

## CURVATURA VERTICAL DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO

MÁRCIO DE MORISSON VALERIANO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
Bolsista do CNPq, valerian@ltid.inpe.br

**Abstract.** A simple approach to map profile curvature from Digital Elevation Models (DEM) with common tools of Geographical Information Systems (GIS) is described. This method is based on local 3x3 pixel windows and designed to perform geometrically the second order derivative through the downslope profile. Contour-based kriged DEM of six watersheds, from different terrain types and with varied data specifications, were used for the tests. To program universally flexible procedures, the curvature calculation required the DEM spatial resolution as one of the inputs, so as to calculate a comparable absolute value, with slope difference (in percentage ratio) per horizontal distance (100m) as unit. The classification of slope direction in octants was used to control the overlapping derivation results, calculated towards the eight neighbor pixels of each windowed position. The placement of boundaries with guidance from visual analysis of known slope forms assisted the establishment of arbitrary curvature thresholds for the slope profile classes (concave, convex and rectilinear).

**Keywords:** geoprocessing, watersheds, DEM, profile curvature.

### 1. Introdução

As variáveis topográficas têm encontrado aplicações abrangentes quando inseridas no contexto de sensoriamento remoto e geoprocessamento, além daquelas associadas tradicionalmente à engenharia de água e solo. Análises de redes fluviais (Wang and Yin, 1998; Turcotte et al., 2001), partição de microbacias hidrográficas (Band, 1986) e a identificação de unidades de relevo (Meijerink, 1988; Giles e Franklin, 1998) vêm sendo desenvolvidas em ambiente computacional, amenizando a demanda de trabalho manual e a subjetividade dessas atividades. Analogamente ao levantamento de solos a partir de reconhecidos condicionantes do relevo, a geração de extensas coleções de dados assim viabilizadas tem dado suporte, por exemplo, ao estudo de efeitos topográficos sobre a vegetação (Florinsky e Kuryakova, 1996), entre outros aspectos da paisagem.

Ao lado dessas aplicações diretas, Valeriano e Garcia (2000) indicaram a compartimentação das formas de relevo como necessária para a estratificação de procedimentos de análise dos Modelos Digitais de Elevação (MDE). Aventa-se a aplicação dessa abordagem também para viabilizar o sensoriamento orbital de solos, uma vez que os dados espectrais podem ser observados apenas em pontos esparsos, sem vegetação, o que requer métodos indiretos para sua espacialização completa.

Os estudos de compartimentação da topografia apontam a curvatura vertical das vertentes como uma das variáveis de alto poder de identificação de unidades homogêneas do relevo (Doornkamp e King, 1971). A curvatura vertical refere-se ao caráter convexo/côncavo do terreno quando analisado em perfil. A possibilidade de simular digitalmente os métodos de medição da curvatura vertical, desenvolvidos para levantamentos de campo em escalas detalhadas, é uma perspectiva de grande interesse para o contexto descrito anteriormente. Este trabalho apresenta uma avaliação de um cálculo de curvatura vertical de MDE feito em Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

### 2. Material e Métodos

Para maior flexibilidade dos métodos desenvolvidos, foram selecionados dados sob diferentes especificações cartográficas e condições de relevo. Os dados testados foram os MDE de seis microbacias localizadas no Estado de São Paulo (Ribeirão Preto, córregos Soturninha e São

Joaquim, rios Jacuí, Bangu e Grande Ubatuba), provenientes da interpolação (krigagem) de dados topográficos de mapas em escalas de 1:10.000 a 1:50.000, com equidistância vertical de 5m a 25m.

Os MDE foram processados com o uso do aplicativo *Idrisi* (Eastman, 1995), armazenando-se os passos de processamento na linguagem de programação do mesmo (*Idrisi Macro Language*). Em essência, foi simulado o cálculo da segunda derivada para cada octante com o uso de janelas móveis de (3x3 *pixels*). Este processo (**Figura 1**) foi feito nas seguintes etapas: (a) cálculo da declividade direcional (%) anterior e posterior ao *pixel* central, em cada octante; (b) subtração das declividades recíprocas; (d) normalização das diferenças de declividade em relação às distâncias (%/m) entre os *pixels* correspondentes; e (e) concatenação dos resultados da etapa anterior num único plano de informação (PI), coordenada pelas respectivas classes de orientação (aspecto).

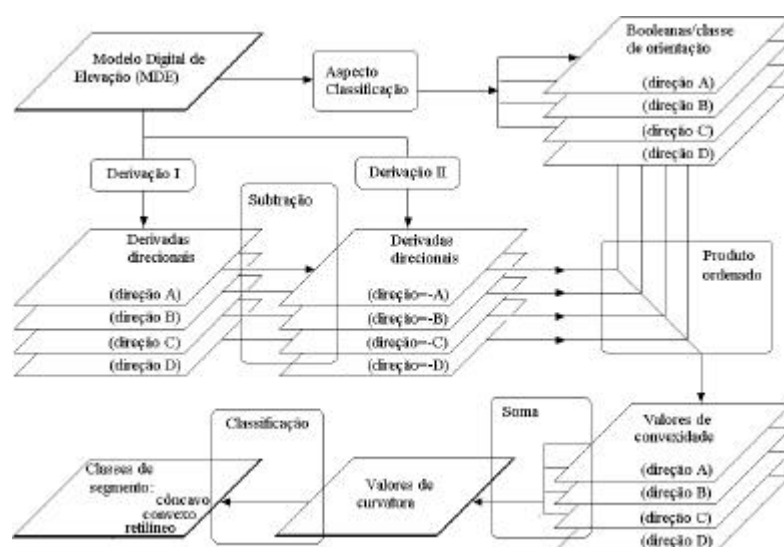


Figura 1 – Processamento do MDE para o mapeamento da curvatura vertical de vertentes.

