APLICAÇÃO DE ÍNDICES TOPOGRÁFICOS EM MDES PARA DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DE AQUÍFERO ALUVIAL EM REGIÕES SEMIÁRIDAS

Samiramisthaís S. Linhares [1]; Rafaela da Silva Alves[1], Renan Vieira Rocha [1]

RESUMO – Em regiões semiáridas que constantemente são submetidas aos impactos da escassez hídrica é importante conhecer as fontes potenciais capazes de fornecer água para os diversos usos prioritários. Nesse sentido, faz-se necessário mapear os aluviões e o seu potencial hídrico. A disponibilidade de modelos digitais de elevação nos últimos anos facilita a automatização desse mapeamento. O objetivo deste trabalho é a aplicação de índices topográficos (TWI, TRI e TPI) em diversos modelos digitais disponíveis gratuitamente e verificar quais apresentam os melhores resultados para delimitar aluviões em áreas com características geomorfológicas distintas. Para esta aplicação foram selecionadas duas áreas no semiárido cearense, que possuem características geomorfológicas completamente distintas. Os melhores resultados foram alcançados na aplicação do Geomorphons no COPDEM30, o qual foi capaz de delimitar o aluvião tanto em uma bacia com notada variação topográfica, como em uma bacia de relevo plano.

ABSTRACT– In semi-arid regions that are constantly affected by water scarcity, it is important to identify potential water sources capable of supplying water for various priority uses. In this context, mapping alluvial deposits and assessing their water potential are essential. The availability of digital elevation models (DEMs) in recent years has facilitated the automation of this mapping process. The objective of this study is to apply topographic indices (TWI, TRI and TPI) using several freely available digital elevation models and to evaluate which ones provide the best results for delineating alluvial deposits in areas with distinct geomorphological characteristics. For this purpose, two study areas located in the semi-arid region of Ceará, Brazil, were selected, each exhibiting completely different geomorphological features. The best results were obtained using the Geomorphons approach applied to the COPDEM30 dataset, which successfully delineated alluvial deposits both in a watershed with pronounced topographic variation and in a watershed characterized by flat terrain.

Palavras-Chave – Aluvião, geomorfologia, índices topográficos.

INTRODUÇÃO

A geomorfologia exerce forte controle sobre a distribuição espacial dos processos hidrológicos e da variabilidade dos solos, influenciando a dinâmica de escoamento, infiltração e armazenamento de água nas bacias hidrográficas (Curie et al., 2007; Grab et al., 2010). Em regiões semiáridas, onde a disponibilidade hídrica é limitada e fortemente dependente das características do relevo, a identificação de depósitos aluvionares torna-se particularmente relevante, uma vez que esses ambientes frequentemente constituem importantes áreas de armazenamento de água superficial e subterrânea.

[1]) Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, Av. Rui Barbosa, 1246, Fortaleza - CE, samira.linhares@funceme.br

O avanço da disponibilidade de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) de maior resolução espacial tem ampliado a aplicação de técnicas geomorfométricas para a caracterização automática do relevo. Nesse contexto, os índices topográficos (IT) destacam-se por possibilitarem a quantificação dos efeitos da topografia sobre processos hidrológicos e geomorfológicos, sendo empregados na identificação de áreas úmidas (Curie et al., 2007; Guasselli et al., 2020), classificação de formas de relevo (Silveira e Silveira, 2017), modelagem ambiental (Minella e Merten, 2012) e análise de suscetibilidade à erosão (Panagos et al., 2015).

Entre os índices mais utilizados destacam-se o Índice Topográfico de Umidade (ITW) e o Índice de Posição Topográfica (IPT). Estudos anteriores demonstraram a eficiência dessas ferramentas na representação de processos hidrológicos e na classificação automática do relevo (Jasiewicz e Stepinski, 2013; Amorim e Capoane, 2022). Entretanto, ainda são escassos os trabalhos que avaliam comparativamente o potencial desses métodos para a identificação e delimitação automática de aluviões em ambientes semiáridos, especialmente em áreas com diferentes configurações geomorfológicas.

