



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

## ANÁLISE DOS ALGORITMOS DE DECLIVIDADE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAMANDUCAIA (SP E MG).

Ulises Rodrigo Magdalena <sup>(a)</sup>, Marcel Granadier Bizelo de Assis <sup>(b)</sup>, Raul Reis  
Amorim <sup>(c)</sup>

<sup>(a)</sup> Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas,  
e-mail: ulisesrodrigo@id.uff.br;

<sup>(b)</sup> Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas,  
e-mail: marcel-assis@hotmail.com

<sup>(c)</sup> Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas,  
e-mail: raulreis@unicamp.br

**Eixo: Geotecnologias e modelagem aplicada aos estudos ambientais**

### Resumo

A declividade é uma variável topográfica essencial para descrever processos hidrológicos, como o escoamento superficial e a erosão do solo. Além disso, essa variável pode influenciar nos resultados de mapas geomorfológicos e de Área de Preservação Permanente (APP). Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), convencionais como o ArcGIS, apresentam funções incorporadas para calcular a declividade dos Modelos Digital de Elevação (MDE), por meio de métodos que considera valor médio de inclinação. Estes métodos são aplicados aos MDEs de baixa resolução espacial. Contudo, com o surgimento de MDEs de alta resolução espacial, cria-se a necessidade de reavaliar os algoritmos existentes de declividade. Os resultados apontaram que os algoritmos de declividade que utilizam os valores máximos de inclinação tende a aumentar a quantidade de tipos de relevo em uma bacia hidrográfica.

**Palavras chave:** Declividade, bacia hidrográfica, Modelo Digital de Elevação.

### 1. Introdução

O Modelo Digital de Elevação (MDE) é uma representação da topografia terrestre em ambiente computacional, apresenta-se como um método rápido e econômico de resumir as informações do relevo em comparação com as formas convencionais como a coleta informações (ASHRAF *et al.*, 2012; ZHAO *et al.*, 2010), É uma variável importante para os modelos hidrológicos, mapeamentos geomorfológicos e geológico por oferecer vários atributos topográficos.



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

A declividade, como atributo topográfico do MDE, é uma das variáveis que controla os processos erosivos como também a intensidade do escoamento superficial, em eventos de precipitação, e influência na quantidade dos tipos de relevo como também na distribuição da Área de Preservação Permanente (APP), em uma bacia hidrográfica (MAGDALENA; FRANCISCO; RODRIGUEZ, 2018)

Existem múltiplos algoritmos para estimar a declividade, porém a qualidade dos resultados são dependentes da precisão e da resolução do MDE (ZHAO *et al.*, 2010). Esses algoritmos podem ser classificados em duas categorias: (1) métodos de média e (2) métodos de máxima inclinação (DUNN; HICKEY, 1998). Ambos os métodos utilizam uma grade 3x3 de um MDE, ou seja, os algoritmos são executados levando em consideração um conjunto de oito ou quatro pixels vizinhos em relação ao pixel central. Além disso, esses algoritmos podem considerar todas as direções da grade ou apenas as direções Norte – Sul e Leste – Oeste (MAGDALENA; FRANCISCO; RODRIGUEZ, 2018).

A primeira categoria calcula a declividade considerando quatro (ZEVENBERGEN; THORNE, 1987) ou oito (HORN, 1981) pixels vizinhos, enquanto que os métodos de declividade máxima calculam a inclinação considerando o pixel central e um dos pixels vizinhos que maximizam as diferenças de elevação no MDE (BURROUGH; MCDONNELL, 1998; DUNN; HICKEY, 1998; TRAVIS *et al.*, 1975).

O método convencional usado para calcular a declividade é o método descrito por Horn (1981), onde uma equação de diferenças finitas de terceira ordem é usada para produzir uma estimativa de inclinação média dentro de uma grade regular 3x3 considerando o conjunto de oito pixels vizinhos em relação ao pixel central (BURROUGH; MCDONNELL, 1998; HICKEY, 2000). Este algoritmo encontra-se como padrão nos cálculos de declividade dos softwares de Sistema de Informação Geográfica (SIG), como o ArcGIS e o QGIS.

