XVI SIMPOSIO INTERNACIONAL SELPER 2014

La Geoinformación al Servicio de la Sociedad

Memorias

Sociedad Latinoamericana en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial Capítulo Colombia

30 AÑOS

Medellín, Colombia
29 de Septiembre al 3 de Octubre de 2014

Sobre os Índices Espectrais na Avaliação da Severidade de Incêndios Florestais
About Spectral Indices in Assessment of Severity of Wildfires

Tereza Beatriz Oliveira Soares[1] - beatriz_soares27@yahoo.com.br
Philippe Maillard[1] - philippe@ufmg.br

[1]Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte - MG, CEP 31270-901, Brasil

Resumo

Esse artigo traz uma revisão sobre a utilização de índices espectrais para a avaliação da severidade de incêndios florestais e mostra um estudo de caso em uma unidade de conservação no Brasil. Vários países são afetados recorrentemente por incêndios florestais. Estes provocam mudanças na cobertura vegetal e impactam o ambiente de diferentes maneiras, afetando não somente a vegetação como também solo, a qualidade da água e do ar. Esses impactos ocorrem em diferentes níveis de intensidade, sendo que em algumas áreas os incêndios possuem maior severidade, onde o solo atinge altas temperatura e há maior mortalidade de plantas. O Brasil e outros países que possuem grandes territórios queimados todos os anos desenvolveram técnicas de análise da severidade, a partir de índices espectrais, que utilizam informações de bandas específicas do espectro eletromagnético para quantificar esses efeitos. Sendo assim, esse artigo traz considerações a respeito da utilização dos índices em diferentes pesquisas realizadas no mundo, bem como um estudo de caso da aplicação de quatro metodologias para avaliação da severidade. Resultados mostram que os índices possuem desempenho diferenciado, dependendo das características de cada vegetação. Assim, não existe uma única metodologia que se adeque a análise de todos os incêndios ocorridos na superfície terrestre.

Palavras-chave: Incêndios florestais; Índices Espectrais; Severidade de incêndios; Landsat.

Abstract

This article brings an overview of the use of spectral indices for estimating the severity of forest wild fires and shows a case study in a protected area in Brazil. Numerous countries are repeatedly ravaged by wild fires. These bring profound impact on vegetation cover, on soils and on the quality of the air and the water. These impacts can occur with varying intensity and most severe fires can reach very high temperatures resulting in the death of most plants and destruction of seed stocks. Brazil, amongst other countries severely affected by wild fires, has developed a number of techniques to analyse severity of fires using spectral indices based on the information of specific spectral bands of the electromagnetic spectrum to quantify these effects. In this context, this work brings firstly a number of consideration on the use of indices in different research around the world. Secondly it shows a case study in a protected area in Brazil where four of these approaches have been applied and compared for the estimation of severity. Results show that these indices can have different outcome depending mostly on the type of vegetation and that no single approach will be adapted for all wild fires occurring on the Earth's surface.

Keywords: Forest fires; Spectral indices; Fire severity; Landsat.

1 Introdução

Os incêndios florestais são responsáveis por alterações da cobertura do solo na superfície terrestre, gerando vários impactos e consequências tanto positivos como negativos. Dependendo da sua intensidade, podem aumentar a fertilidade dos solos ou causar sua perda. Incêndios severos de grande extensão comprometem a biodiversidade e a fragilizam os ecossistemas. Interferem na qualidade do ar, na quantidade e diversidade da vegetação e na fauna local, podendo causar a extinção de espécies, visto que grande parte das extinções de animais sil-

vestres é dada pela destruição de seu habitat (Pereira *et al.*, 2009).

