

## Avaliação do índice topográfico de umidade obtido por diferentes modelos digitais de elevação

Donizeti Aparecido Pastori Nicolete<sup>1</sup>  
Tânia Maria de Carvalho<sup>2</sup>  
Célia Regina Lopes Zimback<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp  
Faculdade de Ciências Agrônomicas - FCA  
Fazenda Lageado – Rua José Barbosa de Barros nº 1780  
18610-307 - Botucatu - SP, Brasil  
{dnicolete, czimback}@gmail.com

<sup>2</sup> Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais - ICAA  
UFMT - Universidade Federal de Mato Grosso campus Sinop  
Avenida Alexandre Ferronato nº 1200 – Setor Industrial  
78557-267 - Sinop - MT, Brasil  
taniacarvalho2010@gmail.com

**Abstract.** The topography, represented by digital elevation models (DEM), has a great influence in the physical and ecological processes in watersheds. DEM are frequently obtained by topographic maps and recently by remote sensing. The surface moisture accumulation can be modeled using the topographic wetness index (TWI) obtained from the MDE and represents the most susceptible sites to saturation and consequently surface runoff formation. This processes is relevant in the soil and water conservation planning, mainly in locales where agricultural practices are predominated. This study aims to evaluate the TWI obtained by different MDEs for the Araquá River basin located in the Midwest São Paulo state, Brazil. The SRTM, ASTER GDEM and MDE products interpolated from the topographic maps, with 30x30m spatial resolution, were used as a database. The TWI derived from these are called TWI\_SRTM, TWI\_ASTER and TWI\_CARTA. From the analysis of the results it was observed that the minimum, maximum and range values were similar for the three products, for spatial and frequency distribution of the values the TWI\_SRTM and TWI\_ASTER products demonstrate to be equivalent. Thus, the MDEs obtained by remote sensing are promising to obtain secondary topographic indexes such as TWI, especially for sites with no topographic maps.

**Palavras-chave:** SRTM, ASTER GDEM, topographic index, soil and water conservation.

### 1. Introdução

O relevo apresenta-se como um fator essencial no planejamento conservacionista de bacias hidrográficas, principalmente onde predominam as práticas agropecuárias e existe a preocupação com a conservação do solo e da água. A caracterização do relevo pode ser realizada de diversas maneiras, sendo muito comum a atualização de cartas topográficas previamente disponíveis para o local a ser analisado. E a partir das informações de altitude contidas nas mesmas são obtidas por interpolação superfícies contínuas no formato matricial onde cada pixel da imagem apresenta um valor de elevação, esse modelo da superfície denomina-se modelo digital de elevação (MDE).

Uma das limitações no uso de cartas topográficas na obtenção de MDE está no fato de que as mesmas, muitas vezes, não estão disponíveis em escalas adequadas para o planejamento ambiental. Com isso o uso de MDE de cobertura global advindo de sensoriamento remoto torna-se uma possibilidade principalmente para as regiões carentes de dados cartográficas. Nesse sentido surge a necessidade de validação dos modelos obtidos remotamente com informações de campo, onde são confrontadas a altimetria e variáveis derivadas da mesma (Mukherjee et al., 2013; Szabó et al., 2015).

As variáveis topográficas obtidas diretamente do MDE, como a declividade, face de exposição do terreno, curvatura, área de contribuição, são denominadas variáveis primárias e têm influência direta no comportamento físico e ecológico do ambiente, condicionando o fluxo de materiais como água, sedimentos, nutrientes e possíveis contaminantes, além de influenciarem na quantidade energia recebida e emitida, umidade do solo e nos padrões de distribuição da vegetação (Moore et al., 1991; Minella e Merten, 2012).

As variáveis topográficas compostas, ou secundárias, são obtidas pela combinação de duas ou mais variáveis primárias e destinam-se a representações mais complexas do relevo. São exemplos dessas variáveis os índices topográficos (Moore et al., 1991; Minella e Merten, 2012), como é o caso do fator LS, amplamente utilizado nos modelos de predição de perda de solo e o índice topográfico de umidade (ITU), que representa a propensão do terreno em acumular umidade (Buchanan et al., 2014).

O ITU foi inicialmente proposto por Beven e Kirkby (1979) para ser utilizado no modelo hidrológico TOPMODEL, visando representar os locais mais propensos à saturação. O ITU relaciona a área de contribuição de um dado local com seu gradiente de declividade, assim locais planos e com elevada área de contribuição tendem ao acúmulo de umidade.

