

Avaliação da potencialidade do índice de vegetação SFDVI (Spectral Feature Depth Vegetation Index) para a discretização da cobertura do solo em áreas rurais.

Bruno Carramaschi Borges ¹
Gustavo Macedo de Mello Baptista ¹

¹ Universidade de Brasília – UNB/IG/CEAM
Caixa Postal 4465 - 70.910-90 – Campus Universitário Darcy ribeiro, Asa Norte - Brasília -
DF, Brasil
brunoborges@mpf.mp.br
gmbaptista@unb.br

Abstract. The appraisal of farms market value is widely used by the Brazilian Federal Government as a tool for obtaining land. For this, it is necessary to define its characteristics. The use of vegetation indices for determining the ground cover is an appropriate tool for this purpose. This study aims to evaluate the potential of SFDVI (Spectral Feature Depth Vegetation Index) in land cover discretization and compare their performance with two other indexes traditionally used for this purpose. Therefore, we use a RapidEye image and selected the NDVI and EVI indexes to compare their individual ability to identify soil, grasslands, gallery forest, savannah and water. The result of applying the indexes showed that SFDVI presented a higher potential, especially for targets with dense vegetation cover. In addition, the similarity was tested using the Mann-Whitney test and verified that despite the three presenting high correlation, they are not similar.

Palavras-chave: SFDVI, NDVI, EVI, farm appraisal, índices de vegetação, sensoriamento remoto.

1. Introdução

A valoração das propriedades rurais leva em consideração diversos fatores que são determinantes na formação dos preços. Para a avaliação de imóveis rurais é necessária a separação da terra nua de suas benfeitorias, pois cada uma tem um impacto diferente no valor final calculado (ABNT, 2004).

Na definição do valor da terra nua são estudadas as características das terras e do meio ambiente que compõe o imóvel. A identificação de características como restrições legais de uso, fitofisionomias, hidromorfismo, declividade e tipos dos solos são consideradas, pois quanto maior a capacidade agrônômica das terras, maior será o seu valor de mercado. Delimitar e mensurar as diferentes coberturas do solo, que determinam o tipo de uso e exploração mostra-se um passo importante, visto que a caracterização do meio físico é necessária para a valoração (Lima, 2012).

A qualidade de benfeitorias reprodutivas, pastos e florestas plantadas, influi no valor, pois quanto maior o grau de degradação, menor o seu valor de venda. Já o montante de áreas de preservação permanente e com vegetação nativa existentes determinam a viabilidade de exploração (Carvalho, 2012).

Nesse contexto, o sensoriamento remoto torna-se uma ferramenta importante, pois pode ser utilizado para medir e monitorar características biofísicas e atividades humanas na terra (Jensen, 2011) e possui aplicações nas áreas de levantamentos de recursos naturais e mapeamentos temáticos (Meneses e Almeida, 2012).

Os padrões de cobertura de vegetação e uso da terra podem ser de difícil separação em imagens de satélite, pois tanto a mistura, quanto a semelhança espectral entre os alvos, além de atributos da vegetação como ciclo fenológico, fitofisionomias, efeito das estações do ano e composição do dossel podem acarretar em confusão na interpretação e consequentes erros analíticos (Pozoni, 2009).

Nesse ínterim, a utilização de índices de matemática espectral ligados ao estudo da vegetação é um instrumento que permite a separação dos alvos e o monitoramento das condições e saúde das plantas. (Jensen, 2011).

Dentre as aplicações dos índices de vegetação estão o mapeamento áreas vegetadas e não vegetadas, distinção entre tipos e densidades de vegetação e o monitoramento durante as variações entre as estações do ano do vigor, abundância e distribuição das plantas (Meneses e Almeida, 2012).

A banda *RedEdge* (vermelho limítrofe ou borda do vermelho), com reflectância entre 680 e 780 nm, presente na constelação de satélites RapidEye, tem a capacidade de monitorar a capacidade fotossintética e permitir a separação das espécies e condições fisiológicas da vegetação (PlanetLabs, 2016).

Segundo Ramoelo (2012, p.152, apud Hansen and Schjoerirring, 2003 e Mutanga and Skidmore, 2007), os índices de vegetação computados com base na banda RedEdge tem fornecido resultados mais aperfeiçoados na estimativa de nitrogênio foliar em relação àqueles oriundos das bandas do infravermelho próximo e vermelho.