A frequência da ocorrência, distribuição e severidade da queima de biomassa, são condutores fundamentais do clima global, da dinâmica dos ecossistemas e da mudança da cobertura terrestre. Focos de calor sobre a superfície terrestre e áreas queimadas podem ser detectados através de dados obtidos por satélites. As áreas afetadas apresentam resposta espectral específica permitindo seu monitoramento. Além disso, é possível avaliar os seus efeitos atmosféricos e quantificar as áreas e a biomassa afetadas. O estudo de incêndios fornece uma contribuição para uma melhor compreensão do meio ambiente através dos seus efeitos ecológicos e climáticos. A nível global, o sensoriamento remoto é a principal ferramenta para o monitoramento e a detecção de incêndios, pois permite obter dados de áreas extensas, em intervalos de tempo regulares, não sendo necessários numerosos e extensivos trabalhos de campo (França e Ferreira, 2005). Pela extensão das suas florestas, o Brasil é um dos países mais afetados por incêndios florestais e utiliza muitas técnicas de detecção e monitoramento. Entretanto, muitos outros países como Estados Unidos, Portugal, Espanha e Bélgica também desenvolveram técnicas em contextos específicos para detecção e combate dos incêndios e criaram uma riqueza de técnicas de processamento que merecem atenção e, por isso, são abordadas nesse artigo.

A severidade de um incêndio influencia diretamente a capacidade de recuperação da vegetação e a composição de espécies pós-fogo. Para tanto, vários índices espectrais foram criados, no intuito de monitorar a cobertura vegetal, medir a densidade da vegetação e vigor vegetativo, e detectar os efeitos pós-fogo na vegetação. As aplicações de sensoriamento remoto são consideradas como as mais eficazes para quantificar a severidade, estabelecer os níveis de combustível disponível e a taxa de recuperação dos recursos florestais após a queima (Wing *et al.*, 2013). Os índices espectrais possuem simplicidade conceitual e eficiência. Assim, têm vantagens claras sobre outras metodologias de avaliação de severidade de queima. Esses índices utilizam os níveis de reflectância de bandas específicas do espectro

eletromagnético, a maioria envolvem faixas do infravermelho próximo, devido à alta reflectância da vegetação nessa parte do espectro. Enquanto a maior parte dos índices utiliza apenas uma imagem, há também índices bitemporais que utilizam duas imagens, uma anterior e uma posterior a ocorrência do incêndio (Schepers *et al.*, 2014).

Certas técnicas de processamento digital de imagens permitem estimar o impacto gerado pelos incêndios e quantificar a sua severidade. Porém, existe muitas dessas técnicas aplicadas nos mais diversos contextos no mundo. Considerando a grande diversidade desses processamentos, o objetivo desse artigo foi realizar uma revisão da literatura acerca dos principais índices espectrais utilizados para se medir a severidade dos incêndios florestais, analisar a influência da vegetação nos resultados gerados e comparar a eficiência desses em diferentes pesquisas. Em um estudo de caso no Parque Nacional da Serra da Canastra (PNSC), quatro técnicas foram aplicadas e avaliadas.

2 Metodologia

Foram analisados 8 artigos científicos para esse trabalho. Estes foram selecionados a partir dos periódicos Remote Sensing, International Journal of Remote Sensing Applications e International Journal of Wildland Fire. Também foram analisados artigos do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto e do Encontro de Geografia Física e Ambiente - Grandes incêndios florestais, erosão, degradação e medidas de recuperação dos solos, ocorrido em Portugal. Como a análise da severidade a partir de dados de sensoriamento remoto pertence a um campo relativamente recente, todos os artigos foram publicados nos últimos 5 anos, no qual utilizaram diferentes metodologias e índices espectrais para avaliar a severidade de incêndios florestais, além de discutir terminologias dessa área de pesquisa. Na seção de resultados é apresentada a contribuição desses trabalhos para o avanço do conhecimento científico na avaliação dos impactos e danos ao ambiente causados por incêndios. Além disso, é feita uma análise do desempenho dos índices NDVI, NBR, dNDVI e dNBR em um estudo de caso.