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo aplicar e comparar diferentes índices topográficos derivados de MDEs na identificação e delimitação automática de aluviões em áreas do semiárido cearense, buscando avaliar sua capacidade de representação das unidades de relevo e subsidiar estudos hidrogeológicos e de gestão dos recursos hídricos.

ÁREA DE ESTUDO

As áreas de estudo localizam-se no município de Quixeramobim, Sertão Central do estado do Ceará, inseridas no contexto do semiárido brasileiro. A região caracteriza-se pelo predomínio de terrenos cristalinos, solos rasos e precipitação média anual inferior a 800 mm, sendo os depósitos aluvionares importantes reservatórios de água subterrânea. Foram selecionadas as bacias hidrográficas de Forquilha (214 km²) e Vista Alegre (549 km²), ambas amplamente utilizadas em estudos hidrológicos e hidrogeológicos. Apesar da proximidade geográfica, as bacias apresentam características geomorfológicas distintas. A bacia do Forquilha possui relevo mais acidentado e rede de drenagem bem definida, concentrando depósitos aluvionares ao longo do canal principal, onde se desenvolvem atividades agrícolas irrigadas. Em contrapartida, a bacia de Vista Alegre apresenta relevo mais suave, com ocorrência de inselbergs e menor definição geomorfológica dos depósitos aluvionares. Essas diferenças tornam as duas áreas adequadas para a avaliação comparativa de métodos de identificação e delimitação de aluviões em ambientes semiáridos.

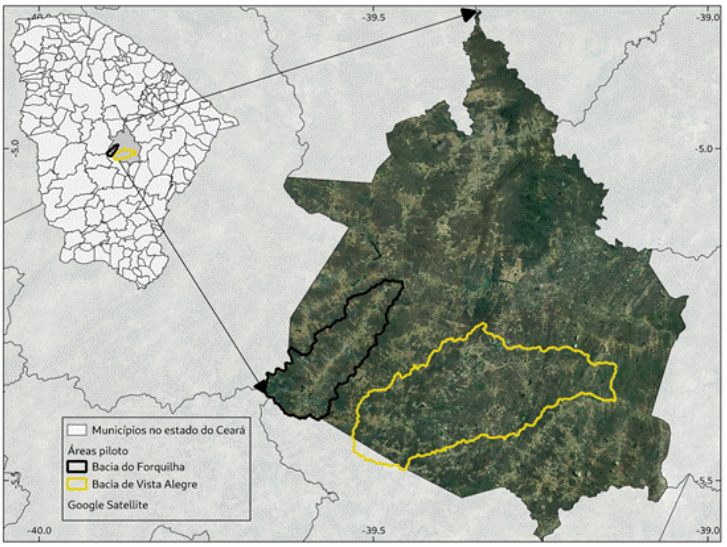


Figura 1 - Localização das áreas pilotos no município de Quixeramobim/CE.

METODOLOGIA

A classificação automatizada dos Modelos Digitais de Elevação através dos índices topográficos foi executada através de software SAGA (*System for Automated Geoscientific Analyses*) GIS, versão 8.5.0, complemento do software QGIS, versão 3.16.16-Hannover. O SAGA GIS possui a sua própria interface para processamento e pós-processamento. Nessa interface foi possível trabalhar com a metodologia aplicada. Os MDEs utilizados foram: o *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS), com resolução espacial de 12,5 m e 30 m, *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 30 m, e o COPERNICUS, com resolução espacial de 30 m (COPDEM30).