Diversos estudos buscaram adotar o ITU derivado de diferentes MDE para a análise do ambiente, como identificação de áreas suscetíveis à formação de escoamento superficial e consequente transporte de poluentes em áreas agrícolas (Thomas et al., 2016), mapeamento de áreas úmidas (Rampi et al., 2014) e identificação de áreas hidrologicamente sensíveis aplicadas ao planejamento de expansão de áreas urbanas (Qiu et al., 2014).

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar os MDE obtidos por detecção remota e disponíveis de forma gratuita quanto a possibilidade de obtenção do ITU e sua aplicabilidade no planejamento do uso das terras em bacias hidrográficas.

## 2. Metodologia de Trabalho

### 2.1 Área de estudo

A bacia do Rio Araquá localiza-se na região centro-oeste do estado de São Paulo entre as coordenadas 22° 38' a 22° 54' de Latitude Sul e 48° 34' a 48° 23' de Longitude Oeste, compreendendo uma área de aproximadamente 273,388 km<sup>2</sup>, sendo afluente do Rio Tietê (FIGURA 1).

O clima da região pode ser caracterizado de acordo com a classificação de Koppen como Cfa, clima mesotérmico úmido com temperatura média no mês mais quente acima de 22°C (Cunha e Martins, 2009). A área de estudo possui relevo complexo com três feições geomorfológicas distintas, sendo o Reverso da Cuesta localizado na faixa de altitude de 700 a 920 m, Front da Cuesta, com declividades superiores a 30% e Depressão Periférica nas partes mais baixas da bacia. As principais classes de uso e cobertura das terras na bacia são a cana-de-açúcar, pastagens e remanescentes de vegetação nativa, principalmente na área mais declivosas presentes no Front da Cuesta (Silva et al., 2013).

### 2.1 Obtenção e processamento da base de dados

Para a obtenção dos valores de altitude para a bacia do Rio Araquá adotaram-se três diferentes produtos: o MDE *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) disponível com resolução espacial de 1 arco seg (~30 m), nessa missão os dados de elevação foram obtidos utilizando radar interferométrico de abertura sintética para as regiões entre as latitudes entre 60° N e 57° S (Rabus et al., 2003).

O MDE *Thermal Emission and Reflection Radiometer - Global Digital Elevation Model* (ASTER GDEM), com resolução especial de 30 m, o produto ASTER GDEM compreende a

região entre as coordenadas 83° N e 83° S de Latitude, sendo obtido por meio da aplicação de técnicas de fotogrametria.

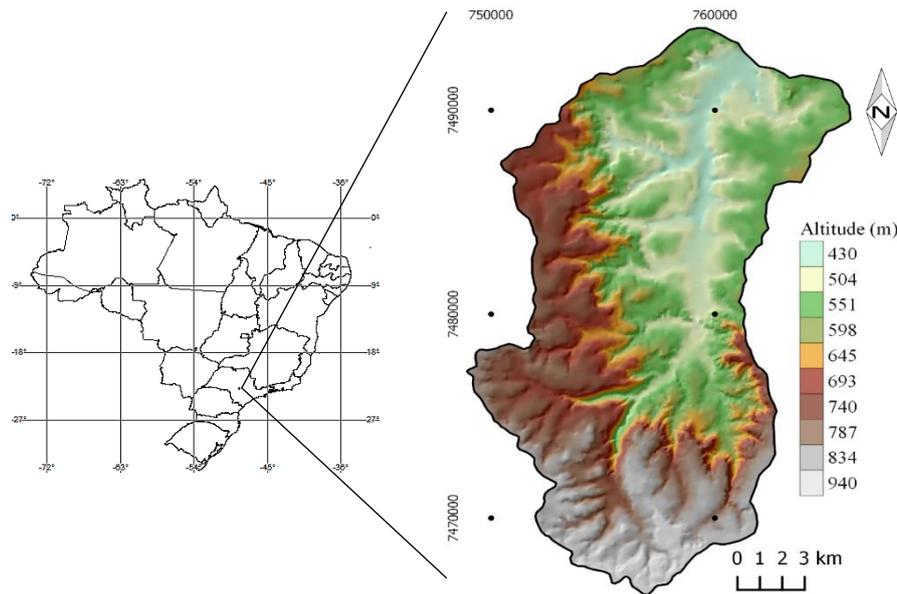


Figura 1. Localização da bacia do Rio Araquá.