3 Resultados

Os índices e as pesquisas sobre a severidade de incêndios florestais

O satélite comumente utilizado em quase todos os estudos é o Landsat Thematic Mapper (TM), e o Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), que possui resolução espacial nominal de 30 m. O sensor capta informações espectrais em 7 bandas. Sua resolução temporal é de 16 dias. Um dos motivos principais que o faz ser amplamente utilizado é o fato de possuir amplo catálogo de imagens, que estão disponíveis gratuitamente a partir do ano de 1984. Para as medidas de campo, utilizadas na validação dos resultados obtidos através dos sensores, destacam-se 2 métodos, o CBI (Composite Burn Index) e GeoCBI (Geometrically structured Composite Burn Index), que adiciona a fração de cobertura do solo ao CBI. O GeoCBI e CBI avaliam vários fatores de severidade de queima no campo, pelo método de amostragem de parcela, subdividindo a vegetação em 5 estratos: (i) os substratos; (ii) gramíneas, ervas e pequenos arbustos abaixo de 1 m; (iii) arbustos altos e árvores de até 5 m; (iv) as árvores de 5 a 20 m; e (v) grandes árvores mais altas do que 20 m. (Schepers *et al.*, 2014).

Keeley (2009) faz uma breve revisão sobre as terminologias utilizadas em periódicos que abordam o impacto dos incêndios nos ecossistemas, sugerindo uma distinção entre os termos "intensidade do fogo", "severidade do fogo" e "severidade de queima". Há certa confusão entre os termos, sendo às vezes utilizados como sinônimos, entretanto, representam fenômenos diferentes. A intensidade do fogo refere-se à energia liberada a partir da combustão da matéria orgânica durante as várias fases do incêndio. Diferentes métricas foram criadas para medi-la, como a intensidade da reação, temperatura, duração de aquecimento, energia radiante, etc. A severidade do fogo é dada pela perda ou decomposição de matéria orgânica na superfície e abaixo do solo. Métricas para este parâmetro variam de acordo com o ecossistema, como exemplo de uma dessas métricas pode-se citar a mortalidade de plantas. A severidade do fogo está fortemente relacionada à intensidade do fogo. A severidade de queima

se assemelha muito à anterior, entretanto, utiliza a variável de resposta do ecossistema. Esta se caracteriza pela erosão do solo, regeneração da vegetação, restauração estrutural de comunidades, recolonização da fauna e uma infinidade de variáveis de resposta relacionadas. Na Imagem 1 é feita uma representação gráfica das terminologias apresentadas no artigo.

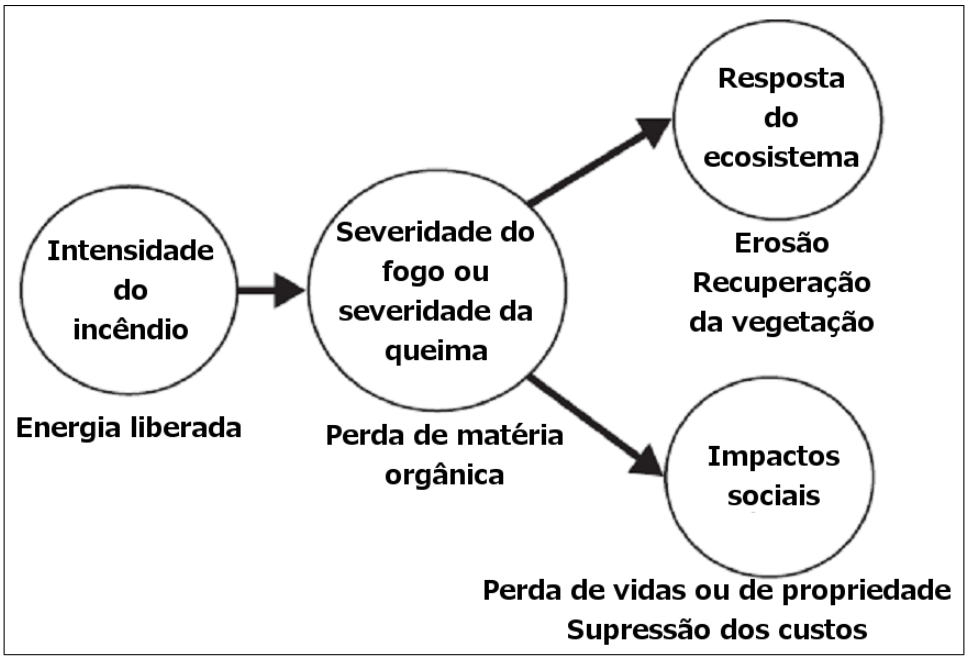


Figura 1: Representação esquemática relacionando a energia liberada pelo fogo (intensidade do fogo), o impacto mensurado pela perda de matéria orgânica (severidade do fogo ou da queima), e a reposta do ecossistema e os impactos sociais. Adaptado de Keeley (2009).