Os índices analisados neste trabalho foram o índice topográfico de umidade (TWI), índice de rugosidade do terreno (TRI) e índice de posição topográfica (TPI). O TWI foi calculado a partir da relação entre a área de contribuição específica e a declividade local, permitindo identificar áreas com potencial de saturação hídrica. O TRI foi utilizado para quantificar a rugosidade do terreno com base na variação altimétrica entre cada célula e suas vizinhas. O TPI foi gerado em múltiplas escalas para avaliar a posição relativa das feições do relevo em relação ao entorno.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os índices foram aplicados nos quatro MDEs: Alos 12,5 m e 30 m, SRTM, 30 m e Copernicus 30m. As figuras apresentadas a seguir correspondem aos principais resultados do processamento dos índices aplicados. Aqueles que não apresentaram boas correlações não foram contemplados. A ordem de apresentação dos resultados está organizada de acordo com a ordem dos índices apresentados na metodologia: TRI (Figura 2); ITP (Figura 3). O resultado da aplicação do

TWI será apresentado posteriormente.

Índice de Rugosidade (TRI) - apresentou um bom resultado no COPDEM30 (Figura 4.1a). Os resultados mostraram-se coerentes com a topografia da área. As regiões que apresentam os índices mais altos são as regiões mais elevadas. Visualmente, percebe-se que as drenagens principais nas áreas com alta heterogeneidade geomorfológica são bem realçadas, como é o caso da Bacia do Forquilha. O contrário acontece nas áreas mais planas, de baixa rugosidade, como na área da Bacia de Vista Alegre. O valor máximo alcançado é de 4,8 e, de acordo Silva (2017), valores de TRI entre 3,91 e 5,9 são considerados de baixa rugosidade. Valores abaixo de 1,9 são classificados como terrenos planos.

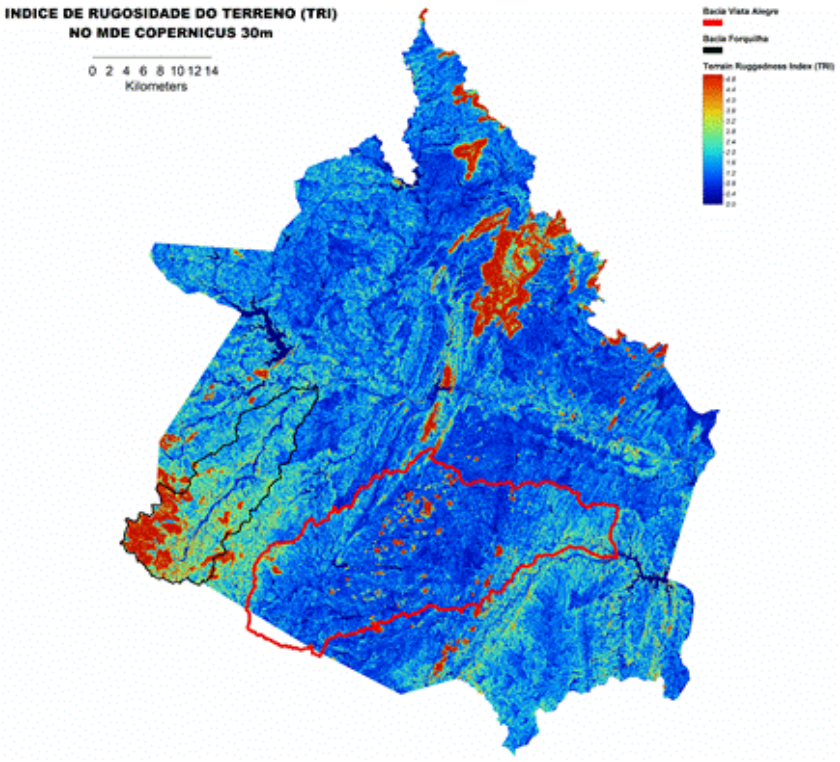


Figura 2 -Principais resultados das aplicações com os índices TRI

Índice Topográfico de Posição (ITP) - apresentou-se similar ao TRI nas áreas mais heterogêneas as drenagens principais se destacam, como é o caso da bacia do Forquilha (Figura 4.1b). Silva (2017) classifica que as áreas de vales apresentam índice menor que -1. Os melhores resultados da aplicação desse índice também ocorreu no modelo Copernicus.

