

## Mapeamento da Vulnerabilidade Ambiental da Região Metropolitana de Goiânia

Nilson Clementino Ferreira <sup>1</sup>  
Ana Caroline Rodrigues Cassiano de Sousa <sup>2</sup>  
Erick Felype Rodrigues da Silva <sup>3</sup>  
Haniel Gleik Silva <sup>4</sup>  
Isabela Rodrigues Teixeira <sup>5</sup>  
Magno Muniz Medeiros da Silva <sup>6</sup>  
Marília Honorato Moreira <sup>7</sup>  
Matheus Eliatan da Silva Ribeiro <sup>8</sup>  
Tiago Miranda Dantas <sup>9</sup>  
Victor Hugo Souza Florentino Porto <sup>10</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6,7,8,9,10</sup> Universidade Federal de Goiás - UFG/EECA  
Caixa Postal 131 - 74605-220 - Goiânia - GO, Brasil

nclferreira@gmail.com <sup>1</sup>  
caroline.r.c@hotmail.com <sup>2</sup>  
erick.eng.ambiental@gmail.com <sup>3</sup>  
hanielgleik@gmail.com <sup>4</sup>  
isabelarodrigues652@gmail.com <sup>5</sup>  
magno.medeiros@cprm.gov.br <sup>6</sup>  
mariliahonorato@gmail.com <sup>7</sup>  
matheuseliatan@hotmail.com <sup>8</sup>  
tiago23md@gmail.com <sup>9</sup>  
vhsfporto@gmail.com <sup>10</sup>

**Abstract.** Human nature activities are intrinsically related to the vulnerability of areas located in major population centers. In the case of the metropolitan region of Goiânia, actions related to human development require careful analysis, considering that a region becomes susceptible to any vulnerability when it is exposed to external interference mechanisms to it incidents. In this context the following work promotes a processing of data to the map of environmental vulnerability of the metropolitan region of Goiânia. The data processed for the mapping of this work, where the one referring to the altimetry came from interpolations, were essential for the mapping of the drainage network, facilitated the production of digital elevation models consistent hydrologically that made it possible to obtain other data for the mapping of vulnerability of the metropolitan region, such as the topographic moisture index, which shows the locations where relief more retains moisture as the relief form, and may be water recharge areas or wetlands and possible flooding, factor that indicates a possible vulnerable area. In this way, the information relating to pedology, the shallow water table or aquifer, free to use and occupation of the soil in the basins, among others, were parameters that complemented the data for categorized mapping environmental vulnerability to the metropolitan region of Goiânia.

**Palavras-chave:** metropolitan region of Goiânia, processing of data, drainage, occupation of the soil, environmental vulnerability.

### 1. Introdução

A RMG (Região Metropolitana de Goiânia) foi instituída pela Lei complementar estadual nº 27, de 30 de dezembro de 1999, sendo esta composta por 20 municípios conurbados devido ao processo de crescimento e ocupação irregular da capital. Desses municípios, onze fazem parte da "Grande Goiânia" e os outros nove formam a Região de Desenvolvimento Integrado de Goiânia (RDIG).

O sensoriamento remoto acompanhado dos SIG são ferramentas de grande importância na avaliação ambiental, além de oferecer um auxílio para o monitoramento ambiental, pois fornece de forma clara, quantificada e circunstanciada um conjunto de impactos que podem

ser evitados, assim, diminuindo os danos ao meio ambiente (LIBOS, ROTUNNO e ZEILHOFER; 2005).

A vulnerabilidade de uma determinada região depende da suscetibilidade de ocorrência de pressões impostas sobre ela, bem como da capacidade de suporte dessas, visto que essas pressões advêm de ações desenvolvidas pelos seres humanos em sua expansão (FIGUEIRÊDO, 2007).

Tendo em vista esses danos e o inevitável crescimento da sociedade como um todo, tais ferramentas são importantes para a garantia de sucesso das atividades antrópicas que estão intrinsecamente relacionadas à vulnerabilidade do local. Dessa forma a criação de planos de manejo pode garantir a continuidade e o desenvolvimento sustentável tanto da atividade proposta quanto do meio ambiente que não será pressionado irresponsavelmente (CREPANI et al., 2001).