Vários índices de vegetação, baseados na região do RedEdge, foram desenvolvidos e estudados ao longo do tempo com objetivos diversos, geralmente voltados a determinar características biofísicas e bioquímicas das plantas e dosséis (Eitel et al., 2007; Ehammer et al., 2010; Main et al., 2011; Ramoelo et al., 2012).

Baptista (2015) desenvolveu o índice denominado de *Spectral Feature Depth Vegetation Index/SFDVI* no qual as nuances da atividade fotossintética da vegetação são melhor delineadas, além de apresentar a capacidade de equalizar o problema da saturação existente no índice NDVI relacionadas a formações florestais. Os resultados preliminares indicaram que o índice apresentou um maior potencial de destacar as nuances da atividade fotossintética em áreas de com dossel mais denso do que os índices utilizados para a comparação, NDVI e EVI.

Entende-se que esse índice tenha o potencial de discretizar tipologias vegetais em áreas rurais e superar a capacidade de outros índices de vegetação já existentes. Desse modo, este trabalho objetiva testar a potencialidade do índice SFDVI, em uma cena RapidEye do Município de Flores de Goiás/GO, em relação aos índices NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* (Rouse et al., 1974) e EVI - *Enhanced Vegetation Index* (Huete et al., 1998).

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada no interior da Fazenda Cowboy, com área de 3944 hectares, localizada no Município de Flores de Goiás/GO – inserido na Região do Vale do Paranã (Figura 1).

A escolha do imóvel se deu em razão da sua localização, próxima à sede do Município, facilidade de acesso, características de uso e cobertura do solo e grau de variabilidade e qualidade dos alvos foco deste estudo. Trata-se de uma propriedade que tem como finalidade produtiva por meio da exploração pecuária e produção de sementes de pastagens com elevado grau de tecnificação.

As tipologias a serem identificadas neste estudo são bem delineadas na imagem e foram divididas em mata de galeria, água, pastagens, cerrado e solos expostos.

A imagem foi coletada no dia 25 de maio de 2015, época de transição entre as estações de chuva e seca na Região do Centro Oeste brasileiro, período no qual a vegetação começa a entrar em stress hídrico e iniciar a fase de secagem. Na data de passagem do satélite, as chuvas haviam cessado há 14 dias. Com isso, infere-se que os solos estivessem com um menor grau de umidade, fazendo com que a vegetação se apresentasse nos estágios iniciais do processo de stress. No imóvel existem, ainda, os campos de murundus com características hidromórficas, que permitem as plantas adaptadas permanecerem verdes por mais tempo.