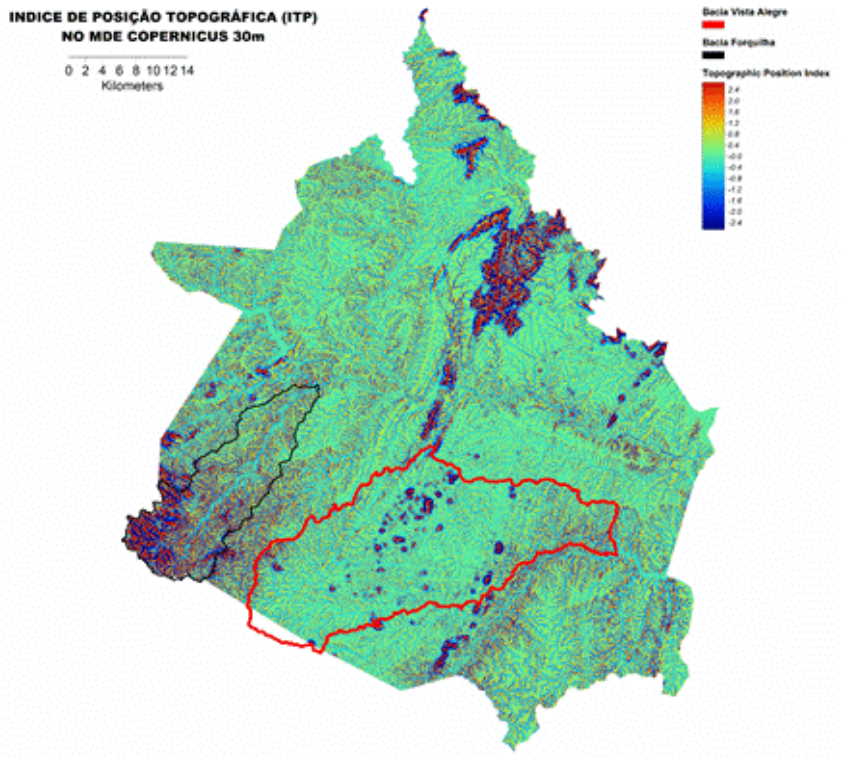


Figura 3 -Principais resultados das aplicações com os índices ITP.

Aplicação do TWI - A aplicação do TWI fornece uma melhor compreensão para delinear as áreas úmidas potenciais e, consequentemente, o aquífero aluvial. Os melhores resultados se apresentam na aplicação do índice nos MDEs ALOS 12,5 m e COPDEM30 (Figura 4). Os maiores valores correspondem às áreas mais úmidas. As áreas em azul, com maiores valores do índice topográfico, destacam as áreas úmidas potenciais, com maior possibilidade de saturação e de armazenamento de água. As áreas alaranjadas a avermelhadas correspondem às áreas com menor capacidade de armazenamento de água, importantes para gerar o escoamento e com menores valores de TWI. Segundo Silva (2017), os menores valores correspondem a terrenos mal drenados. Já os valores maiores correspondem a terrenos bem drenados. A aplicação deste índice confirma que a geomorfologia é uma forçante para a distribuição da umidade, assim como comprovou Curie et al. (2007). Mesmo entre os dois processamentos, o que apresentou uma melhor definição da rede de drenagem compatível com a rede extraída, foi o COPDEM30 (Figura 4). Isso pode ser justificado pelas diferenças de aquisição de cada modelo (Guasselli et al, 2020).

Em campo, conhecendo as duas áreas, as zonas mais úmidas indicadas após o processamento do TWI se relacionam com as áreas com maior concentração de vegetação e também com locais de fruticultura irrigada. Mesmo na bacia de Vista Alegre, a aplicação do índice realçou áreas úmidas potenciais. No caso das áreas úmidas na Bacia de Vista Alegre, o resultado do processamento mostrou-se um pouco ruidoso (Figura 4).