Sendo assim, esse trabalho teve como objetivo a elaboração de um mapa síntese, em que apresenta as áreas de vulnerabilidade ambiental da RMG.

## **2. Metodologia de Trabalho**

Para a elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental da Região Metropolitana de Goiânia, foi necessária realizar a preparação dos dados necessários à elaboração do mapeamento.

O primeiro dado tratado, foi a altimetria da Região Metropolitana de Goiânia, armazenada em estrutura matricial. Na Região Metropolitana de Goiânia, os municípios de Goiânia, Aparecida de Goiânia e Senador Canedo possuem mapas altimétricos com qualidade cartográfica classe A, de acordo com as normas da cartografia nacional (Nazareno, Ferreira & Macedo, 2007). Para outros municípios que integram a Região Metropolitana de Goiânia, foram utilizados dados da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), com 30 metros de detalhamento espacial. De posse desses dados, deu-se início ao processo de compatibilização de todos os dados altimétricos, no caso dos dados altimétricos dos municípios de Goiânia, Aparecida de Goiânia e Senador Canedo, obtidos por processos de mapeamento aerofotogramétricos, com detalhamentos espaciais de 1 a 5 metros, os dados foram interpolados para 10 metros, o mesmo aconteceu com os dados SRTM dos outros municípios da Região Metropolitana de Goiânia.

Com a disponibilização dos dados SRTM, observados com detalhamento de 30 metros, surgiu a oportunidade e possibilidade de produzir um dado interpolado com detalhamento espacial de 10 metros, para a Região Metropolitana de Goiânia, da mesma forma que foi executado pelo projeto Topodata/INPE. Para isso, inicialmente os dados de Goiânia, Aparecida de Goiânia, Senador Canedo e SRTM (30 metros) da RMG foram compatibilizados para a mesma projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM), no fuso 22, hemisfério Sul e Sistema de Referências Geocêntricas das Américas (SIRGAS-2000). Em seguida, os dados SRTM de Goiânia, Aparecida de Goiânia e Senador Canedo, foram substituídos pelos dados altimétricos aerofotogramétricos, com melhor detalhamento espacial.

Em seguida, todos os dados foram interpolados novamente, com a resolução espacial 10 metros, considerando a rede de drenagem detalhada, obtida por meio de vetorização manual, apoiada por imagens do satélite Rapideye. A interpolação altimétrica, considerando adequadamente a rede de drenagem, propicia a produção de Modelos Digitais de Elevação Hidrológicamente Consistentes (MDEHC) (Ribeiro e Ferreira, 2014).

O método Stream Burning foi concebido com o intuito de integrar espacialmente a topografia digital, com feições hidrográficas. Um valor constante de profundidade é subtraído dos pixels que são interseccionados pelo vetor de drenagem, o que gera um rebaixamento no canal.

O Austrália National University DEM (ANUDEM), idealizado por Hutchinson (1989), é um método que integra um algoritmo de drenagem forçada, que remove falsas depressões, utilizando uma técnica iterativa de interpolação por diferenças finitas, o método foi projetado para ter a eficiência de métodos de interpolação local, como o IDW, sem perder a continuidade da superfície.

O algoritmo calcula a cada iteração uma grade com resolução espacial mais fina a partir de uma grade de resolução espacial baixa, até alcançar a resolução definida pelo usuário. Os valores iniciais de baixa resolução são adquiridos por meio da média das amostras fornecidas. Os valores dos pixels são atribuídos de acordo com o valor da amostra mais próxima. O método iterativo de Gauss-Seidel é utilizado para calcular os valores dos pixels onde não há amostras, ou seja, entre curvas de nível (TAN e XU, 2014).

Sendo assim, a altimetria da Região Metropolitana de Goiânia para o Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Goiânia foi gerada a partir da integração entre dados SRTM e dados aerofotogramétricos e posteriormente interpolados pelo método ANUDEM, para um modelo digital de elevação hidrologicamente consistente, com detalhamento espacial de 10 metros. Para validação do MDEHC da Região Metropolitana de Goiânia, foram utilizados 74 pontos altimétricos, mensurados em campo pelo IBGE e disponíveis no SIEG. Comparando-se os valores altimétricos dos pontos, com o MDEHC da RMG obteve-se o gráfico de regressão linear. Os dados resultantes podem ser observados na figura 1.