Cartas topográficas na escala 1:50.000, editadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), as quais apresentam curvas de nível com equidistância vertical de 20 m, bem como os pontos cotados. Para a obtenção dos valores de altitude das cartas topográficas, as mesmas foram georreferenciadas, adotando como pontos de controle as coordenadas apresentadas na própria carta. Em seguida as curvas de nível e pontos cotados foram vetorizados e utilizados como fonte de dados para interpolação e obtenção do MDE. Adotou-se como método de interpolação o algoritmo *Thin Plate Spline (TIN)* presente do aplicativo computacional *System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA GIS)*, o qual permite a obtenção de uma superfície contínua e suavizada, a resolução espacial adotada foi de 30 m, compatível com os produtos anteriores.

De posse dos três MDE, os mesmos foram submetidos a um pré-processamento, com o objetivo de remover as chamadas depressões espúrias, as quais comprometem as análises de fluxo superficial.

Para a obtenção do ITU, adotou-se a Equação 1, conforme proposto por Beven e Kirkby (1979).

$$ITU = \ln \left( \frac{Ac}{\tan\beta} \right) \quad (1)$$

Onde:  $Ac$  corresponde à área de contribuição de cada pixel ( $m^2$ ) e  $\beta$  o valor da declividade de cada pixel (radianos).

A área de contribuição foi obtida utilizando o método de direção de fluxo denominado  $D_{\infty}$  (TABORTON, 1997), neste método o fluxo da água é dividido entre os pixels com valores inferiores ao pixel em análise, caracterizando um padrão difuso do fluxo superficial, em seguida a área de contribuição de cada pixel é determinada pela somatória das áreas dos pixels contribuinte.

Com isso obteve-se o ITU a partir de cada um dos MDE, tendo como base as cartas topográficas, SRTM e ASTER GDEM, denominados ITU\_Carta, ITU\_SRTM e ITU\_ASTER,

respectivamente. Os dados foram obtidos no sistema de coordenadas UTM – SIRGAS 2000 fuso 22S.

### 3. Resultados e Discussão

A partir dos diferentes MDE obteve-se a representação da distribuição espacial do ITU para a bacia do rio Araquá – SP. Na Figura 2 observa-se, para uma parte da bacia, que para os três MDE analisados os valores mais elevados do índice, que representam áreas com maior potencial de saturação, localizaram-se próximas às redes de drenagem.

As regiões de encostas, entre os divisores topográficos e a área de influencia dos rios, foram melhor representadas pelo ITU derivado do MDE obtido por interpolação da carta topográfica. Isso pode estar relacionado ao fato da carta topográfica e por consequência os produtos obtidos pela mesma, representar a superfície do terreno, enquanto os produtos SRTM e ASTER GDEM terem influência da cobertura do solo.

De acordo com a Tabela 1 o ITU\_SRTM foi o que apresentou maior amplitude nos valores do índice topográfico, seguido do ITU\_ASTER. Com relação à média e desvio padrão, os maiores valores foram observados para o ITU\_Carta, sendo que para esses parâmetros o ITU\_SRTM e o ITU\_ASTER apresentaram-se mais semelhantes entre si. Tais resultados assemelham-se os obtidos por Sharma e Tiwari, (2014), onde os valores médios e de desvio padrão foram superiores para o ITU obtido de cartas topográficas em relação ao SRTM.

Em uma comparação dos três produtos (Carta topográfica, SRTM e Aster GDEM), Thomas et al., (2014a) e Thomas et al., (2014b) observaram maior semelhança nos valores médios entre os ITU obtidos pela carta e SRTM em relação ao ASTER, porem vale ressaltar que o produto utilizado nos estudos supracitados foi o SRTM com resolução espacial de 90m e no presente estudo adotou-se o produto com 30m, sendo esse um fator capaz de influenciar nos valores do ITU (Sørensen e Seibert, 2007).