Nas pesquisas de Schepers *et al.* (2014) foram utilizados dados do aerotransportado APEX (Airborne Prism Experiment) para investigar quais regiões espectrais e índices espectrais possuem melhor desempenho em discriminar áreas queimadas de áreas não queimadas e avaliar a severidade de queima no Kalmthoutse Heide, uma área protegida no norte da Bélgica, que foi atingida por um grave incêndio em 2011. Nesse artigo são testados uma série de índices espectrais, os quais estão detalhados na Tabela 1. Pesquisas anteriores demonstraram que o desempenho dos índices espectrais depende do tipo de vegetação analisada. Nesse estudo a avaliação da severidade pelo NBR não foi satisfatória, enquanto que em outros estudos

este índice geralmente adquire os melhores resultados. Apesar disso, esse índice foi o que obteve os melhores resultados para discriminar as áreas queimadas das não queimadas. Como nesse trabalho foram analisados 4 tipos diferentes de vegetação, já se esperava resultados diferenciados. Sendo assim, nenhum dos índices elencados na Tabela1 teve um desempenho satisfatório para todos os tipos vegetacionais, quando relacionados aos dados adquiridos em campo pelo GeoCBI. O MIRBI, por exemplo, apresentou bom desempenho para a vegetação Molinia (R^2 = 0,78), entretanto para Pinus, apresentou baixa correlação (R^2 = 0,19).

Tabela 1: Índices Espectrais. Adaptado de Schepers *et al.* (2014)

Índice Espectral	**Abreviação**	**Fórmula**
Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	NDVI	$\frac{IVP-VER}{IVP+VER}$
Índice Global de Monitoramento Ambiental	GEMI	$y(1-0.25y)-\frac{VER-0.125}{1-VER}$ $y=\frac{2(IVP^2-VER^2)+1.5IVP+0.5VER}{IVP+VER+0.5}$
Índice de Vegetação Aprimorado	EVI	$2.5\frac{IVP-VER}{IVP-6VER-7.5AZU+1}$
Índice de Vegetação ajustado ao solo	SAVI	$(1+L)\frac{IVP-VER}{IVP+VER+L}$ $L=0.5$
Índice de vegetação ajustado ao solo Modificado	MSAVI	$2IVP-\frac{\sqrt{(2IVP+1)^2-8(IVP-VER)}}{2}$
Índice de Área Queimada	BAI	$[(0.1+VER)^2+(0.06+IVP)]^{-1}$
Razão de Queima Normalizada	NBR	$\frac{IVP-IVD}{IVP+IVD}$
Índice de carvão do solo	CSI	$\frac{IVP}{IVD}$
Índice de Queima do Infravermelho Médio	MIRBI	$10IVD-9.8IVM+2$

VER = Vermelho; IVP = Infravermelho Próximo; IVD = Infravermelho Distante; IVM = Infravermelho Médio

Parks *et al.* (2014) definem severidade como o grau de mudança, induzida pelo fogo, na vegetação e nos solos, medidas através de métricas baseadas no Landsat. Nesse estudo foram utilizadas imagens do Landsat TM e ETM+ para testar a eficiência da variação dos índices dNBR (delta Normalized Burn Ratio) e o RdNBR (Relativized delta Normalized Burn Ratio) em 18 incêndios ocorridos no oeste dos Estados Unidos. Além de verificar a eficiência desses índices, os autores propuseram uma alternativa que seria a avaliação de um novo índice, o

RBR (Relativized Burn Ratio). As fórmulas de cada um desses índices encontram-se abaixo.