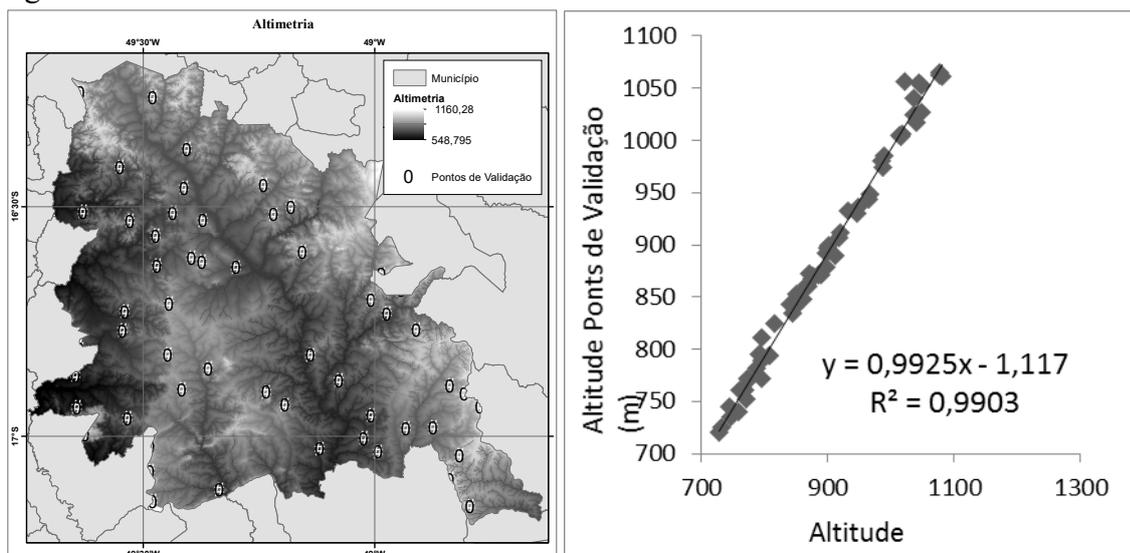


FIGURA 1 - Pontos de validação da altimetria, e Análise de Validação do MDEHC.

De posse do MDEHC, foi possível obter outros dados para o mapeamento da vulnerabilidade ambiental da RMG, tal como o mapeamento do índice de umidade topográfico, que apresenta os locais onde o relevo mais retém umidade, conforme a forma do relevo, podendo essas áreas serem de recarga hídrica ou áreas úmidas e de inundação (QIN et al., 2009).

O cálculo do índice de umidade topográfico (figura 2(a)) é obtido a partir de operações matemáticas entre o mapa de acumulação de fluxo e o mapa de declividade em graus (equação 1), sendo que esses dois mapas são obtidos a partir do mapa altimétrico (modelo digital de terrenos).

$$CTI = \ln (a/\tan B) \tag{1}$$

Sendo que a é o mapa de acumulação de fluxo (em m<sup>2</sup>) e B o mapa de declividade.

A pedologia da Região Metropolitana de Goiânia foi também utilizada, como variável de grande importância no mapeamento da vulnerabilidade ambiental da RMG (figura 2(b)).

O outro dado considerado no mapeamento da vulnerabilidade ambiental, foi o mapeamento do lençol freático superficial (aquífero livre). A figura 2(b), ilustra a localização do lençol freático superficial, considerando que amostras da localização do mesmo podem ser obtidos pelo nível estático de poços superficiais e também pela altitude da superfície de rios, riachos e ribeirões.

O mapeamento foi refinado a partir de relações estabelecidas entre as classes expressas na legenda original (Latosolos, Cambissolos, Argissolos, Neossolos Litólicos e Gleissolos) e parâmetros geomorfométricos obtidos a partir do modelo digital de elevação. Foram extraídos dados referentes a declividade do terreno, tipos de curvatura, posição na vertente, índices referentes a influência da topografia sobre a umidade dos solos (Topographic Wetness Index) e a deposição de sedimentos na paisagem (Multiresolution Valley Bottom Flatness). A delimitação dos polígonos referentes aos tipos de solos foi obtida por meio do agrupamento pertencentes a formas de relevo homogêneas.