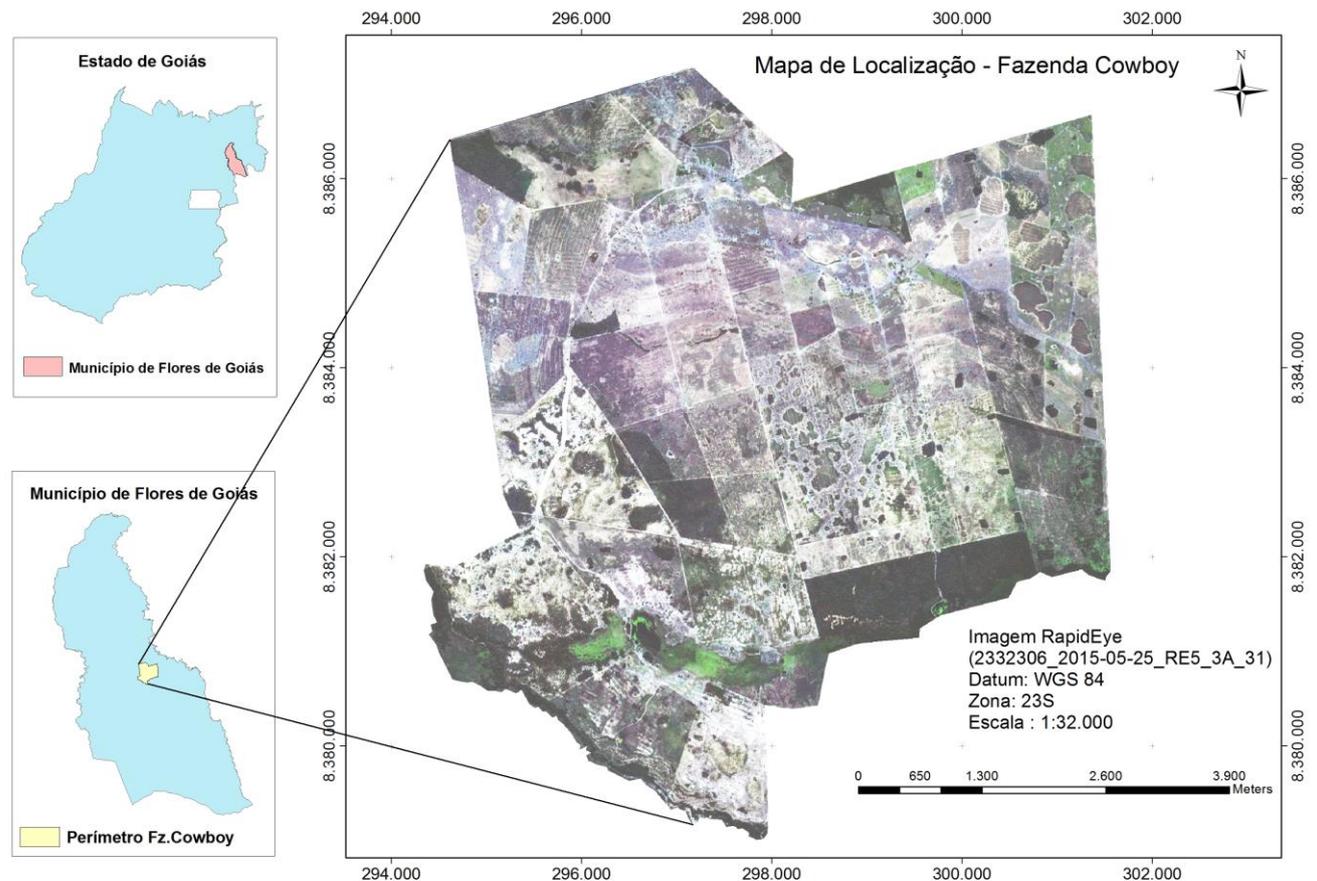


Figura 1. Perímetro e localização da área em estudo. Imagem RapidEye Ortho Level-3A datada de 25/05/2015.

2.2 Pré-processamento da Imagem RapidEye

Foi utilizada para este estudo uma imagem RapidEye Ortho Level 3A (2332306_2015-05-25_RE5_3A_316655), disponibilizada gratuitamente pelo Ministério do Meio Ambiente. As imagens RapidEye possuem resolução espacial de 5 metros, radiométrica de 12 bits e temporal de 5,5 dias. O sensor é composto por cinco bandas (Figura 2).

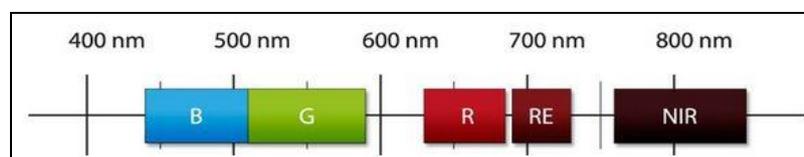


Figura 2. Resolução espectral dos satélites RapidEye. Disponível em <http://www.amskepler.com/rapideye-info/>, acesso em 12/09/2016.

O processamento de correção atmosférica para topo de atmosfera foi realizado no módulo de calibração radiométrica do software Envi 5.3. A correção geométrica e elaboração de mapas temáticos foram realizados no software ArcGis 10.

2.3 Aplicação dos índices espectrais

Segundo Jensen (2009), o uso de índices de vegetação, definidos como medidas radiométricas adimensionais que exprimem a atividade da vegetação fotosinteticamente ativa,

permitindo que estudos ligados à modelagem de parâmetros biofísicos das plantas e dosséis, cujas métricas obtidas podem se relacionar com a mensuração do índice de área foliar, concentração de nitrogênio, porcentagem de cobertura verde sadia e teores de clorofila. Por outro lado, a grande quantidade de índices elaborados acaba por produzir resultados semelhantes em termos de qualidade e conteúdo de dados produzidos. Daí a necessidade de se identificar índices que tenham melhores condições de viabilizar as análises pretendidas.

O NDVI (Rouse et al., 1974) é um índice desenvolvido com base na diferença normalizada, calculada em função das bandas do vermelho e do infravermelho e, apesar de ser um dos índices mais difundidos, apresenta limitações ligadas à saturação em alvos com elevado índice de área foliar e com a ocorrência de background do solo e umidade, limitando a amplitude da análise em áreas com dosséis vegetais densos e regiões com solos muito expostos (Jensen, 2011). Assim, no intuito de corrigir essa problemática Huete et al.(1988), desenvolveu o índice EVI.