Este método apresenta a tendência de ocultar a influência da micro relevo, alterando o resultado do movimento do escoamento superficial como também na distribuição e



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

quantidade das áreas de APP sejam estas na categoria de topos de morros ou encosta em uma bacia hidrográfica (MAGDALENA; FRANCISCO; RODRIGUEZ, 2018). Segundo Dunn e Hickey (1998), o método de Horn (1981), é considerado inadequado para estimar a declividade ao longo de picos, depressões e vales, porque o algoritmo oculta a variação local por calcular a média das elevações, o resultado é uma tendência de produzir uma inclinação imprecisa na escala do micro relevo (DANIIL; MICHAS, 2006; HICKEY, 2000).

Apesar das limitações do método Horn (1981), este encontra-se como padrão nos softwares de SIG por adquirir estimativas de declividade a partir de MDEs com resoluções espaciais grosseiras denominadas como baixa resolução.

No entanto, com o avanço das geotecnologias nos dias atuais, há produção de MDEs de alta resolução espacial, possibilita o mapeamento das variáveis topográficas do micro relevo, ocasionando a análise dos algoritmos de declividade. O objetivo deste artigo é de analisar os algoritmos do cálculo de declividade presentes no pacote RSAGA (BRENNING *et al.*, 2018) na bacia hidrográfica do rio Camanducaia a partir do MDE gerados pelas curvas de nível do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

## **2. Materiais e Métodos**

Neste trabalho, foi construído um MDE hidrológicamente correto com a resolução espacial de dez metros a partir das curvas de nível na escala de 1:50.000 do IBGE, com isto foi possível a aquisição dos valores de declividade na bacia hidrológica do rio Camanducaia. Para o processamento dos algoritmos de declividade, foi utilizado a linguagem de programação R (R TEA CORE, 2018), com a execução do pacote RSAGA (BRENNING *et al.*, 2018), onde encontram-se os seguintes métodos de declividade: (a) Bauer *et al.* (1985), (b) Heerdegen e Beran (1982), (c) Haralick (1983) e (d) Zevenbergen e Thorne (1987), (e) Travis *et al.* (1975), (f) Tarboton e Shankar (1997) e (g) Costa-Cabral e Burges (1994).

O primeiro grupo de métodos (a - d) consistem em calcular o valor médio do pixel central numa grade 3x3 de um MDE, utilizando pelo menos quatro dos oito pixels vizinhos



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

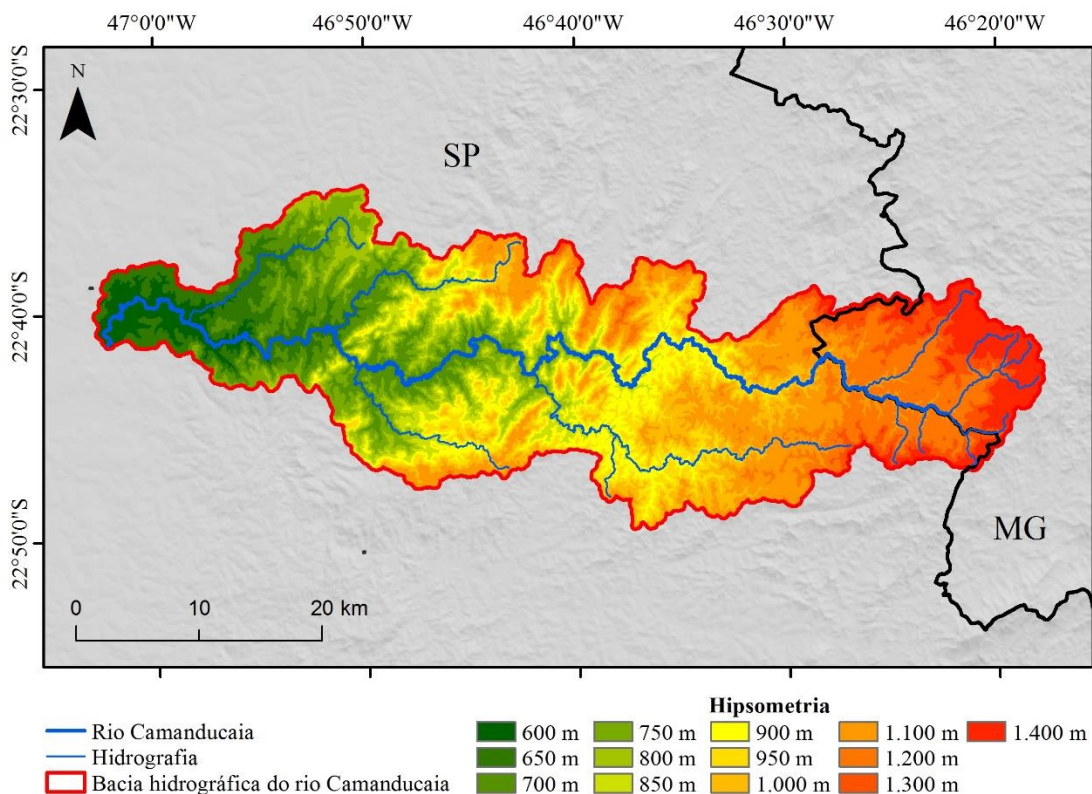
GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

