

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE SECA TVDI UTILIZANDO DIFERENTES ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA A ESTIMATIVA DA UMIDADE DO SOLO

Gustavo Willy Nagel¹ Fabrício da Silva Terra²

RESUMO – O índice TVDI (Temperature Vegetation Dryness Index) é uma ferramenta que objetiva analisar e estimar a conteúdo de água no solo, variável muito importante para a gestão dos recursos hídricos. Esse índice foi elaborado a partir do índice de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e da temperatura superficial do solo. O questionamento que impulsionou esta pesquisa foi: os índices de vegetação SAVI, TSAVI, MSAVI e EVI serão capazes de melhora os resultados do TVDI? A avaliação dos TVDIs foi feita a partir da comparação dos índices com a precipitação total de 15 dias (data seca e úmida) e pela comparação com dados de umidade coletados em campo para uma data úmida. Embora o TVDI-NDVI tenha obtido melhores resultados gerais e nas coberturas da superfície correspondentes à floresta e campo em condições de seca, o TVDI-TSAVI obteve melhor acurácia na determinação da umidade em regiões de solo exposto. Para uma época do ano considerada úmida, todos os índices falharam em estimar a umidade do solo. Isso corrobora com a literatura, que informa que o índice não é aplicável em regiões com boa umidade.

ABSTRACT– The TVDI (Temperature Vegetation Dryness Index) is a tool that aims to analyze and estimate soil moisture, which is an important variable for the management of water resources. This index was produced using the effect of the vegetation index NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and the surface temperature. The questioning that propelled this research was: how the vegetation indexes SAVI, TSAVI, MSAVI and EVI improves the results of TVDI? The evaluation of TVDIs was made by comparing the index results with the 15 days total precipitation, to a dry and wet day, and comparing with soil moisture data collected in situ, for a wet day. Although the TVDI-NDVI obtained the best results in general and in woodland and grassland fields (in a dry date), the TVDI-TSAVI obtained better accuracy in areas of exposed soil. For a wet date, all indexes failed to estimate the soil moisture. This corroborates with the literature, which indicates that the index is not applicable in regions with good humidity.

Palavras-Chave – TVDI, umidade do solo, índice de seca.

1) Engenheiro Hídrico, Mestrando em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), gustavo.nagel@inpe.br

2) Professor Doutor, Fabrício da Silva Terra, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), fabricao.terra@ufvjm.edu.br

INTRODUÇÃO

As técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo usadas para monitorar uma variedade de processos hidrológicos, como a umidade do solo, qualidade da água, cobertura de neve, evapotranspiração, entre outros. (Kumar e Tv, 2013). O sensoriamento remoto pode identificar estresse hídrico na agricultura de forma bem acurada através de sensores orbitais e índices espectrais (Ihuoma e Madramootoo, 2017). O sensoriamento remoto possibilita a aplicação de índices em grandes áreas e regiões hidrográficas, compreendendo diferentes usos e tipos de solos. O desenvolvimento de ferramentas de monitoramento pode ser utilizado para melhorar a gestão desses territórios (Bansode *et al.*, 2018).

A estimativa da biomassa em vegetações é uma informação importante para o monitoramento ambiental, e setores da agricultura, florestamento, entre outros (Xue; Su, 2017). De acordo com West *et al.*, (2018), índices de vegetação vem sendo utilizados para determinar condições de seca na agricultura. Os índices de vegetação baseiam-se na ideia de que a energia refletida nos espectros do vermelho e infravermelho são diretamente proporcionais ao porte da vegetação (Ferreira *et al.*, 2008). O índice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), um dos índices de vegetação mais utilizados, usa informações espectrais da faixa do vermelho e infravermelho próximo. No entanto, sua aplicação para a estimativa de condições de seca possui limitações devido à demora na resposta espectral da planta à falta de chuvas (Sandholt *et al.*, 2002).

Para superar esse problema, Sandholt *et al.* (2002), desenvolveram o TVDI (Temperature Vegetation Dryness Index), índice que estima condições de seca agrícola a partir da relação entre o NDVI e a temperatura superficial do solo. O índice TVDI estima o estresse hídrico da planta, ou mesmo do solo exposto, analisando a temperatura superficial dos alvos, visto que plantas diminuem a transpiração e solos expostos diminuem a evaporação de água, aumentando assim a temperatura superficial em ambas as situações. A redução do conteúdo de água no sistema solo-planta também provoca a diminuição nos valores de NDVI, tendo em vista que a planta perde seu vigor vegetal em função do estresse hídrico.