$$NBR = \frac{banda4 - banda7^{*}}{banda4 + banda7} \quad \text{* as banda 4 e 7 são do Landsat 5 e 7} \tag{1}$$

$$dNBR = [(NBR_{prefogo} - NBR_{posfogo}) * 1000] - dNBR_{offset} \tag{2}$$

$$RdNBR = \frac{dNBR}{|(NBR_{prefogo})|^{0.5}} \tag{3}$$

$$RBR = \frac{dNBR}{NBR_{prefogo} + 1.001} \tag{4}$$

Como pode-se notar, as equações dNBR e RdNBR acrescentam pequenos e importantes ajustes referentes ao índice NBR. O dNBRoffset é o valor médio dos pixels relativamente homogêneos e se destina a explicar as diferenças devido à fenologia ou precipitação entre o pré e pós-fogo das imagens. Foi utilizado o método CBI para validação dos dados em campo. No geral, o RBR foi o que melhor correspondeu às medições de severidade baseadas em campo e teve a precisão da classificação mais elevada em comparação com dNBR e RdNBR. Embora houvesse incêndios individuais onde outras métricas (particularmente RdNBR) tiveram melhor desempenho do que RBR, quando as avaliações foram em média entre os 18 fogos o RBR sempre teve o melhor desempenho. Esta avaliação incluiu fogos em todo o EUA ocidental, sugerindo que o RBR é uma métrica robusta que pode ser usada em diferentes regiões geográficas e regimes de fogo.

O objetivo principal de Cardozo *et al.* (2011) foi analisar e mapear incêndios em imagens Landsat TM/5 que possuíam a cidade de Brasília como região central, através da variação dos índices NDVI e NDBR. Suas fórmulas encontram-se abaixo:

$$\Delta NDVI = \left[\left(\frac{\rho_{b4} - \rho_{b3}}{\rho_{b4} + \rho_{b3}}\right)_{pre} - \left(\frac{\rho_{b4} - \rho_{b3}}{\rho_{b4} + \rho_{b3}}\right)_{pos}\right] \tag{5}$$

$$\Delta NDBR = \left[\left(\frac{\rho_{b4} - \rho_{b7}}{\rho_{b4} + \rho_{b7}}\right)_{pre} - \left(\frac{\rho_{b4} - \rho_{b7}}{\rho_{b4} + \rho_{b7}}\right)_{pos}\right] \tag{6}$$

Como a grande parte dos índices, estes também utilizam a reflectância das bandas 3, 4 e 7, por serem regiões sensíveis às mudanças na vegetação. Os resultados obtidos mostraram que a variação do NDBR distinguiu melhor as áreas queimadas, tanto em relação à ocorrência quanto à severidade, apresentando alta eficiência na classificação das áreas queimadas, pois possui grande similaridade com o mapeamento manual realizado.

No trabalho de Tedim *et al.* (2013) é contestado o termo "grande incêndio florestal", o qual é utilizado para designar eventos com área queimada acima de 100 hectares em Portugal. Esse termo apresenta limitações pois o perímetro do incêndio é considerado como uma extensão contínua, afetada pela mesma intensidade, o que limita a compreensão da complexidade espacial e temporal da severidade do fogo e de suas interações com a paisagem. Assim como no trabalho de Cardozo *et al.* (2011), também optou-se por utilizar os métodos bitemporais para demonstrar que os incêndios afetam o ecossistema de maneiras distintas. Os índices difference Normalized Burn Ratio (dNBR) e o difference Normalized Difference Vegetation Index (dNDVI) proporcionam um rápido e eficiente método para delimitação da área afetada e para avaliação da severidade ecológica, entretanto os autores ressaltam que em superfícies complexas, com presença de espelhos de água, rochas e solo descoberto, os resultados podem ser ineficientes. A partir dos dados obtidos pelo dNBR, conclui-se que dos 4 incêndios analisados, o de maior extensão, ocorrido em Tavira, foi o que apresentou menor severidade. Isso mostra a complexidade e heterogeneidade da distribuição espacial da severidade, pois nem sempre o maior incêndio é também o que possui o maior impacto para o ecossistema.