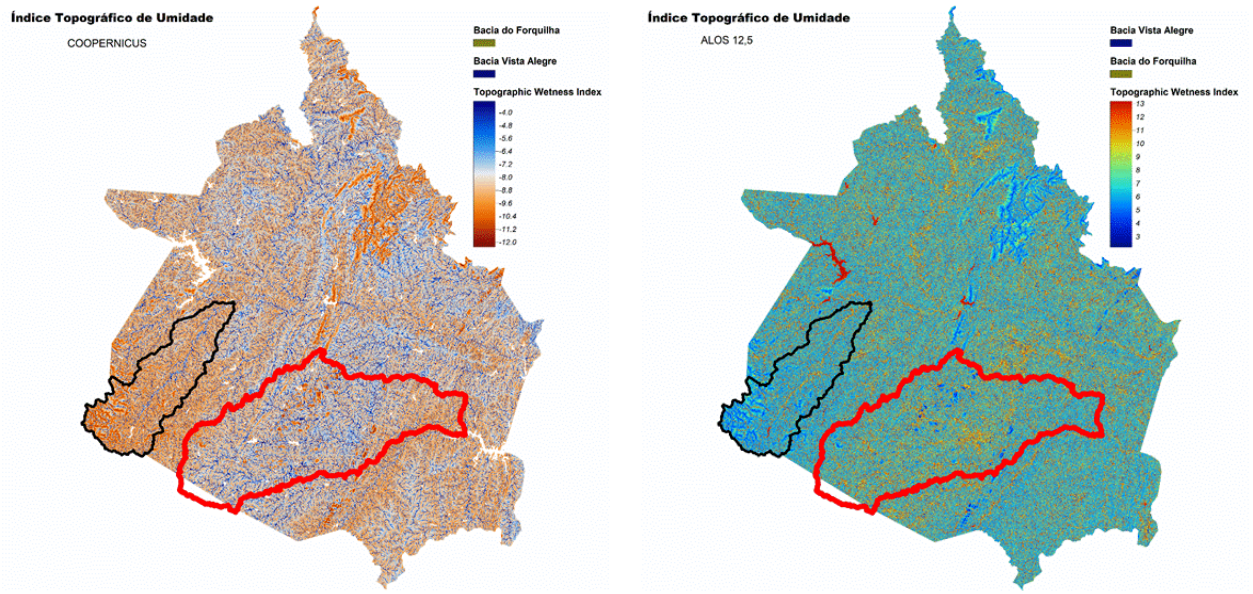


Figura 4 - Resultados da aplicação do TWI no a) COPDEM30 e b) ALOS 12,5 m.

Comparação com outros mapeamentos

Os resultados dos processamentos do TWI foram comparados com foram comparados com o mapeamento de solos realizado pela Funceme. Esta correlação também se mostrou positiva. Ambos os produtos mostram limites semelhantes, sendo a mancha delimitada pelo mapeamento de solos é superior em largura ao produto TWI (Figura 5).