Ferreira *et al.*, (2008), pontua que diversas metodologias de índices de vegetação foram criadas para superar ruídos indesejáveis, como efeitos atmosféricos e contribuições do substrato. Índices, como o Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) (Huete *et al.*, 1988), Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index (TSAVI) (Baret E Guyot, 1991) e Modified Soil Adjusted Vegetation Index (Msavi) (Qi *et al.*, 1994) retiram o efeito do solo a partir de parâmetros de uma linha de solo criada pela relação gráfica entre as bandas do vermelho e infravermelho-próximo de regiões de solo exposto (Baret *et al.*, 1993). O Enhanced Vegetation Index (EVI) (Huete *et al.*, 1997), por outro lado, visa retirar efeitos atmosféricos através inclusão da banda do azul no cálculo.

O NDVI possui algumas limitações em locais de alta vegetação e em regiões esparsamente vegetadas, com muita interferência espectral do solo, e é altamente sensível a efeitos atmosféricos (Goward *et al.*, 1991). Nesse sentido, o objetivo do trabalho é avaliar o desempenho do TVDI utilizando índices de vegetação mais sensíveis a interferências de solo e da atmosfera. Para o presente trabalho, os índices utilizados foram o NDVI, SAVI, TSAVI, MSAVI e EVI.

MATERIAIS E MÉTODOS

O local de estudo compreendeu a bacia hidrográfica do arroio Pelotas (BHAP), cuja área é de aproximadamente 368 km². A BHAP está localizada entre as coordenadas 52° 10' e 52° 50' W e 31° 20' e 31° 50' S, na região sudeste do Rio Grande do Sul, e abrange, principalmente, o município de Pelotas, seguido dos municípios de Canguçu, Morro Redondo e Arroio do Padre (Silveira, 2015).

Classificou-se o uso e cobertura do solo para a BHAP, utilizando o algoritmo Support Vector Machine (SVM) (Burges, 1998), para uma imagem do dia 05/03/2015. De acordo com o classificador, a bacia, na data, possuía 45,5% de mata, 45,3 de campos, 8,9% de solo exposto, 0,14 de corpos d'água e 0,07% de áreas urbanas. A localização da bacia, assim como o seu uso e cobertura, pode ser visualizada na figura 1.

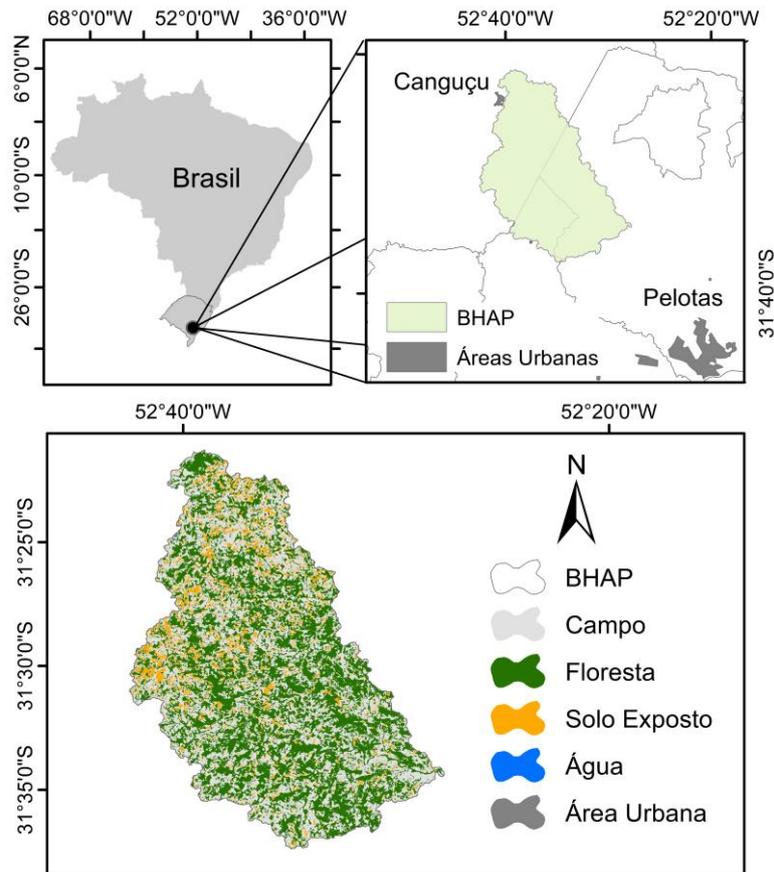


Figura 1 - Localização da BHAP e o uso e cobertura do solo para o dia 05/03/2015.