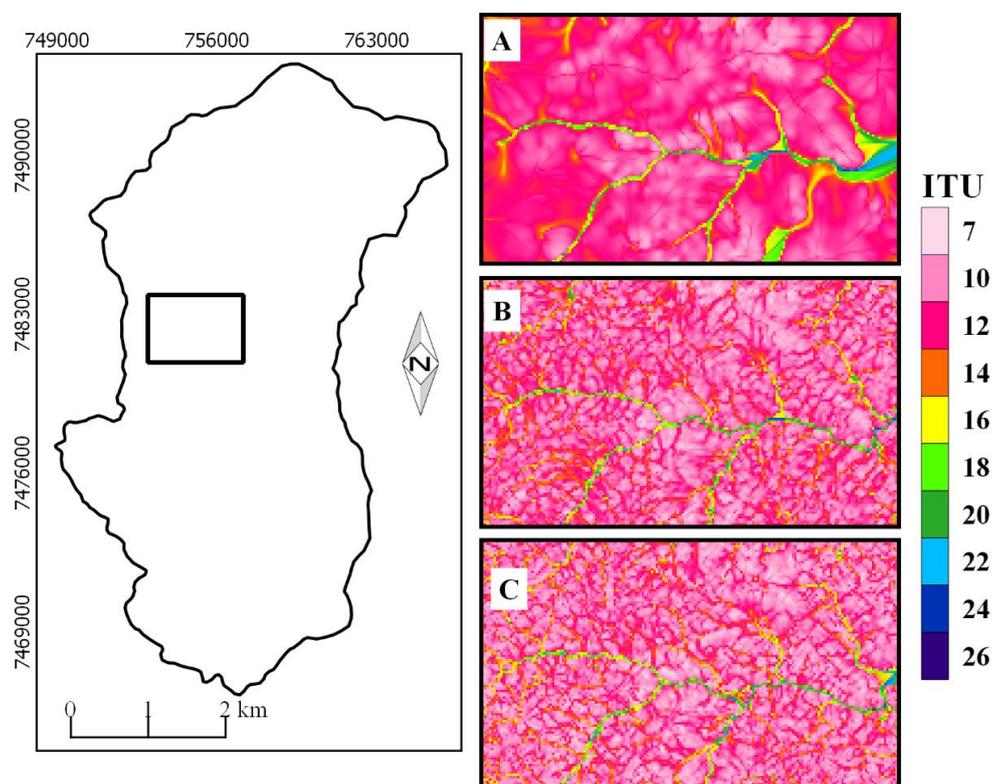


Figura 2. Índice topográfico de umidade para a bacia do Rio Araquá, (A) ITU\_Carta, (B) ITU\_SRTM, (C) ITU\_ASTER.

Tabela 1. Estatística descritiva dos valores de índice topográfico de umidade para os três MDE analisados

	ITU_Carta	ITU_SRTM	ITU_ASTER
Valor Mínimo	7.71	7.07	7.35
Valor Máximo	25.05	25.11	25.04
Amplitude	17.34	18.04	17.69
Média	11.81	10.90	10.73
Desvio Padrão	2.11	1.74	1.86

A distribuição de frequência dos valores de TWI, bem como a frequência acumulada (Figuras 3 e 4, respectivamente) evidenciam a maior semelhança entre o ITU\_SRTM e o ITU\_ASTER quando comparados ao ITU\_Carta. Porém para valores do índice inferiores a 8 e superiores a 13 os três produtos apresentam comportamento semelhante. O ITU\_Carta tende a apresentar mais áreas suscetíveis à saturação e por consequência ao escoamento superficial em relação ao ITU\_SRTM e ITU\_ASTER.

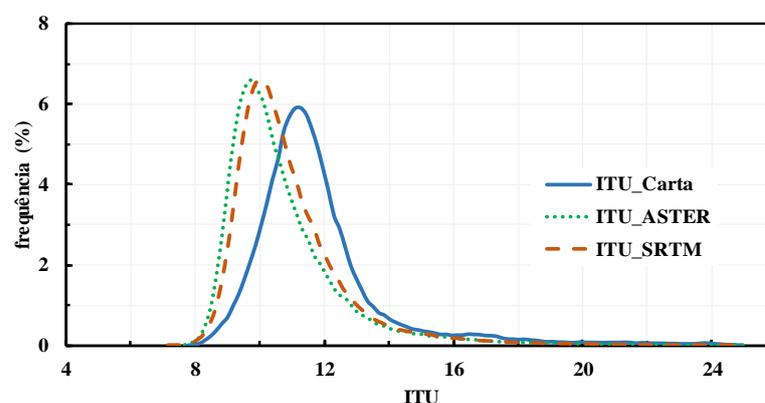


Figura 3. Distribuição dos valores do índice topográfico de umidade para a bacia do Rio Araquá.