Com uma abordagem diferente, Baptista (2015) idealizou o índice SFDVI, baseado na “integração das profundidades de feição a partir da média dos pontos de máxima reflectância na região do verde e do infravermelho”, presentes no satélite RapidEye (Tabela 1).

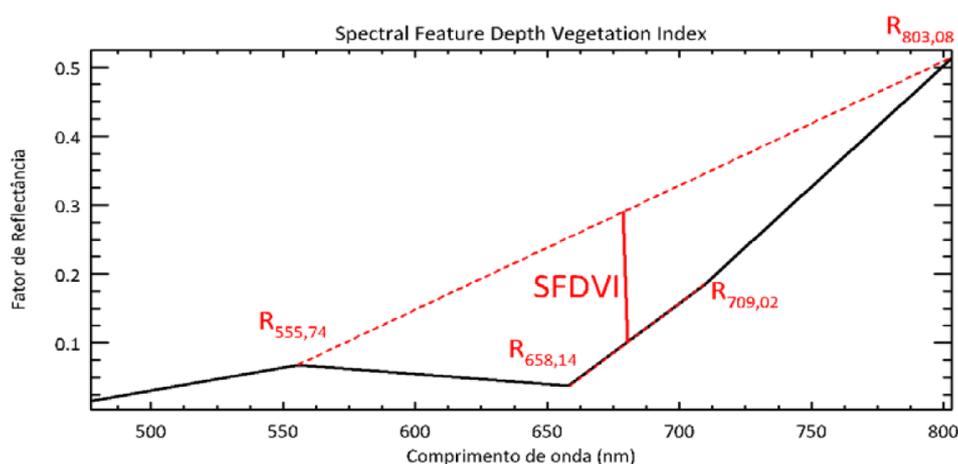


Figura 3. Índice SFDVI. Adaptado de Baptista (2015)

Os índices de vegetação foram trabalhados no software Envi 5.3 a partir de imagens RapidEye pré-processadas. As regiões de interesse com os alvos em estudo (solo exposto, cerrado, água, pastagens e mata galeria) foram sobrepostas às imagens calculadas e suas métricas extraídas em formato ASCII. Esses dados foram processados no software Bioestat® com o objetivo de verificar a relação entre os índices. Para tal, foi aplicado o teste de normalidade D’Agostino-Pearson, o teste de Kendall para verificar o grau de correlação e, por fim, o teste de Mann-Whitney para analisar a similaridade.

Tabela 1. Descrição dos índices espectrais utilizados neste estudo.

Índice	Fórmula	Autor
NDVI	$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$	Rouse et al., 1974
EVI	$EVI = 2,5 \frac{NIR - Red}{NIR + 6 Red - 7,5 Blue + 1}$	Huete et al.,1996
SFDVI	$SFDVI = \frac{NIR + Green}{2} - \frac{Red + RedEdge}{2}$	Baptista, 2014

3 Resultados e discussão

Os dados extraídos das três imagens produzidas (EVI, NDVI e SFDVI) foram plotados em gráficos de dispersão, que mostraram comportamentos distintos entre os índices EVI e NDVI em relação ao SFDVI. Os índices SFDVI e EVI apresentaram um comportamento linear com coeficiente de determinação de 0,9452, ao passo que a relação SFDVI e NDVI apresentou um polinômio de segundo grau com R^2 inferior (0,9168).