Utilizaram-se duas imagens Landsat 8, com 11 bandas espectrais e resolução espacial de 30 metros, para duas datas: 05/03/2015 (mapa A) e 24/05/2018 (mapa B). Primeiramente, retiraram-se as influências atmosféricas a partir do modelo MODTRAN4 (Kawishwar, 2007), para bandas do visível e infravermelho próximo, e a ferramenta Thermal Atmospheric Correction (Envi, 2009) para as bandas do termal, utilizando o software Envi 5.3. Após, calculou-se os índices de vegetação e a temperatura superficial da imagem, utilizando o mesmo software. As equações dos índices de vegetação analisados podem ser visualizadas a seguir.

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

$$SAVI = \frac{(1 + L_s) \times (\rho_{NIR} - \rho_{red})}{(\rho_{NIR} + \rho_{red} + L_s)} \quad (2)$$

$$TSAVI = \frac{a \times (\rho_{NIR} - a \times \rho_{red} - b)}{\rho_{red} + a \times \rho_{NIR} - a \times b + 0,08 \times (1 + a^2)} \quad (3)$$

$$MSAVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red} + L_{sm}} \times (1 + L_s) \quad (4)$$

$$EVI = 2,5 \times \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{red})}{1 + \rho_{NIR} + 6 \times \rho_{red} - 7,5 \times \rho_{blue}} \quad (5)$$

Onde ρ_{NIR} é a reflectância no espectro do infravermelho próximo, ρ é a reflectância no espectro do vermelho, L_s é uma constante de fator de ajuste do solo (utilizou-se 0,5, próprio para regiões de campo), (a) é o ângulo da inclinação da linha do solo, (b) é a intersecção da linha do solo, L_{sm} é um fator de ajuste do solo baseado em índices como o NDVI e o WDV (Weighted Difference Vegetation Index) e o ρ é a reflectância no espectro do azul.

O TVDI é baseado na relação entre um índice de vegetação, originalmente NDVI, e a temperatura superficial. O TVDI é calculado a partir de dois limites, o seco (pixels de maior temperatura) e úmido (pixels de menor temperatura), ambos caracterizados por uma equação representativa da linha de tendência dos dados. A posição que um local de interesse ocupa no gráfico de dispersão é utilizada para determinar o quão longe ou perto esse pixel está do limite seco (Sandholt *et al.*, 2002). O cálculo do TVDI pode ser visualizado na equação 6.

$$TVDI = \frac{T_s - c + (d \times IV)}{a + (b \times IV) - c + (d \times IV)} \quad (6)$$

Onde $TVDI$ é o índice calculado, que vai de 0 (sem estresse hídrico) até 1 (alto estresse hídrico), a variável T_s é a temperatura superficial do pixel analisado, as variáveis c e d são os coeficientes linear e angular da equação do limite úmido, e as variáveis a e b são os coeficientes do limite seco. A variável IV é o valor correspondente aos índices de vegetação analisados para cada pixel da imagem (NDVI, SAVI, TSAVI, MSAVI e EVI).

Para determinar os TVDIs de melhor acurácia, compararam-se os dados de TVDI do dia 05/03/2015 (mapa 'A') e do dia 24/05/2018 (mapa 'B') com dados pontuais de pluviosidade total de 15 dias de postos pluviométricos (total de 8 postos) pertencentes ao Grupo de Pesquisa em Hidrologia e Modelagem Hidrológica em Bacias Hidrográficas da UFPel. Para aumentar a confiabilidade dos resultados, compararam-se os dados de TVDI do dia 24/05/2018 (mapa 'B') com amostras de solo coletados em campo (14 amostras) para diferentes usos do solo (mata nativa, pastagens de porte baixo e alto, plantações de milho, soja, pêssego e mata de bambus) a uma profundidade de 20 cm.

A fim de analisar o desempenho dos TVDIs em relação às diferentes coberturas da bacia, comparou-se dados de chuva dos diferentes TVDIs produzidos em relação a cada uso e cobertura da bacia, mais especificamente: matas, campos e solo exposto, como pode ser visualizado na figura 1. Para essa análise, utilizou-se apenas o mapa 'A' por motivos que serão explicados nos resultados. Os dados de chuva da bacia foram espacializados a partir da ferramenta Inverse Distance Weighted (IDW) do ArcGis. Para cada uso do solo foi plotado um gráfico de chuvas por TVDI, com o intuito de analisar as melhores correlações através do coeficiente de determinação (R^2).