O lençol freático (figura 2(c)) foi estimado a partir do nível estático observado em poços tubulares profundos localizados na Região Metropolitana de Goiânia, catalogados na base de dados SGM/SIC e disponibilizado pelo portal de dados do Sistema Estadual de Geoinformação (SIEG). A estes dados, foram acrescentados 50 pontos aleatórios gerados a partir da hidrografia extraída de um modelo digital de terreno.

A partir destes dados e tendo como premissa que o nível do freático é influenciado pelo relevo (CHUNG, 2012), aplicou-se uma regressão linear múltipla com cinco variáveis independentes extraídas a partir dos dados do MDEHC.

Em seguida, foi elaborado o mapa de potencial erosivo, para isso utilizou-se a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS). Proposta por Wischmeier e Smith (1978) (Equação 2).

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (2)$$

Onde, A = estimativa da perda média anual de solo (ton ha-1ano-1); R = erosividade da precipitação e da enxurrada (MJ mm ha-1 ano-1); K = fator de erodibilidade do solo (ton ha MJ-1 mm-1); LS = comprimento de rampa (adimensional) C = fator de cobertura e manejo da cultura no local (adimensional); P = fator de prática agrícola utilizada (adimensional).

O valor da Erosividade da Precipitação (R) foi calculado utilizando registros contínuos da série histórica de precipitação pluviométrica (milímetros por dia) disponibilizada pelo satélite da “Tropical Rainfall Measuring Mission” (TRMM). O qual é satisfatório com relação ao grau de confiabilidade (NOBREGA et al., 2008). Apresentando-se aplicável em estudos direcionados para fins hidrológicos, principalmente no Brasil (COLLISCHON et al., 2007; NÓBREGA et al., 2008). A erosividade é obtida a partir da aplicação da equação 3.

$$R = \sum_{i=1}^{12} EI_{30i} \quad (3)$$

Sendo que:

$$EI_{30i} = 67,3555 \left( \frac{r^2}{P} \right)^{0,85} \quad (4)$$

Onde: EI30 é a média mensal do índice de erosividade; r é a média mensal da precipitação; P é a média anual da precipitação; i é o índice de meses; e R é a erosividade.

Os valores de erodibilidade do solo K foram obtidos por meio de dados da literatura proposto por Silva e Alvares (2005). Já o fator comprimento de rampa (LS) foi determinado a partir do processamento dos dados altimétricos da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), com detalhamento espacial de 30 metros e interpolado para o município de Terezópolis para 10 metros, a partir do mapa da rede de drenagem detalhada. Posteriormente, trabalhou-se com o modelo proposto Moore e Burch (1986), utilizado por Shiferaw (2011) e Silva (2014) para a estimativa do fator LS da EUPS, com a fórmula apresentada na Equação 5.

$$LS = \left( \frac{\text{fluxo acumulado} \times \text{tamanho da célula}}{22,13} \right)^{0,4} \times \left( \frac{\text{sen(declividade)}}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (5)$$

Para a determinação do uso e ocupação do solo nas bacias, foi elaborado um mapa de uso do solo, a partir da classificação de imagens de alta resolução espacial, obtidas pelo satélite Rapideye.

Em seguida, foi aplicada a metodologia proposta por Baptista (2003), na qual são correlacionadas as classes de uso e ocupação de solo com as variáveis C e P integradas, tornando-se CP. Nesta integração foi adotado 1 para o valor constante de P (práticas conservacionistas), por ser a pior situação quanto às perdas de solo em função das práticas conservacionistas (VALLE JUNIOR, 2008).

Todos os termos da equação universal da perda de solos, anteriormente descritos, foram mapeados para toda a área geográfica da RMG, sendo portanto produzidos um mapa de erosividade (fator R), um mapa de erodibilidade dos solos (fator K), um mapa de comprimento de rampa (fator LS) e um mapa de classes de uso e ocupação do solo, combinado com práticas conservacionistas (fator CP). Esses mapas foram armazenados digitalmente em estrutura matricial, com resolução espacial de 10 metros. Em seguida, por meio de ferramentas computacionais de álgebra de mapas, realizou-se a multiplicação de todos os termos da EUPS gerando o mapa de perda de solo para a RMG, conforme pode ser observado na figura 2(d).