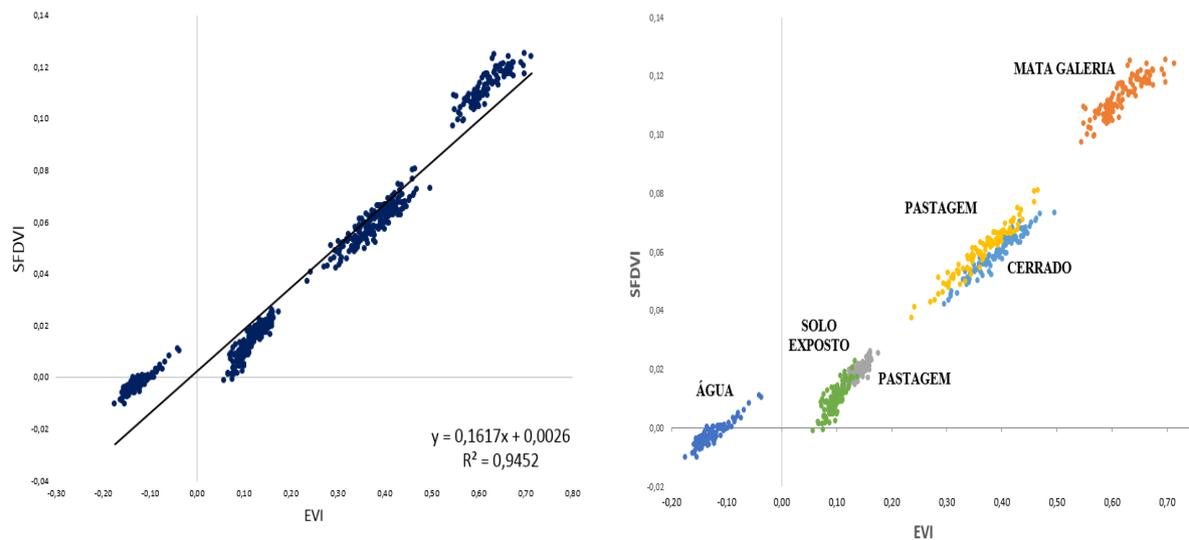


Figura 4: Gráficos de dispersão EVI x SFDVI.

Nota-se na Figura 4 que a relação entre os dois índices mostra uma tendência muito clara de que ambos se comportam de maneira semelhante, em que as leituras de água apresentam valores negativos e as regiões com vegetação em graus diferentes de atividade fotossintética um crescimento direto positivo, corroborando com o esperado por Huete et al., (1988) ao desenvolver o EVI. Percebe-se, também, que em ambos os casos não houve a saturação nas áreas com dossel adensado, como no caso da mata de galeria. Por outro lado, pode-se assumir que o uso da banda do *RedEdge* teve um papel importante na redução da influência do background do solo, compactuando com o trabalho desenvolvido por Delegido et al. (2013).

Ressalta-se que se trata de um resultado positivo, pois os efeitos esperados para o EVI foram melhorados, visto que o SFDVI apresentou um intervalo de dados mais curto, variando nesse caso de -0,0102 a 0,1256, enquanto o EVI variou de -0,1748 a 0,7127. Desse modo, pode-se concluir que para o SFDVI existe uma janela de crescimento para a diferenciação de alvos, principalmente para áreas com vegetação com alta atividade fotossintética. Situação em que o EVI apresentou uma resposta mais restrita.

Ocorreu confusão entre os alvos de solo exposto e pastagem, provavelmente em razão da existência de palhada. Análise semelhante pode ser feita em relação à pastagem e o cerrado, que apresentaram leituras espectrais muito próximas. Assume-se que, nesse caso, a vegetação nativa encontrava-se com maior volume de folhagem verde, pois tende a secar mais tardiamente, assim como os pastos localizados em áreas hidromórficas (campos de murundus) com água acumulada no perfil do solo, em consonância com o verificado por Borges et al. (2014).

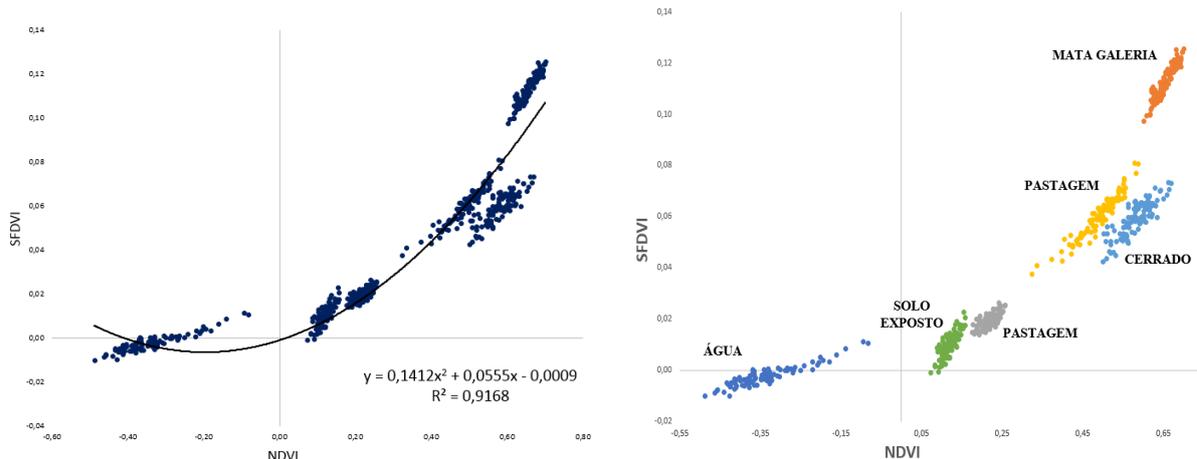


Figura 5: Gráficos de dispersão NDVI x SFDVI.