RESULTADOS

Índices de Vegetação

Os índices de vegetação produziram resultados distintos, com diferentes variações e amplitude de dados. A figura 2 mostra a distribuição de frequências dos pixels atribuídos para cada valor de índice de vegetação para as datas A (05/03/2015) e B (24/05/2018). Nota-se que os NDVIs possuem assimetria negativa, com maior frequência em valores altos do índice, resultado que é considerado bom quando verificado que o uso de maior área na bacia é o de mata, segundo o classificador SVM. No entanto, o NDVI não diferenciou os diferentes tipos de matas, pois obteve valores iguais a grande parte desses alvos. Esses resultados corroboram com Goward *et al.* (1991) e She *et al.* (2015), que descrevem o NDVI como um índice que tende a homogeneizar valores de mata. Os índices TSAVI, EVI, SAVI e MSAVI possuem valores mais próximos à média, com distribuição mais próxima a uma normal.

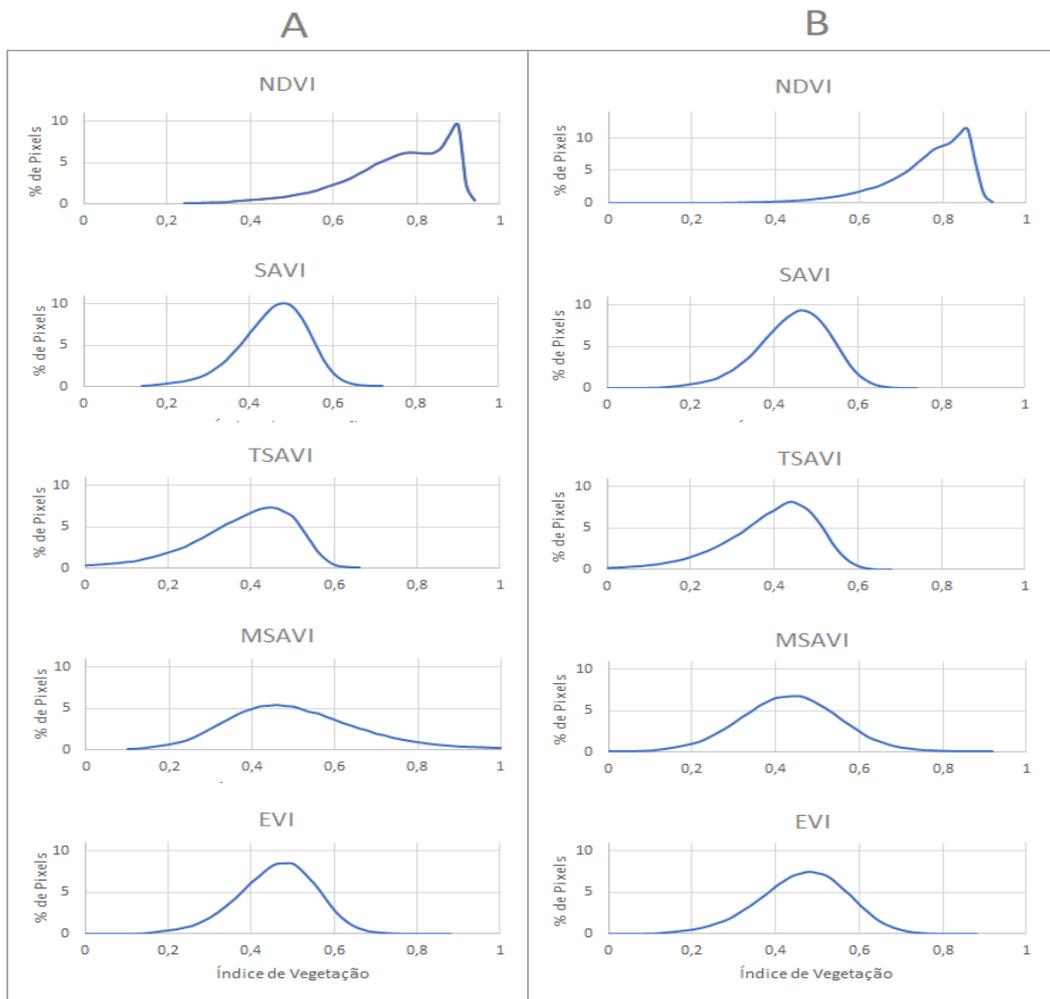


Figura 2 - Histograma dos valores dos índices de vegetação (NDVI, EVI, SAVI, TSAVI e MSAVI) para a data 05/03/2015 à esquerda, e 24/05/2018 à direita.