Wing *et al.* (2013) traz uma revisão acerca da variedade de aplicações de Sensoriamento Remoto e da Tecnologia de Sistemas Aéreos Não Tripulados para monitorar e quantificar os impactos de incêndios florestais. Ressalta que as tecnologias desenvolvidas pelo Sensoriamento Remoto envolvem a quantificação da severidade de queima, níveis de combustível, a recuperação dos recursos florestais após a queima, etc. Destaca que além do Landsat, outros dois sensores muito utilizados nessas aplicações são o MODIS (Moderate Resolution Ima-

ging Spectroradiometer) e SPOT (Système Pour l'Observation de la Terre). Resultados das pesquisas analisadas nesse artigo demonstraram que a vegetação pré-fogo obteve grande influência sobre a severidade de queima, pois as florestas de coníferas apresentaram severidade muito acima de florestas decíduas. Outro fator que dificulta a detecção e classificação precisa dos incêndios é a sazonalidade, pois na primavera, por exemplo, a vegetação circundante é muito verde, o que facilita na discriminação das bordas da área queimada. Isso não acontece durante o outono, onde as plantas estão mudando de cor, o que dificulta traçar limites para o início e fim do fogo. Os autores concluem que dados complementares sobre o clima, latitude e severidade do fogo podem reduzir incertezas existentes entre o pré e pós-fogo nas medidas de sensoriamento. Além disso, como os sensores e suas potenciais aplicações continuam a evoluir, espera-se futuramente obter melhor precisão na análise de incêndios.

Além de utilizar índices espectrais para avaliar a severidade, Vlassova *et al.* (2014) propõe o estabelecimento da relação entre a severidade de incêndios e a temperatura da superfície (Land Surface Temperature – LST), através de séries temporais de quinze imagens Landsat 5-TM. Esse estudo baseou-se em um incêndio ocorrido em julho de 2009, na Espanha, e as imagens vão até o 27º mês após a ocorrência desse incêndio. Para se estimar a LST é aplicado um algoritmo na banda termal (banda 6 do Landsat 5-TM). Dessa forma, o objetivo principal desse estudo foi avaliar as mudanças da LST em algumas imagens por um período de dois anos após a ocorrência do incêndio e analisar a relação entre LST e a estimativa da severidade de queima, por meio do índice dNBR. Além disso, pretendia-se estudar a relação entre rebrota da vegetação, mensurada pelo NDVI e as mudanças na LST. A hipótese testada é que a distribuição espacial do LST depende da severidade de queima e que seu intervalo em cada imagem está relacionado com o ciclo fenológico e o tempo decorrido desde o fogo. O incêndio analisado através do dNBR apresentou altos valores de severidade, uma vez que mais de 70% da área está dentro das categorias Média-Alta e Alta Severidade. Entretanto, os autores ressaltam que a predominância dos intervalos de severidade de queima mais altos