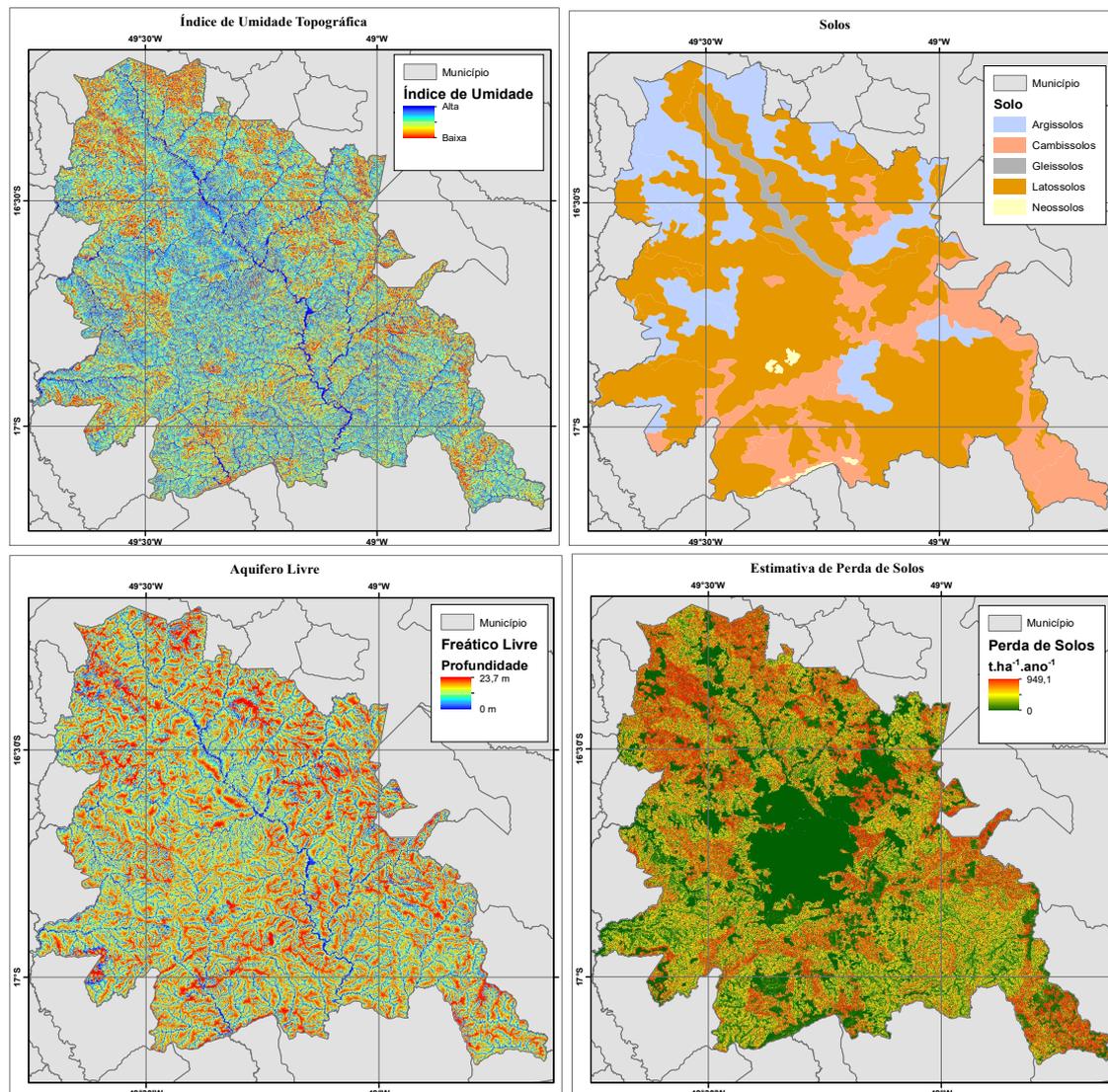


Figura 2 - Índice de Umidade Topográfica (a); Pedologia da Região Metropolitana de Goiânia (b); Profundidade do Lençol Freático (c); Estimativa de perda de solos (d).

Todos os parágrafos devem estar indentados em 0,7cm. Não deve haver espaço adicional entre os parágrafos.