TVDI (Temperature Vegetation Dryness Index)

As imagens geradas pela aplicação da equação do TVDI podem ser visualizadas na figura 3. Os limites são calculados para cada imagem, portanto, mapas de TVDI podem ser analisados e comparados espacialmente e não temporalmente (Schirmbeck *et al.*, 2018). Os mapas do dia 05/03/2015 (mapa A) apresentaram mais áreas secas da metade até o norte da bacia, enquanto que do dia 24/05/2018 (mapa B) as regiões mais secas estão na metade sul, de acordo com a figura 3. Esse resultado está diretamente relacionado às regiões de temperatura mais alta da bacia, como observou-se na figura 3. O mapa TVDI-MSAVI, de 05/03/2015, teve sua escala de cores afetada por alguns pixels isolados de máximos e mínimos extremos.

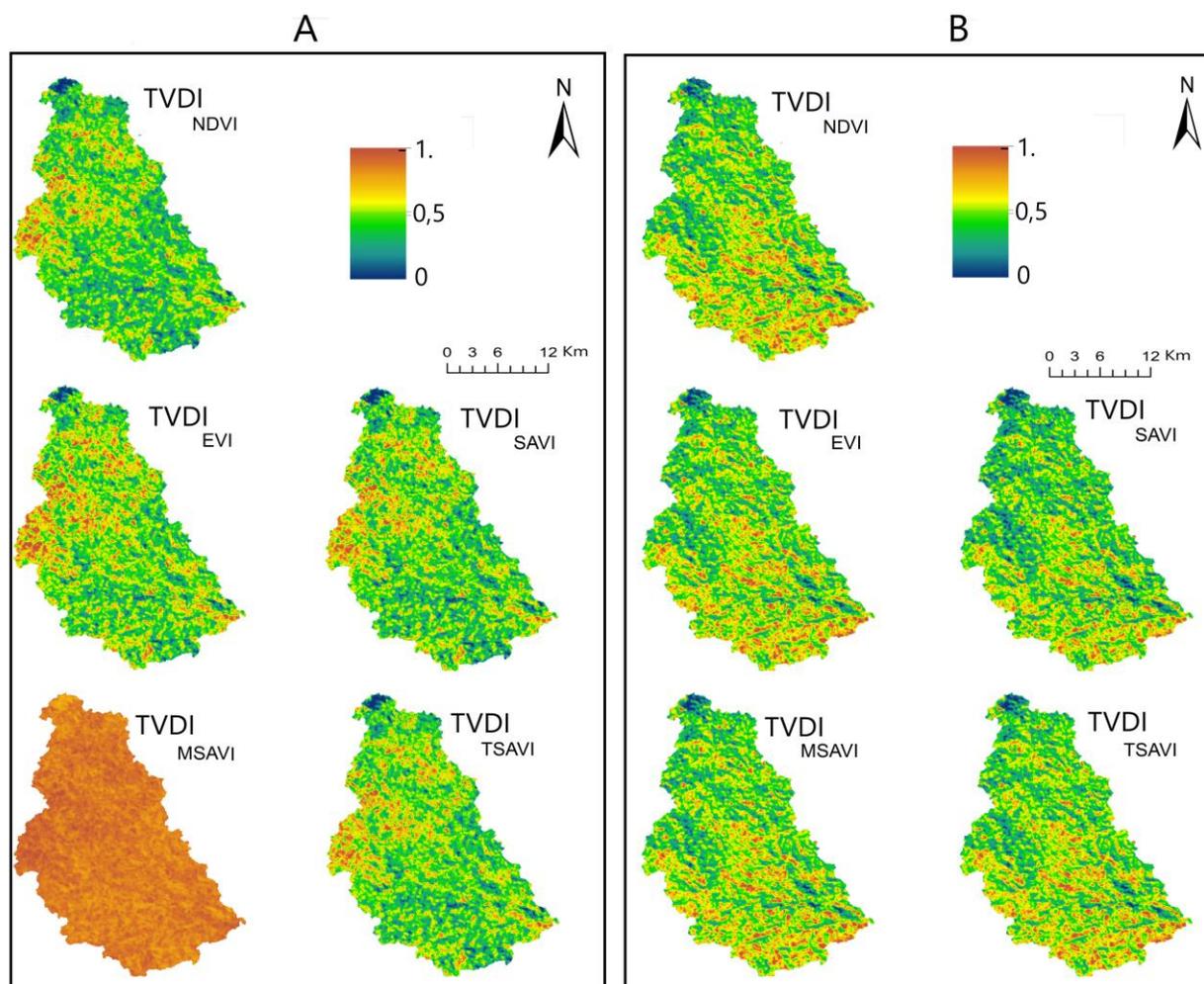


Figura 3 - Mapa dos TVDIs para o dia 05/03/2015, mapa "A" à esquerda, e do dia 24/05/2018, mapa "B" à direita.