(Dunn *et al.*, 1998). O segundo grupo (e - g) são algoritmos associados ao escoamento de água e não a uma análise morfométrica (GARCÍA RODRÍGUEZ; GIMÉNEZ SUÁREZ, 2010). Este grupo considera o escoamento se movendo através de uma superfície plana na direção da inclinação máxima (SUET-YAN LAM, 2004).

### 2.1. Área de estudo

A área de estudo compreende-se como a bacia hidrográfica do rio Camanducaia, que integra as bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ). A bacia em estudo possui aproximadamente, uma área total de 110.463 hectares distribuídos pelos municípios dos estados de Minas Gerais e São Paulo (Figura 1).



**Figura 1-** Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Camanducaia (SP e MG)

### 2.2. Modelo Digital de Elevação - MDE



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

A produção do MDE foi realizada pelo interpolador Topo to Raster presente no ArcGIS, é um método baseado no programa ANUDEM desenvolvido por Hutchinson (1989), com o intuito de criar MDE hidrológicamente corretos. O algoritmo interpola dados de elevação numa grade regular minimizando a rugosidade e removendo as depressões espúrias do terreno. O interpolador utiliza o método de multi – grid para suavizar a grade, com o uso do modo iterativo Gauss-Seidel pelo processo SOR (successive over-relaxation).

O processo transforma grades com resoluções grosseiras em resoluções finas com algoritmo respeitando as restrições atribuídas pelas linhas de drenagem, depressões e lagos com base em arquivos georreferenciados. Quando o algoritmo é processado com os dados de drenagem, a acurácia do modelo aumenta já que o processo de interação remove as anomalias que a drenagem automática não identifica.

### **3. Resultados e Discussões**

Os algoritmos processados acarretaram em 7 mapas de declividades, onde os mesmos foram classificados conforme a metodologia da Embrapa (1979), a fim de identificar os tipos de relevo na bacia hidrográfica, e depois transformados em gráficos.

No geral, o comportamento das curvas em relação a quantidade de área conforme os tipos de relevo, apontam que para os métodos que utilizam o valor médio para determinar o valor do pixel central numa grade 3x3, não apresentam alterações na quantidade de tipos de relevos ao longo da bacia hidrográfica do rio Camanducaia (Bauer *et al.*, 1985; Heerdegen e Beran, 1982; Haralick, 1983 e Zevenbergen e Thorne, 1987). Este resultado é diferente quando analisado os métodos de declividade que consideram o valor máximo de inclinação (Travis *et al.*, 1975; Tarboton, 1997 e Costa-Cabral e Burgess, 1994). As curvas apontam um acréscimo de áreas ao longo da bacia hidrográfica quando analisado os picos do gráfico (Figura 2).

