National Grassland, Colorado: 8th International Symposium on Remote Sensing of Environment, p. 1357-1381.
- ROSENDO, J. S. **Índices de Vegetação e Monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do rio Araguari - MG - utilizando dados do sensor Modis**. 2005. 130 p. Dissertação (Mestrado em Geografia e Gestão do Território) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2005. Disponível em: <http://ecologia.ib.usp.br/lepac/bie5759/jussara_santos.pdf> Acesso em: 15 de out. 2014.
- SILVA, C. A. V. *et al.* **Uso do Sensoriamento Remoto através de Índices de Vegetação NDVI, SAVI e IAF na microrregião de Itamaracá - PE**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p.3079-3085. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.02.18.31/doc/3079-3085.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2014.
- TIZADO, E. J. I. **LANDSAT. TOAR. Calculates top-of-atmosphere radiance or reflectance and temperature for Landsat MSS/TM/ETM+/OIL**. Dept. Biodiversity and Environmental Management, University of León, Spain, 2014. Disponível em: <<http://grass.osgeo.org/grass64/manuals/i.landsat.toar.html>>. Acesso em: 20 de mar. 2015.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Landsat Project Description**. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php> Acesso em: 01 nov. 2014.