### 3. Resultados e Discussões

Com os mapas gerados foi realizado o mapeamento da vulnerabilidade ambiental da Região Metropolitana de Goiânia, categorizando os mapas de potencialidade erosiva, índice de umidade topográfica, profundidade da lençol freático e declividade do relevo, em cinco classes, sendo elas: muito alta vulnerabilidade, alta vulnerabilidade, média vulnerabilidade, baixa vulnerabilidade e muito baixa vulnerabilidade.

Os quatro mapas foram topologicamente combinados e reclassificados, chegando-se ao mapa de vulnerabilidade ambiental da Região Metropolitana de Goiânia, figura 7.

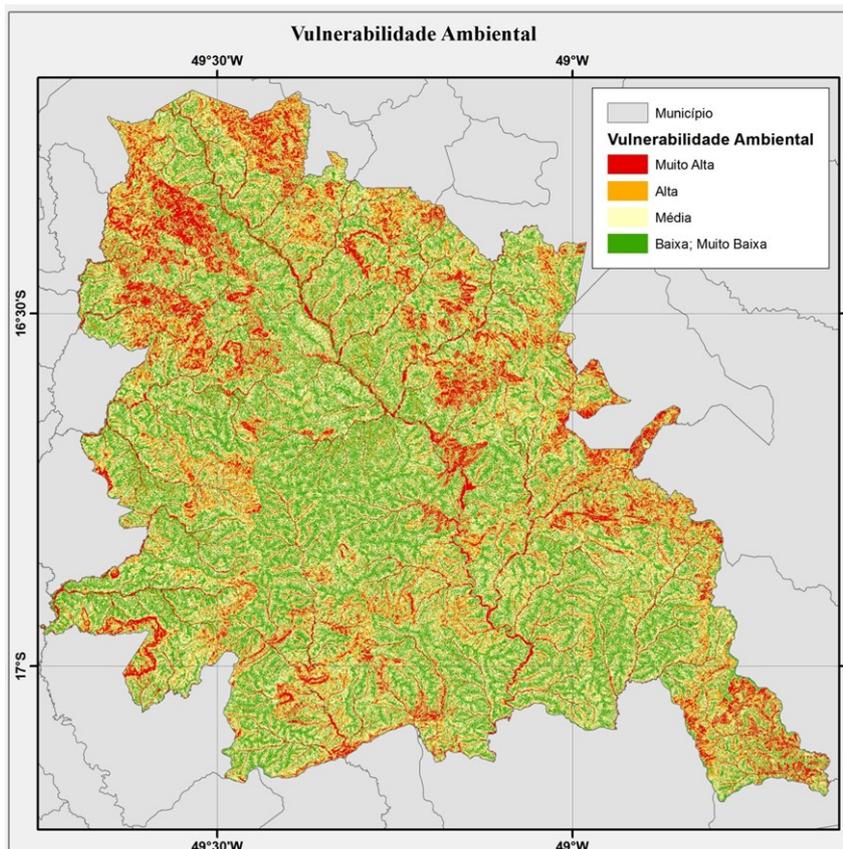


Figura 3 - Vulnerabilidade Ambiental da RMG

#### 4. Conclusões

Com a geração do mapa síntese de Vulnerabilidade Ambiental da Região Metropolitana de Goiânia, foi possível estimar as regiões mais propícias aos meios de degradação, seja ela antrópica ou não.

As áreas com predominância de coloração verde no mapa caracterizam uma baixa vulnerabilidade ambiental justamente por já estarem ocupadas de forma uso do solo para processos econômicos ou pelas áreas urbanas da região metropolitana, ou seja, a falta de preservação ambiental nesta região garante a inexistência de vegetação nativa significativa e consequentemente da vulnerabilidade ambiental.

Em contraponto, como esperado, as regiões com um relevo mais acidental, algumas micro bacias e em volta da principal bacia que passa pela região metropolitana, a do Rio Meia Ponte, a uma maior vulnerabilidade ambiental por serem áreas mais preservadas por políticas públicas ou por serem de difícil ocupação do solo para aplicação econômica ou urbana.

#### 5. Referências

COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. **Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior.** Revista Brasileira de Cartografia, nº 59/01, 2007.

HUTCHINSON, M. F. **A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits.** Journal of Hydrology, v. 106, n. 3, p. 211-232, 1989.