O gráfico representado na Figura 5 mostra que a relação NDVI e SFDVI é não linear (polinomial de segundo grau), indicando que o comportamento de leitura dos alvos pelos índices não é direto. Ainda assim, o R^2 de 0,9168 mostra que existe uma forte correlação. Para os alvos em estudo, os valores variaram de -0,0102 a 0,1256 para o SFDVI e de -0,4883 a 0,7008 para o NDVI, denotando num cenário semelhante ao caso anterior, no qual o SFDVI apresenta uma maior capacidade de separação dos alvos e sem o problema de saturação apresentado pelo NDVI.

Por se tratar de um número de amostras superior a 100 unidades, o teste estatístico de D'Agostino-Pearson foi utilizado para verificar a normalidade dos dados. Como resultado, foi verificada a ocorrência de normalidade entre os índices EVI e NDVI. Todavia, a mesma situação não se mostrou verdadeira quanto ao SFDVI, que não apresentou uma distribuição normal, resultando na necessidade de realização de testes estatísticos não paramétricos (Tabela 2).

Pode-se inferir que a utilização da banda *RedEdge* auxiliou na resolução da problemática relacionada com a saturação e permitiu identificar melhor a expressão fotossintética da vegetação em estudo. Resultados que coadunam com as conclusões obtidas por Clevers (2013) e Main (2011), que verificaram que os índices elaborados com essa banda apresentam resultados mais aprimorados para a estimativa de clorofila e nitrogênio foliar do que aqueles que utilizam apenas as bandas do vermelho e do infravermelho.

Tabela 2. Descrição dos índices espectrais.

Resultados	EVI	NDVI	SFDVI
Tamanho da amostra	645	645	645
K2	12.09	11.43	16.28
Graus de liberdade	2	2	2
p	0.0024	0.0033	< 0.0001
K Tabelado		13.816	
Conclusão	Aceita H_0	Aceita H_0	Rejeita H_0

Na sequência, foi aplicado o teste de Kendall, com o intuito de determinar o coeficiente de correlação (τ) entre os índices EVI x SFDVI e NDVI x SFDVI. Para isso foi utilizada como referência a tabela proposta por Callegari-Jaques (2003), em para (τ) entre 0,9 a 0,99 considera-se a correlação muito forte positiva e para (τ) entre 0,6 a 0,9, forte positiva.

Os resultados do teste de Kendall indicaram uma correlação muito forte positiva entre os índices EVI e SFDVI ($\tau = 0,9220$) e forte positiva entre NDVI e SFDVI ($\tau = 0,8818$). Dados que validam as diferentes situações visualizadas nos diagramas de dispersão.

Definidos os graus de correlação, foi aplicado o teste de Mann-Whitney para verificar a similaridade dos índices. Como resultado, foi demonstrado que não se tratam de índices similares (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados do teste de Mann-Whitney.

Resultado	EVI	SFDVI	Resultado	NDVI	SFDVI
Tamanho da amostra	645	645	Tamanho da amostra	645	645
Soma dos Postos (Ri)	554643,5	278051,5	Soma dos Postos (Ri)	560377	272318
Mediana	0,16	0,03	Mediana	0,26	0,03
U =	69716,5		U =	63983,0	
p-valor (unilateral)	<0,0001		p-valor (unilateral)	<0,0001	
p-valor (bilateral)	<0,0001		p-valor (bilateral)	<0,0001	
Rejeita H ₀ - Não similar			Rejeita H ₀ - Não similar		

Os resultados finais indicaram que os índices apresentam forte correlação entre si, e no caso do EVI x SFDVI uma relação linear, porém o teste de Mann-Whitney mostrou que as medianas não são similares. Essa situação se justifica em razão de serem índices elaboradas com premissas diferentes. Os conceitos não se confundem.