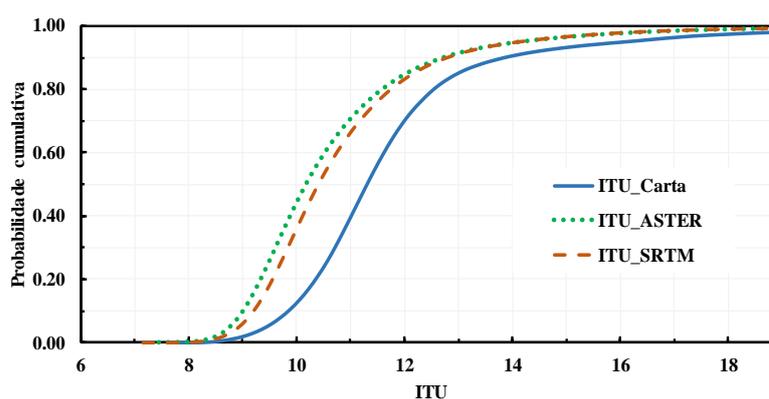


Figura 4. Probabilidade cumulativa dos valores do índice topográfico de umidade para a bacia do Rio Araquá.

A análise de dispersão dos valores pixel a pixel entre os três ITU (FIGURA 5) mostra uma baixa correlação entres os produtos, sendo esta superior na comparação ITU\_STRM x ITU\_ASTER. Ruhoff et al., (2011) obteve comportamento semelhante ao comparar o índice topográfico obtido por MDE de diferentes resoluções espaciais e diferentes algoritmos de

direção de fluxo. Valeriano (2008) observou que a correlação entre MDE obtido por carta topográfica e o SRTM é maior para os valores de altitude, e diminui para índices topográficos derivados do MDE como a declividade, e ainda menor para a face de exposição das encostas (índices topográficos primários). Tal observação pode refletir-se também nos índices topográficos secundários, formados pela combinação de vários índices primários, como é o caso do ITU.

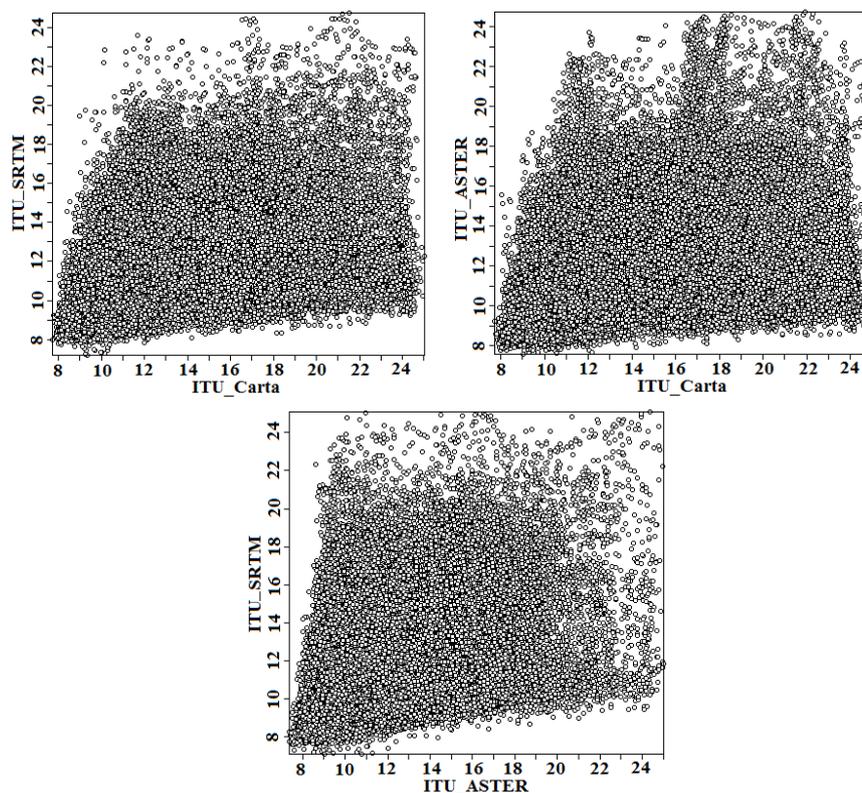


Figura 5. Dispersão dos valores pixel a pixel do índice topográfico de umidade para a bacia do Rio Araquá.