Os comportamentos identificados no gráfico podem influenciar os resultados de produtos que apresentam dependência da declividade como o mapeamento de áreas de inundação. Magdalena *et al.* (2018), apontaram que a utilização de métodos, seja de inclinação



XVIII  
SBGFA

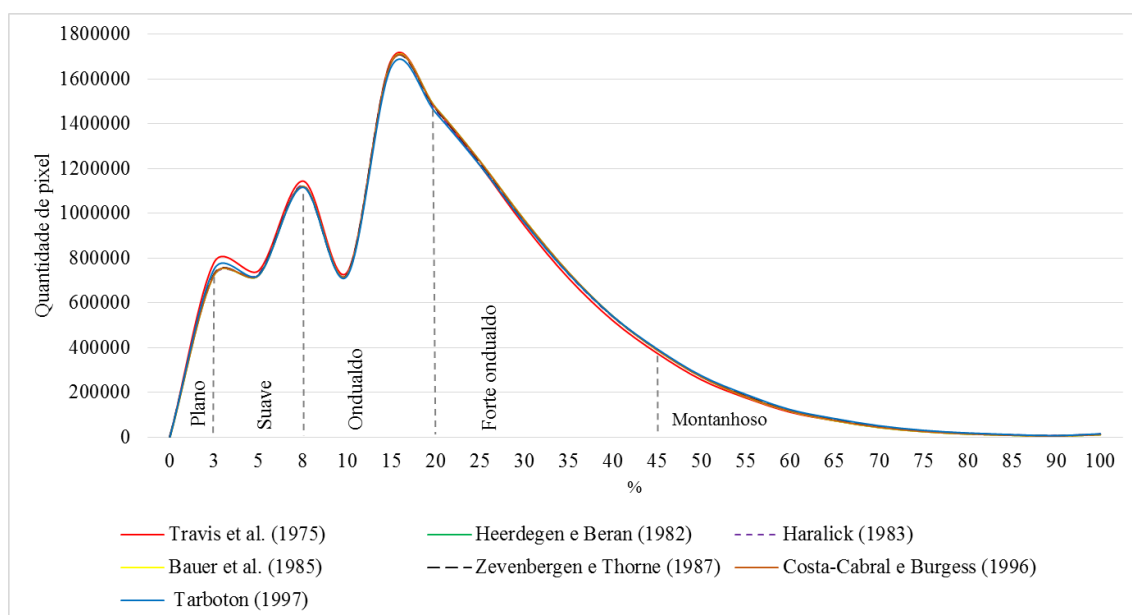
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

média ou máximo, podem alterar a distribuição e a quantidade de APP no topo de morros ao longo de uma bacia hidrográfica.

Para os métodos que utilizam a média da inclinação, o resultado é uma tendência a uma distribuição normal, com menor ocorrência nos valores extremos. Estes métodos acarretam em um produto onde os erros dos MDEs com resolução grosseira (exemplo: Triangulated Irregular Network - TIN), não influenciam nos resultados do cálculo de declividade. Contudo, os métodos de valores com a inclinação máxima encontram-se associados a qualidade dos dados vetoriais para a produção do MDE, a fim de evitar discrepância (Magdalena *et al.*, 2018).



**Figura 2** – Distribuição da quantidade de tipos de relevos conforme cada algoritmo de declividade na bacia hidrográfica do rio Camanduaca.

#### 4. Considerações finais

Conclui-se que a exploração de métodos de declividade encontra-se possível, devido aos avanços na construção de MDEs com alta resolução espacial que se apresentam cada vez mais consistentes, possibilitando a aquisição de valores máximos de inclinação e assim,



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

refinando os produtos dependentes da declividade como mapas de inundação, modelos hidrológicos, mapa de APP e perda de solo.

## 5. Agradecimentos

Agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo nº 2018/22907-1 pelo auxílio à pesquisa.