Análise do Desempenho dos TVDIs

A relação entre os valores de TVDI e a chuva total de 15 dias dos postos pluviométricos da BHAP para os dias 05/03/2015 e 24/05/2018 permitiram calcular as melhores correlações baseadas nos coeficientes de determinação (R^2), conforme tabela 1. Adicionalmente, para o dia 24/05/2018 calculou-se o R^2 da relação entre os TVDIs e a umidade das amostras de solo coletadas.

Tabela 1 - Valores de Coeficiente de Determinação (R^2) entre os dados de Chuvas Totais e TVDI, para os mapas 05/03/2015 e 24/05/2018, e de valores de umidade do solo a 20cm e TVDI para o dia 24/05/2018.

	A (Chuva)	B (Chuva)	B (Amostras de Solo)
TVDI (NDVI)	0,1209	0,0737	0,2878
TVDI (SAVI)	0,1083	0,0610	0,4253
TVDI (TSAVI)	0,1015	0,0634	0,4084
TVDI (MSAVI)	0,1131	0,0609	0,3945
TVDI (EVI)	0,1067	0,0622	0,4176

Outros trabalhos também encontraram baixas correlações entre TVDI e precipitação, como Jun *et al.* (2017) (R^2 0,21) e Meng *et al.* (2010) (R^2 0,24), que compararam o índice SPI (Standard Precipitation Index) com o índice TVDI. Schirmbeck *et al.* (2018) também encontraram valores baixos de correlação entre o índice TVDI e a chuva diária acumulada de 16 dias (R^2 0,16). Para os mapas "A", do dia 05/03/2015, percebe-se que o TVDI associado ao índice de vegetação NDVI foi o que produziu os melhores resultados, seguidos do MSAVI, SAVI, EVI e TSAVI. A melhor acurácia do TVDI-NDVI pode ser resultado da grande área coberta por matas (45,3%) na bacia. O NDVI, para regiões densamente vegetadas, possui melhor resultado quando comparados a índices que possuem ajuste do solo (She *et al.*, 2015).

Apesar de os valores de R^2 não informarem o tipo de correlação entre as informações, os dados do mapa "A" possuem uma linha de tendência com coeficiente angular negativo, enquanto que o mapa "B", tanto para os dados de chuva, quanto para os de umidade do solo, são positivos. Por conseguinte, os mapas "A" (05/03/2015) foram os únicos que produziram TVDIs acurados, visto que obtiveram valores altos de TVDI (estresse hídrico) em regiões com pouca chuva e valores baixos de TVDI em regiões onde ocorreram as maiores precipitações. Os TVDIs dos mapas "B" (24/05/2018), apesar do bom R^2 com dados de umidade do solo, estimaram a umidade do solo de forma completamente errônea, uma vez que atribuíram condições de seca nas regiões mais úmidas da bacia.

Esse pior resultado para os mapas "B" estão relacionados a sua alta umidade. Os dados coletados em campo no dia 24/05/2018 obtiveram de 5% a 30% de umidade, valores considerados altos. A estação de outono influenciou esses resultados, visto que é um período de maior umidade no estado. Esses resultados corroboram com Schirmbeck *et al.* (2018), que demonstraram que o índice TVDI não é apto para a estimativa da umidade de solo em períodos úmidos para uma região do estado do Rio Grande do Sul. Os mapas "A", por serem adquiridos no período do verão, estação mais seca no estado, obtiveram melhores resultados.

Gao *et al.* (2011), encontraram resultados diversos de TVDI para uma região com pouca cobertura de matas, onde o TVDI associado a índices de vegetação que consideraram a resposta espectral do solo, como o SAVI e MSAVI, melhoraram a acurácia do TVDI. Liu *et al.* (2014), obtiveram também diferentes resultados, com melhores TVDIs associados ao MSAVI, NDVI e EVI dependendo da época do ano analisada. Isso mostra que os índices de vegetação variam muito conforme a época da imagem e o local de estudo.

A relação entre a chuva total de 15 dias espacializada e os valores de TVDI para o dia 05/03/2015 (mapas "A") para as diferentes coberturas da bacia pode ser visualizada na tabela 2. Pelo motivo de todos os índices dos mapas "B" terem falhado em estimar a umidade, as comparações com os usos do solo não foram efetuadas para essa data. Diferentemente da tabela 1, que analisou os dados de TVDI e chuvas nos locais onde os pluviômetros foram instalados, a tabela 2 utilizou todos os dados de TVDI e de chuvas espacializadas na BHAP. Isso fez com que o coeficiente de determinação ficasse com valores ainda menores.