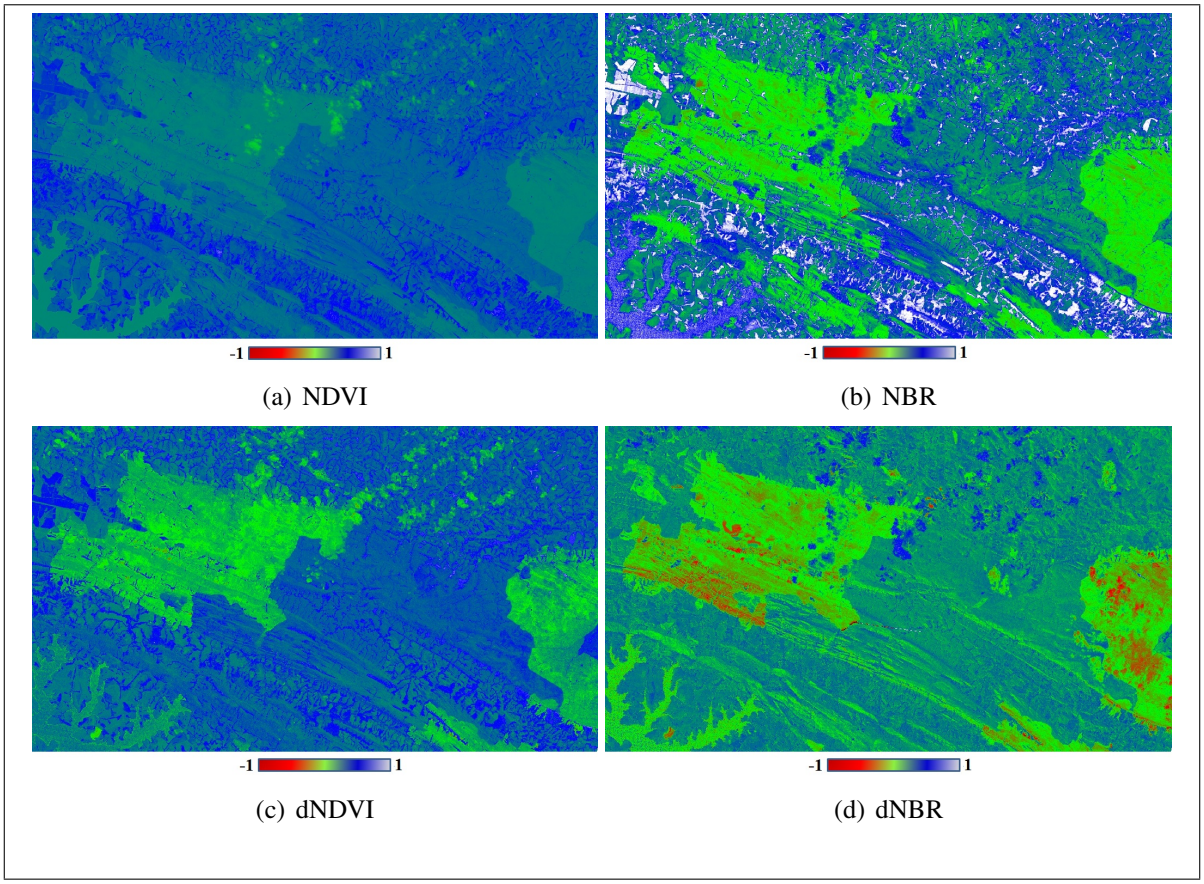
está relacionada ao fato da imagem utilizada se referir ao momento pós-fogo imediato, não dando tempo ao ecossistema para mostrar respostas adicionais ao fogo. Os autores concluem que imediatamente após o incêndio, as zonas queimadas foram, em média, $7,6°C$ mais quentes que a zona não queimada, e as regiões de alta severidade apresentaram diferença ainda maior, acima de $10°C$. A diferença da LST está diretamente relacionada à severidade de queima. Após os primeiros meses do incêndio, o contraste da LST entre áreas queimadas e não queimadas diminui, ainda assim, essas diferenças são detectáveis por dois anos após o incêndio.

Teobaldo e Baptista (2013) utilizaram os índices dNBR e RdNBR para quantificar o grau de severidade de queimadas ocorridas no ano de 2010 no Parque Nacional de Brasília e na Estação Ecológica das Águas Emendadas. Os índices foram utilizados também para incêndios de 2011 da Floresta Nacional de Brasília e Estação Ecológica do Jardim Botânico. Como resultados o RdNBR identificou melhor as áreas queimadas, sendo que o dNBR superestimou a área não queimada e subestimou as demais classes, ignorando as áreas com menor densidade vegetal e que foram submetidas a queimadas. Assim como já foi ressaltado em trabalhos anteriores, houve confusão de espelhos d'água com áreas queimadas durante a aplicação dos índices, por isso os autores sugerem a utilização de máscaras para retirar pixels indevidos. Sendo assim, nesse estudo o dNBR se mostrou ineficiente, enquanto o índice relativo (RdNBR) forneceu definição mais consistente sobre a severidade de queima na região.

Estudo de caso no PNSC

Foram aplicados os índices NDVI, NBR, dNDVI e dNBR em imagens do sensor Landsat 5-TM, da órbita ponto 220/74. Foi feito um recorte na área que representa parte do Parque Nacional da Serra da Canastra, onde ocorreu um grande incêndio em agosto de 2010. Para os índices NDVI e NBR foram utilizadas imagens do dia 31 de agosto. Já para os índices bitemporias, dNDVI e dNBR, além da imagem do dia 31 de agosto foi utilizada a imagem

do dia 15 de agosto, onde ainda não havia sido registrado incêndios. Como os índices utilizam informações espectrais distintas eles apresentam características diferenciadas. Imagens geradas pelos índices podem ser vistas na Figura 2.