4 Conclusões

Este artigo demonstrou a potencialidade do índice de vegetação *Spectral Feature Depth Vegetation Index* (SFDVI) para a discretização da cobertura do solo em áreas rurais, assim como tratou de comparar seu desempenho em relação a outros índices tradicionalmente utilizados para os mesmos fins - *Normalized Difference Vegetation Index* e EVI - *Enhanced Vegetation Index*.

A comparação com o EVI mostrou que ambos possuem uma correlação muito forte positiva e um comportamento linear, ao passo que com o NDVI a correlação diminui e o comportamento passa a ser logaritmo. Em ambos os casos o teste U indicou que não se tratam de índices similares.

Comprovou-se que o SFDVI, com a banda *RedEdge* na sua composição, apresentou uma maior capacidade de separação dos alvos em razão dos intervalos de valores calculados serem superiores, evitando assim a saturação dos dados para áreas com cobertura vegetal densa ou com elevada atividade fotossintética.

Conclusão que indica a possibilidade de que o índice possa a ser utilizado para outros trabalhos ligados à agricultura de precisão como a determinação de nitrogênio foliar, índice de área foliar e concentração de clorofila, por exemplo. Novas pesquisas podem ser realizadas com o intuito de verificar a potencialidade do índice para outros tipos de análise.

Referências Bibliográficas

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14.653-3: 2004. Avaliação de bens. Parte-3: imóveis rurais. Rio de Janeiro, 27p.

Baptista, G.M.M; Aplicação do índice de profundidade de feição espectral (Spectral feature Depth Vegetation Index) em dados RapidEye. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 8., 2015, João Pessoa. **Anais...** Brasília: UNB, 2015. Artigos, p. 2277-2284p. CD-ROM, On line. ISBN 978-85-17-0076-8. Disponível em <http://mar.tecnico.unicamp.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2003/03.28.12.35/doc/capa.htm> Acesso em: 02 nov. 2016.

Borges, B. C.; Baptista, G.M.M; Meneses, P. R.. Identification of Hydromorphic Areas by Means of Spectral Analysis of Remote Sensing Data, as Support for the Preparation of Forensic Reports Issued to Evaluation of Rural Properties. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, p. 1062-1077, 2014.

Callegari-Jaques, S.M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003.

Carvalho; F.E. **Perícia Agrônômica: Elementos Básicos**. Goiânia: Ed GEV, 2008. 433p.

Clevers, J.G.P.W; Gietelson A.A; Remote estimation of crop and grass chlorophyll and nitrogen content using red-edge bands on Sentinel-2 and -3. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.23, p.344-351, 2013.

Delegido, J.; Verrelst, J.; Meza, C. M.; et al. A red-edge spectral index for remote sensing estimation of green LAI over agroecosystems. **European Journal of Agronomy**, v. 46, p. 42–52, 2013.

Ehammer, A.; Fritsch, S.; Conrad, C.; Lamers, J. P. A. Statistical derivation of fPAR and LAI for irrigated cotton and rice in arid Uzbekistan by combining multi-temporal RapidEye data and ground measurements. **Proceedings of SPIE 7824**, v. 7824, n. 0, p. 1–10, 2010.

Eitel, J. U. H.; Long, D. S.; Gessler, P. E.; Smith, A. M. S. Using in-situ measurements to evaluate the new RapidEye™ satellite series for prediction of wheat nitrogen status. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 18, p. 4183–4190, 2007.

Huete, A.R., Jackson, R.D., 1988. Soil and atmosphere influences on the spectra of partial canopies. *Remote Sensing of Environment* 25 (1), 89–105

Main, R.; Cho, M. A.; Mathieu, R.; et al. An investigation into robust spectral indices for leaf chlorophyll estimation. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 66, n. 6, p. 751–761, 2011.

PlanetLabsInc. Satellite Imagery - RapidEye™ Mosaics Product Specifications. Version 1.1.2, April 2016. Disponível em: <https://www.planet.com/products/satellite-imagery/files/1610.06_Spec%20Sheet_Combined_Imagery_Product_Letter_ENGv1.pdf>. Acesso em: 06 nov 2016.

Ramoelo, A.; Skidmore, A. K.; Cho, M. A.; et al. Regional estimation of savanna grass nitrogen using the red-edge band of the spaceborne rapideye sensor. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 2012.

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings of the Third ERTS Symposium*, NASA SP-351, NASA, Washington, DC, v. 1, p. 309-317, 1973.