Tabela 2 – Valores de Coeficiente de Determinação (R^2) entre os dados de Chuvas Totais Espacializadas e os dados de TVDI para diferentes coberturas do solo do dia 05/03/2015.

	Matas	Campo	Solo Exposto
TVDI (NDVI)	0,0419	0,0344	0,0502
TVDI (MSAVI)	0,0347	0,0264	0,0436
TVDI (EVI)	0,0366	0,0292	0,0454
TVDI (SAVI)	0,0388	0,0306	0,0468
TVDI (TSAVI)	0,0391	0,0283	0,0505

De acordo com o coeficiente de determinação (R^2) o melhor índice para regiões de mata foi TVDI-NDVI, para regiões de campo foi TVDI-NDVI e para solo exposto foi TVDI-TSAVI. Apesar de os índices SAVI, MSAVI e TSAVI terem melhor acurácia para áreas com vegetação mais esparsa, esses índices classificaram de forma errônea regiões de mata, de acordo com análises visuais. Considerando que o TVDI utiliza a relação de todos os valores de biomassa, essas piores performances em regiões de mata fizeram com que o TVDI associado a índices de vegetação que utilizam a resposta espectral do solo tivessem resultados piores também quando analisado o uso de campo.

A boa performance do SAVI em regiões de campo (utilizou-se o fator L_s no cálculo do índice com o valor de 0,5, próprio para regiões de campo) fez com que o TVDI-SAVI fosse o segundo melhor índice para esse tipo de cobertura vegetal.

Para regiões de solo exposto o TVDI-TSAVI obteve o melhor resultado em comparação às chuvas espacializadas. Para uma região árida da China, com predomínio de solo exposto, Aralova *et al.* (2015), obteve o TSAVI como melhor estimador da biomassa quando comparado ao NDVI e SAVI.

CONCLUSÃO

O TVDI se mostrou como uma importante ferramenta de geoprocessamento para a análise de condições de seca em bacias hidrográficas através da estimativa da umidade do solo. Os dados dessa variável hidrológica são úteis para o manejo dos recursos hídricos em nível de bacia hidrográfica.

Os dados adquiridos do dia 24/05/2018, considerados úmidos, tiveram resultados ruins na estimativa da umidade do solo. A consequência de haver boas condições de umidade em toda a bacia é que os pixels, que formam o limite seco do índice, não representam uma condição de estresse hídrico. Como o TVDI calcula esse estresse a partir da comparação dos pixels com o limite úmido e o limite seco, o índice é negativamente afetado pelo efeito de não ter um limite seco representativo. Esse problema pode ser diminuído escolhendo um local de maior área para aplicar o índice, o que aumenta a probabilidade de encontrar pixels em condições de estresse hídrico.

Os dados do dia 05/03/2015 obtiveram bons resultados, visto que estavam em uma condição de umidade menor. Para essa data, em termos gerais e para os usos de mata e campo o TVDI-NDVI obteve melhores resultados. Uma das razões para esse melhor desempenho do TVDI-NDVI é de que o índice de vegetação NDVI, mesmo homogeneizando os valores de mata (pico de valores altos), foi melhor em delimitar as áreas pertencentes a matas. Os demais índices, que consideram o solo e a interferência atmosférica não foram bons na estimativa da biomassa de matas, o que afetou a acurácia dos TVDIs calculados.

Quando analisado apenas o uso de solo exposto o TVDI-TSAVI foi o índice de maior acurácia. O baixo desempenho do TVDI-EVI pode ser explicado pelo fato de a imagem ter tido os

efeitos atmosféricos corrigidos previamente, o que seria a principal vantagem do índice de vegetação EVI.