(a) NDVI (b) NBR

(c) dNDVI (d) dNBR

Figura 2: Exemplos dos índices aplicados.

O índice NDVI apresenta áreas mais homogêneas, como pode ser observado na imagem (a), principalmente quando se compara com o desempenho do NBR, representado na imagem (b), onde há maior contraste da área queimada com o entorno, distinguindo melhor as áreas queimadas das não queimadas. Na análise dos índices bitemporais é possível ver na imagem (d) que o dNBR apresenta maior diferenciação nos níveis da severidade de queima em relação à imagem (c), referente ao dNDVI, que também apresentou variações na intensidade, entretanto elas foram mais discretas. Sendo assim, o índice NBR foi o melhor para caracterização das áreas queimadas, pois coincide com o mapeamento manual realizado e o dNBR o mais

apropriado para distinção dos diferentes níveis de severidade.

4 Conclusões

A severidade de um incêndio é um dos fatores que controlam a recuperação da vegetação e composição de espécies pós-fogo. Entretanto, utilizar um único Índice de Severidade para todos os tipos de vegetação não é desejável. Correlações mais elevadas com os dados de referência de campo são obtidas quando os índices espectrais separados são usados por tipo de vegetação (Schepers *et al.*, 2014). O uso de índices espectrais e novas metodologias para avaliar a severidade de incêndios florestais vêm aumentando e se aperfeiçoando, dada à importância de se entender a complexidade do impacto de incêndios nas propriedades do solo e da vegetação. Entretanto, essas metodologias necessitam de dados adicionais, coletados através de pesquisas de campo, para auxiliar na definição do desempenho dos índices espectrais.

Referências

Cardozo, F. d. S., F. d. S. R. V. Martins, L. d. O. Pereira, L. Y. Sato, Y. M. d. Moura, G. Pereira, e Y. E. Shimabukuro (2011). Avaliação de áreas queimadas a partir dos índices espectrais ndvi e ndbr. pp. 7950–7957.

França, D. d. A. e N. J. Ferreira (2005). Considerações sobre o uso de satélites na detecção e avaliação de queimadas. pp. 3017–3023.

Keeley, J. E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire 18*(1), 116–126.

Parks, S. A., G. K. Dillon, e C. Miller (2014). A new metric for quantifying burn severity: The relativized burn ratio. *Remote Sensing 6*(3), 1827–1844.

Pereira, G., N. J. Ferreira, E. C. Moraes, F. da Silva Cardozo, e S. R. de Freitas (2009).

Análise das áreas queimadas e das emissões dos gases do efeito estufa no parque estadual da serra do tabuleiro-santa catarina. *Geosul, Florianópolis 24*(47), 113–130.

Schepers, L., B. Haest, S. Veraverbeke, T. Spanhove, J. Vanden Borre, e R. Goossens (2014). Burned area detection and burn severity assessment of a heathland fire in belgium using airborne imaging spectroscopy (apex). *Remote Sensing 6*(3), 1803–1826.

Tedim, F., R. Remelgado, J. Martins, e S. Carvalho (2013). Os grandes incêndios florestais em portugal desafios para a gestão do risco. *Grandes incêndios florestais, erosão, degradação e medidas de recuperação dos solos*, 75–86.

Teobaldo, D. e G. M. d. M. Baptista (2013). Quantificação do grau de severidade de queimada em unidades de conservação no distrito federal por meio dos índices espectrais dnbr e rdnbr. pp. 6534–6540.

Vlassova, L., F. Pérez-Cabello, M. R. Mimbrero, R. M. Llovería, e A. García-Martín (2014). Analysis of the relationship between land surface temperature and wildfire severity in a series of landsat images. *Remote Sensing 6*(7), 6136–6162.

Wing, M. G., J. Burnett, e J. Sessions (2013). Remote sensing and unmanned aerial system technology for monitoring and quantifying forest fire impacts. *Int. J. Remote Sens*.