LIMA, J.E.F.W.; E.M. **Análise da situação dos recursos hídricos do cerrado com base na importância econômica e socioambiental de suas águas.** II Simpósio Internacional Savanas Tropicais. IX Simpósio Nacional do Cerrado. 12 a 17 de outubro, Brasília, 2008.

MIZGALEWICZ, P.J; MAIDMENT, David R. **Modeling agrichemical transport in midwest rivers using geographic information systems.** 2009.

MOORE, I. D.; BURCH, G. L. **Modeling erosion and deposition: topographic effects.** Transaction of the ASAE. v. 20, n. 6, p. 1624 –1630, 1986.

NAZARENO, N. R. X. ; FERREIRA, N. C. ; MACEDO, F. C. . **Avaliação da Exatidão Cartográfica da Ortofotografia Digital do Município de Goiânia - GO.** In: II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2007, Presidente Prudente - SP. Anais do II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Presidente Prudente - SP: UNESP - Departamento de Engenharia Cartográfica, 2007. v. 1. p. 1-8.

NOBREGA, R. S. et al., **Análise da Estimativa de Precipitação do TRMM em uma Sub-bacia da Amazônia Ocidental.** Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 25, nº1, jan/abr. 2008.

OLIVEIRA, A. H. et al. **Consistência hidrológica de modelos digitais de elevação (MDE) para definição da rede de drenagem na sub-bacia do horto florestal Terra Dura, Eldorado do Sul, RS.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, n. 4, p. 1259-1267, 2012.

OLIVEIRA, S. N. de et al. **Delimitação automática de bacias de drenagens e análise multivariada de atributos morfométricos usando modelo digital de elevação hidrologicamente corrigido.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 8, n. 1, 2010.

QIN, C. Z. et al. **An approach to computing topographic wetness index based on maximum downslope gradient.** Precision Agriculture, v. 12, n. 1, p. 32–43, 22 dez. 2009.

RIBEIRO, H. J.; FERREIRA, N. C. **ANÁLISE COMPARATIVA DE REDES HIDROLÓGICAS GERADAS A PARTIR DE SUPERFÍCIES HIDROLOGICAMENTE CONSISTENTES** Boletim de Ciências Geodésicas, 12 dez. 2014. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/bcg/article/view/38950>>. Acesso em: 11 out. 2016

SAUNDERS, W. **Preparation of DEMs for use in environmental modeling analysis.** Hydrologic and hydraulic modeling support with geographic information systems. ESRI Press, New York, p. 29-52, 2000.

SHIFERAW, A. **Estimating soil loss rates for soil conservation planning in the Borena Woreda of South Wollo Highlands, Ethiopia.** Journal of Sustainable Development in Africa. v.13, n.3, 2011.

SILVA, A.M.; ALVARES, C.A. **Levantamento de informações e estruturação de um banco de dados sobre a erodibilidade de classes de solos no estado de São Paulo.** Geociências, v. 24, n. 1, p. 33-41, 200.

TAN, Q.; XU, X. **Comparative Analysis of Spatial Interpolation Methods: an Experimental Study.** Sensors & Transducers, v. 165, p. 155-163, 2014.

VALERIANO, M. M. **Modelo Digital de Variáveis Morfométricas com dados SRTM para o Território Nacional: O Projeto TOPODATA.** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 12, p. 3595-3602, 2005.

VALLE JUNIOR, R. F. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do Rio Uberaba.** Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008.

ZHANG, H. et al. **Uncertainty assessment of climate change impacts on the hydrology of small prairie wetlands.** Journal of hydrology, v. 396, n. 1, p. 94-103, 2011.

WISCHMEIER, W.H; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning.** U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, n.537, Washington, 1978.

CREPANI, Edison et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial.** São José dos Campos: Inpe, 2001.

FIGUEIRÊDO, Maria Cléa Brito de et al. **Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização.** Eng. sanit. ambient, v. 12, n. 4, p. 399-409, 2007.

LIBOS, M; ROTUNNO FILHO, O; ZEILHOFER, P, **Sensoriamento remoto (SR) e sistema de informações geográficas (SIG) para modelagem de qualidade da água. Estudo de caso: bacia do rio Cuiabá.** IN: ANAIS XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2005, Goiânia. Anais...Goiânia:INPE, p. 2219- 2227.