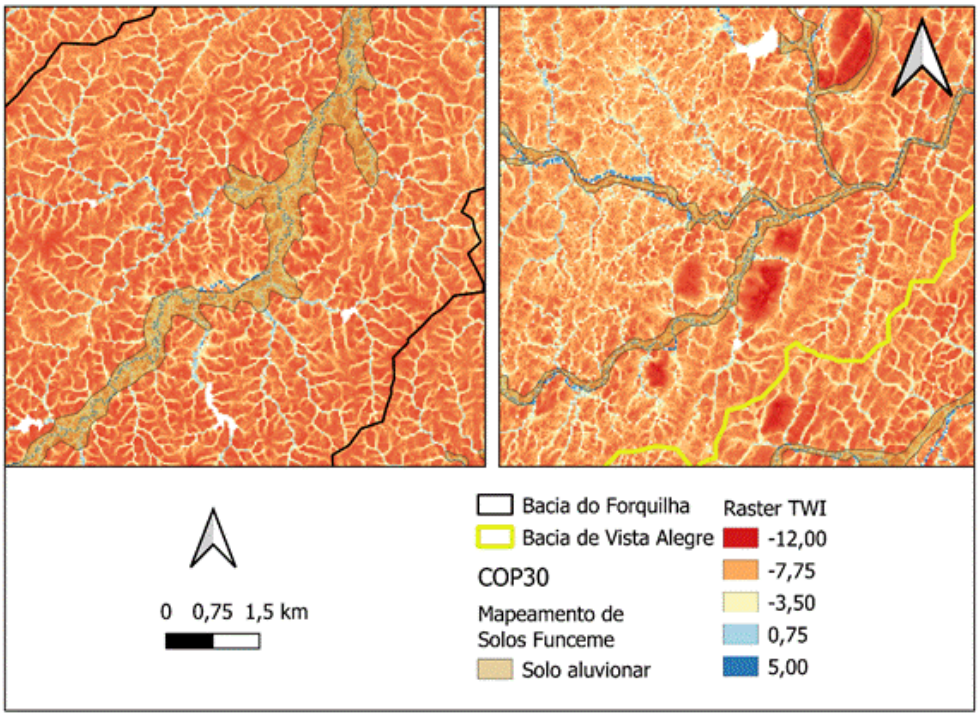


Figura 5. Comparação do TWI com o mapeamento de solos realizado pela Funceme.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Processamentos automáticos, com produtos gratuitamente disponíveis, auxiliam e aceleram o processo de mapeamento de aluviões em grandes áreas. Os resultados desenvolvidos pelos índices foram considerados satisfatórios neste trabalho. Nesse sentido, destaca-se sobretudo o resultado do processamento do TWI.. Esse índice topográfico foi capaz de delimitar melhor e mais áreas de aluvião com limites topográficos bem definidos, não sendo tão representativo em áreas mais planas. Mesmo com resultados relevantes, alguns ajustes são necessários para redução de ruídos no produto final, como por exemplo no uso do ALOS 12,5 m e, principalmente, nas bacias de Vista Alegre em virtude da sua característica geomorfológica.

REFERÊNCIAS

AMORIM, A. E. S.; CAPOANE, V. **Classificação automatizada do relevo utilizando a ferramenta Geomorphons: estudo de caso para o município de Campo Grande – MS**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 15, n. 02, 2022, p. 750-766.

BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J. **A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant.** Hydrological sciences journal, v. 24, n. 1, 1979, p. 43-69.

BURTE, J. D. P. **Os pequenos aquíferos aluviais nas áreas cristalinas semi-áridas: funcionamento e estratégias de gestão: estudo de caso no Nordeste brasileiro.** Tese de Doutorado. 2008, 289 p.

CAPOANE, V., TIECHER, T., ALVAREZ, J. W. R. R., PELLEGRINI, A., SCHAEFER, G. L., SANTOS, L. J. C., & SANTOS, D. R. D. **Influência da resolução do modelo digital de elevação na determinação do índice topográfico de umidade e na capacidade de predição dos teores carbono orgânico do solo**. Geo UERJ, 27, 2015, p. 144–155.

COPERNICUS DEM - **Global and European Digital Elevation Model (COP-DEM)**. https://doi.org/10.5270/ESA-c5d3d65

CURIE, F.; GAILLARD, S.; DUCHARNE, A.; BENDJOUDI, H.. **Geomorphological methods to characterise wetlands at the scale of the Seine watershed.** Science of the Total Environment. 375, 2007, 59-68. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2006.12.013

FURLAN, A. R.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. **Classificação dos elementos do relevo a partir da metodologia do Geomorphons na Bacia Hidrográfica do Rio Apuaê-Mirim, RS.** Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 32, p. 27-45, 2018.