### 3. Conclusões

Os ITU obtidos a partir dos dados SRTM e ASTER GDEM apresentaram-se semelhantes quanto a distribuição espacial e de frequência dos valores do índice.

Observou-se que os valores mínimos e máximos bem como a amplitude dos dados foram semelhantes para os três produtos avaliados.

Os MDE obtidos por sensoriamento remoto, como o SRTM (30x30m) e o ASTER GDEM (30x30m) apresentaram-se promissores na obtenção de índices topográficos secundários como o ITU, principalmente para locais com ausência de dados topográficos.

### Referências Bibliográficas

Beven, K.J.; Kirkby, M.J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. **Hydrological Sciences Bulletin**, Wallingford, v. 24, p. 43-69, 1979.

Buchanan, B. P. et al. Evaluating topographic wetness indices across central New York agricultural landscapes. **Hydrology and Earth System Sciences**, Goettingen, v. 18, p. 3279-3299, 2014.

Cunha, A. R.; Martins, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manoel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.

Minella, J. P. G.; Merten, G. H. Índices topográficos aplicados à modelagem agrícola e ambiental. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 9, p. 1575-1582, 2012.

Moore, I.D.; Grayson, R. B.; Ladson, A. R. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. **Hydrological Process**, Chichester, v.5, p. 3-30. 1991.

Mukherjee, S. et al. Evaluation of vertical accuracy of open source Digital Elevation Model (DEM). **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 21, p.205-217, 2013.

Qiu, Z. et al. Hydrologically sensitive areas, land use controls, and protection of healthy watersheds. **Journal of Water Resources Planning and Management**, Reston, v. 140, n. 7, p. 04014011-1 - 04014011-10, 2014.

Rabus, B.; Eineder, M.; Roth, A.; Bamler, R. The shuttle radar topography mission - A new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar- ISPRS. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.57, p. 241-262, 2003.

Rampi, L.P.; Knight, J. F.; Lenhart, C. F. Comparison of Flow Direction Algorithms in the Application of the CTI for Mapping Wetlands in Minnesota. **Wetlands**, v. 34, n. 3, p.513-525, 2014.

Ruhoff, A. L.; Castro, N. M. R.; Risso, A. Numerical Modelling of the Topographic Wetness Index: An Analysis at Different Scales. **International Journal of Geosciences**, v. 02, n. 04, p.476-483, 2011.

Silva, R. F. B. et al. Integration of hydrologic process for zoning agricultural landscapes: perspectives for ecosystem services maintenance. **Journal of Environmental Science and Water Resources**, Lagos, v. 2, n. 8, p. 290-301, 2013.

Sharma, A.; Tiwari, K. N. A comparative appraisal of hydrological behavior of SRTM DEM at catchment level. **Journal of Hydrology**, v. 519, p.1394-1404, 2014.

Sørensen, R.; Seibert, J. Effects of DEM resolution on the calculation of topographical indices: TWI and its components. **Journal of Hydrology**, v. 347, n. 1-2, p.79-89, 2007.

Szabó, G.; Singh, S. K.; Szabó, S. Slope angle and aspect as influencing factors on the accuracy of the SRTM and the ASTER GDEM databases. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/b/c**, v. 83-84, p.137-145, 2015.

Tarboton, D.G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. **Water Resources Research**, Hoboken, v.33, n.2, p.309-319, 1997.

Thomas, I. A. et al. Improving the identification of hydrologically sensitive areas using LiDAR DEMs for the delineation and mitigation of critical source areas of diffuse pollution. **Science of the Total Environment**, v. 556, p.276-290, 2016.

Thomas, J. et al. Sensitivity of digital elevation models: The scenario from two tropical mountain river basins of the Western Ghats, India. **Geoscience Frontiers**, v. 5, n. 6, p.893-909, 2014.

Thomas, J.; Prasannakumar, V.; Vineetha, P. Suitability of spaceborne digital elevation models of different scales in topographic analysis: an example from Kerala, India. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, n. 3, p.1245-1263, 2014.

Valeriano, M. M. Dados topográficos. In: Florenzano, T. G. (org) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2008. p. 72-104.