Observou-se, a partir do trabalho e da literatura, que índices de vegetação e conseqüentemente os TVDIs associados variam sua acurácia conforme a época do ano e o local a ser estudado. Os usos do solo de uma região precisam ser considerados na hora de escolher o índice de vegetação para calcular o TVDI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARALOVA, D; TODERICK, K; OSUNMADEWA, B. A. (2015). “*Spatial Distribution Patterns of Vegetation Cover in Deserts of Central Kyzylkum with Application of Vegetation Index (Vis)*”. *Journal of Arid Land Studies*, v. 25, n. 3, pp. 265-268.
- BANSODE, C. B; BHOSALE, V. B; DONGARE, A. M; KSHIRSAGAR, L. N; MALWADKAR, A. A; SABLE, P. D. (2018). “*Watershed Development by Using GIS and Remote Sensing For Water Budgeting*”. *International Research Journal of Engineering and Technology*, v. 5, n. 5, pp. 3503-3506.
- BARET, F; JACQUEMOUD, S; HANOCQ, F. (1993) “*About the Soil Line Concept in Remote Sensing*”. *Advances in Space Research*, v. 13, n. 5, pp. 281-284.
- BARET, F; GUYOT, G. (1991). “*Potentials and Limits of Vegetation Indices for LAI and APAR Assessment*”. *Remote Sensing of Environment*, v. 35, n. 2-3, pp. 161-173.
- BURGES, C. J. C. (1998). “*A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition. Data Mining and Knowledge Discovery*”. v. 2, pp. 121-167.
- DENG, M; DI, L; HAN, W; YAGCI, A. L; PENG, C; HEO, G. (2013). “*Web-service-based Monitoring and Analysis of Global Agricultural Drought*”. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 79, n. 10.
- ENVI. (2009). “*Atmospheric Correction Module: QUAC and FLAASH User’s Guide*”. *Atmospheric Correction Module*, Estados Unidos, 2009, pp 1-44.
- FERREIRA, Igor Lacerda. *O Geoprocessamento na gestão de Recursos Hídricos: a análise espacial na proposta de enquadramento dos corpos de água*. 2011, 49 f. Monografia (Curso de Especialização em Geoprocessamento) – Departamento de Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
- GAO, Z; GAO, W; CHANG, N. (2011). “*Integrating temperature vegetation dryness index (TVDI) and regional water stress index (RWSI) for drought assessment with the aid of LANDSAT TM/ETM+ images*”. *Int. J. Appl. Earth Observ.* n. 3, v. 13, pp. 495-503.
- GOWARD, S.N; MARKHAM, B; DYE, D.G; DULANEY, W; YANG, J. (1991). “*Normalized Difference Vegetation Index Measurements from the Advanced Very High Resolution Radiometer*”. *Remote Sensing of Environment*, v. 35. pp. 257-277.
- HUETE, A.R. (1988). “*A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)*”. *Remote Sensing of Environment*, v. 25, pp. 295-309.
- HUETE, A.R; LIU, H.Q; BATCHILY, K; LEEUWEN.(1997). “*A comparison of Vegetation Indices over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS*”. *Remote Sensing of Environment*, v. 59. pp. 440-451, 1997.

- IHUOMA, S. O; MADRAMOOTOO, C. A. (2017). “Recent advances in crop water stress detection. *Computers and Electronics in Agriculture*”, Data Mining and Knowledge Discovery, v. 141, n. 1, pp. 267-275.
- JUN, J. B; YUAN, Y; DI, L. (2017). “Comparison between TVDI and CWSI for drought monitoring in the Guanzhong Plain, China”. *Journal of Integrative Agriculture*, v. 16, n. 2, pp. 389-397.
- KAWISHWAR, Prashant. (2007). *Atmospheric Correction Models for Retrievals of Calibrated Spectral Profiles from Hyperion EO-1 Data*. 2007, Dissertação de Doutorado (Master of Science in Geo-information Science and Earth Observation), International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Netherland.
- KUMAR, D. N.; TV, R. (2013). “Remote Sensing Applications in Water Resources”. *Journal of the Indian Institute of Science*, v. 93, n. 2, pp. 163-188.
- LIU, L; ZHANG, W; DUAN, Y; XING, L. (2014). “Terrain corrected TVDI for Agricultural Drought monitoring using MODIS Data”. *Acta Ecologica Sinica*, v. 34 n. 13,
- MENG, L; LI, J; CHEN, Z; XIE, W; CHEN, D; DUAN, H. (2010). “The Calculation of TVDI Based on the Composite Time of Pixel and Drought Analysis”. *The International Archives of the Photogrammetry*, v. 32, n. 2, pp. 519-524.
- MORAN, M. S; CLARKE, T. R; INOUE, Y; VIDAL, A. (1994). “Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index”. *Remote Sensing of Environment*, v. 49, n. 3, pp. 246-263.
- QI, J; CHEHBOUNI, A; HUETE, A. R; KERR, Y. H; SOROOSHIAN, S. (1994). “A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*”, v. 48, n. 2, pp. 119-126.
- SCHIRMBECK, L. M; FONTANA, D. C; SCHIRMBECK, J. (2018). “Two approaches to calculate TVDI in humid subtropical climate of southern Brazil”. *Scientia Agricola*, n. 2, v. 75, pp. 111-120.
- SILVEIRA, Caroline Perez Lacerda. (2015). *Caracterização de solos e sedimentos em depósitos e fontes em potencial na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas*. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- USGS. (2017). “Landsat 8 (OLI), Data Users Hand Book”. Department of the Interior, 2016.
- XU, J; SU, B. (2017). “Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications”. *Journal of Sensores*, v. 2017.