GRAB, S.; GOUDIE, A.; VILES, H. A.; WEBB. **Sandstone geomorphology of the Golden Gate Highlands National Park, South Africa, in a global context.** Koedoe. 53. 01-14. 2010. DOI: 10.4102/koedoe.v54i1.985.

GUASSELLI, L. A., SIMIONI, J. P. D., & LAURENT, F. **Mapeamento e classificação de áreas úmidas usando Topographic Wetness Index (TWI) a partir de modelos digitais de elevação, na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí - Rio Grande do Sul, Brasil.** Revista Brasileira De Geomorfologia, 21(3). (2020). DOI: https://doi.org/10.20502/rbg.v21i3.1714

JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY (2021). **ALOS World 3D 30 meter DEM**. V3.2, Jan 2021. Distributed by OpenTopography. DOI: https://doi.org/10.5069/G94M92HB. Accessed: 2023-06-01 / ALOS World 3D - 30m

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. **Geomorphons a Pattern Recognition Approach to Classification and Mapping of Landforms.** Geomorphology, v. 182, p. 147–156, 2013

KREIS, M. **Origem e dinâmica da salinidade dos aquíferos cristalinos fraturados da região semiárida cearense (Brasil).** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2021

LOURENÇO, R. W., CUNHA E SILVA, D. C., SALES, J. C. A., CRESPO, G. C. **Utilização da "equação universal de perda de solo revisada" para estudos de bacias hidrográficas.** XX SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, RS, 2013.

MINELLA, J. P. G. E MERTEN, G. H. **Índices topográficos aplicados à modelagem agrícola e ambiental.** Ciência Rural [online]. 2012, v. 42, n. 9, pp. 1575-1582. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-84782012000900010.

MOORE, I. D.; GRAYSON, R. B.; LADSON, A. R. **Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications.** Hydrologic Processes, v.5, n.1, p.3–30. 1991.

MORGAN, R.P.C. **Soil erosion and conservation.** Longman science and technical. 2.ed. Wiley: New York, 2005. 198p.

NAVES, F. E.; ALMEIDA, R. T. S. **Índice topográfico de umidade como método para identificação de pontos de alagamento em áreas urbanas.** Sociedade e Território, [S. l.], v.33, n. 1, p. 209–227, 2021. DOI: 10.21680/2177-8396.2021v33n1ID22836.

PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K. **A New European Slope Length and Steepness Factor (LS-Factor) for Modeling Soil Erosion by Water**. Geosciences 2015, 5, 117-126. DOI: https://doi.org/10.3390/geosciences5020117

RENARD, K. G. & FREIMUND, J. R. (1994) **Using Monthly Precipitation Data to Estimate the R Factor in the Revised USLE.** Journal of Hydrology, 157, 287-306. DOI: dx.doi.org/10.1016/0022-1694(94)90110-4

RILEY, SHAWN & DEGLORIA, STEPHEN & ELLIOT, S.D.. (1999). **A Terrain Ruggedness Index that Quantifies Topographic Heterogeneity.** International Journal of Science. 5. 23-27.

SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION (SRTM), 2009. DOI: 10.3133/fs20093087

SILVA, J. M. F. **Diversidade Geomorfológica do setor na área de proteção ambiental da Serra da Esperança, PR: classificação em parâmetros geomorfométricos.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná (2017), 174 p.

SILVEIRA, C. T. & SILVEIRA, R. M. P. **Índice de Posição Topográfica (IPT) para classificação geomorfométrica das formas de relevo no estado do Paraná - Brasil.** Raega - O Espaço Geográfico em Análise, v. 41, n. 0, p. 98–130, 2017

WEISS, A. **Topographic Position and Landforms Analysis.** Poster presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA, 2001.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. (1978). **Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning.** Washington, USDA, Agricultural Handbook, (537) 58p.