## 6. Referências Bibliográficas

ASHRAF, M. I. *et al.* GIS-evaluation of two slope-calculation methods regarding their suitability in slope analysis using high-precision LiDAR digital elevation models. *Hydrological Processes*, v. 26, n. 8, p. 1119–1133, 15 abr. 2012. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/hyp.8195>>.

BAUER, J.; ROHDENBURG, H.; BORK, H. R. *Ein Digitales Reliefmodell als Voraussetzung fuer ein deterministisches Modell der Wasser- und Stoff-Fluesse', Landschaftsgenese und Landschaftsoekologie, H.10, Parameteraufbereitung fuer deterministische Gebiets-Wassermodele, Grundlagenarbeiten zu Anal.* 1985.

BRENNING, A. *et al.* RSAGA. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/package=RSAGA>>. , 2018

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. *Principles of Geographical Information Systems*. [S.l.]: Oxford University Press: New York, 1998.

COSTA-CABRAL, M. C.; BURGESS, S. J. Digital Elevation Model Networks (DEMON): A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas. *Water Resources Research*, v. 30, n. 6, p. 1681–1692, jun. 1994. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/93WR03512>>.

DANIIL, E. I.; MICHAS, S. N. Discussion of “Factors Affecting Estimates of Average Watershed Slope” by A. Jason Hill and Vincent S. Neary. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 11, n. 4, p. 382–384, jul. 2006. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%291084-0699%282005%2910%3A2%28133%29>>.

DUNN, M.; HICKEY, R. The effect of slope algorithms on slope estimates within a GIS. *Cartography*, v. 27, n. 1, p. 9–15, jun. 1998. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00690805.1998.9714086>>.



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

EMBRAPA, E. B. DE P. A. *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos*. [S.l: s.n.], 1979.

GARCÍA RODRÍGUEZ, J. L.; GIMÉNEZ SUÁREZ, M. C. Aplicación de algoritmos matemáticos en la determinación de la inclinación de pendiente en un entorno SIG. *Aqua-LAC*, v. 2, n. 2, p. 78–82, 2010.

HARALICK, R. M. Pattern recognition and classification. *Manual of Remote Sensing*. 2nd Edition. [S.l.]: American Society of Photogrammetry, 1983.

HEERDEGEN, R. G.; BERAN, M. A. Quantifying source areas through land surface curvature and shape. *Journal of Hydrology*, v. 57, n. 3–4, p. 359–373, 1 jun. 1982. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/002216948290155X>>. Acesso em: 13 fev. 2019.

HICKEY, R. Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS. *Cartography*, v. 29, n. 1, p. 1–8, jun. 2000. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00690805.2000.9714334>>.

HORN, B. K. P. Hill shading and the reflectance map. *Proceedings of the IEEE*, v. 69, n. 1, p. 14–47, 1981. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1456186/>>.

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. 3–4, p. 211–232, abr. 1989. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0022169489900735>>.

MAGDALENA, U. R.; FRANCISCO, C. N.; RODRIGUEZ, D. A. *Permanent Preservation Area (PPA) on Top of Hills Mapping Based on Legal Devices of Rio de Janeiro State*. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 2018.

SUET-YAN LAM, C. *Comparison of flow routing algorithms used in geographic information systems*. 2004. 108 f. University of Southern California, 2004.

TARBOTON, D. G.; SHANKAR, U. *The identification and mapping of flow networks from digital elevation data*. San Francisco. USA: 1997.

TEA CORE, R. R. *A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. , 2018

TRAVIS, M. R. *et al. VIEWIT computation of seen areas, slope, and aspect for land use planning*. Berkley, California, USA: USDA Forest Sem. Gen. Tech. Rep. PSW-11, 1975.





XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

ZEVENBERGEN, L. W.; THORNE, C. R. Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 12, n. 1, p. 47–56, jan. 1987. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/esp.3290120107>>.

ZHAO, Z. *et al.* Impacts of Accuracy and Resolution of Conventional and LiDAR Based DEMs on Parameters Used in Hydrologic Modeling. *Water Resources Management*, v. 24, n. 7, p. 1363–1380, 18 maio 2010. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11269-009-9503-5>>.