O resultado desse processamento é um PI de valores numéricos de curvatura, expresso em  $\Delta\%/100\text{m}$ . Testes preliminares mostraram que o valor não normalizado de curvatura (como expressaram Giles e Franklin, 1998, em radianos) produz resultados variáveis em função da resolução e da escala combinadas. Outra necessidade detectada para a flexibilização do processo foi o uso de distâncias de normalização correspondentes às distâncias na superfície do terreno, dependentes, portanto, da declividade e da orientação da vertente. Tal cuidado reproduz com maior fidelidade a natureza da variável (Doornkamp e King, 1971), evitando que áreas íngremes ou orientadas para NE, SW, SE ou NW tenham a curvatura relativamente subestimada. Comparações entre vertentes representativas das áreas, com apoio de medidas cartográficas, permitiram seleccionar o intervalo de  $-0,55\%/100\text{m}$  a  $+0,55\%/100\text{m}$  como correspondente à classe de vertentes retilíneas. Valores abaixo desse intervalo foram classificados como convexos e acima como côncavos. Deve-se ressaltar que esses valores mostraram-se sensíveis aos processos de suavização aplicados e que testes mais robustos podem estabelecer critérios menos subjetivos.

### 3. Resultados e Discussão

Os valores numéricos de curvatura apresentaram distribuições de frequência distintas entre as diferentes condições de relevo e os mapas gerados (não apresentados) mostraram-se coerentes com o conhecimento prévio das áreas de estudo, indicando seu potencial para a caracterização de vertentes. Áreas de relevo semelhantes mostraram padrões semelhantes de curvatura, sem

efeito das diferenças de escala e resolução. Na **Figura 2** são apresentados perfis de vertentes representativas com os resultados de classificação assinalados de acordo com a legenda.

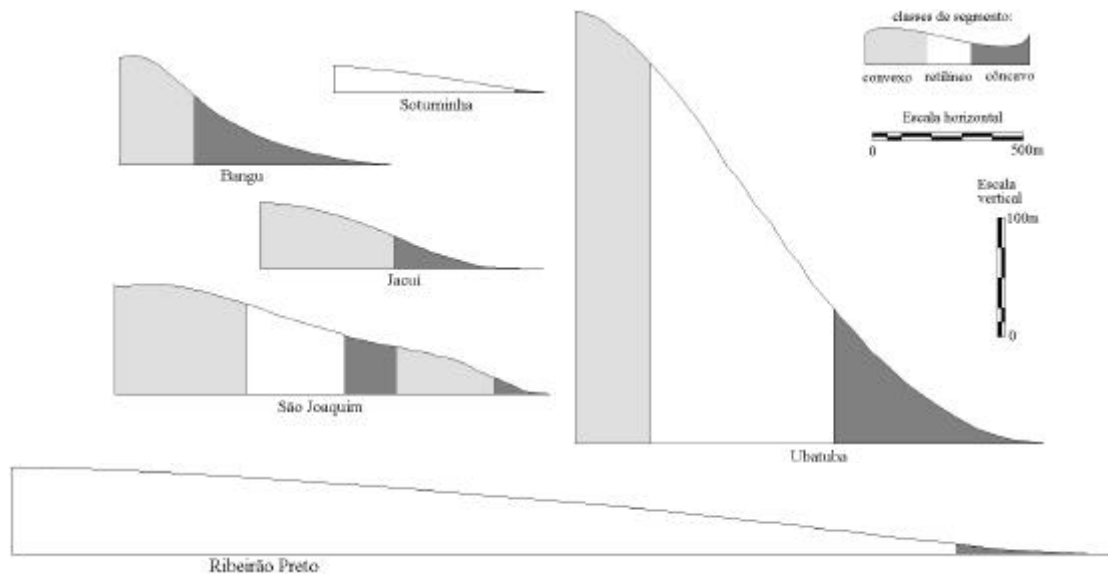


Figura 2 – Perfis de vertentes das áreas de estudo sob escala padronizada e classificadas.

A **Figura 2** mostra que as diferenças de comprimento de rampa, declividade média, toposseqüência e altura de vertentes das diversas áreas mostraram-se inócuas para cálculo digital da curvatura tal como proposto. Estes resultados indicam o potencial de informação da curvatura do MDE como uma variável independente das demais. A classificação da curvatura, por sua vez, permitiu uma discretização das formas do perfil, para estratificar o terreno num primeiro nível, diretamente, ou para contribuir em classificações multivariadas do relevo. A distribuição territorial e o padrão de seqüência das classes ao longo das vertentes mostraram-se informações interessantes para a caracterização morfométrica das diferentes microbacias.

## References

- Band, L. E. Topographic partition of watersheds with digital elevation models. *Water Resources Research*, v. 22, n. 1 p. 15-24, 1986.
- Doornkamp, J. C.; King, C. A. M. *Numerical analysis in Geomorphology: An Introduction*. London: Edward Arnold Ltd., 1971. 372p.
- Eastman, J. R. *Idrisi for Windows – User's Guide*. Worcester, MA: Clark University, 1995. 440p.
- Florinsky, I. V.; Kuryakova, G. A. Influence of topography on some vegetation cover properties. *Catena*, v. 27, p. 123-141, 1996.
- Giles, P.T.; Franklin, S.E. An automated approach to the classification of the slope units using digital data. *Geomorphology*, v.21, p.251-264. 1998.
- Meijerink, A. M. J. Data acquisition and data capture through terrain mapping units. *ITC Journal*, v.1988, n. 1, p.23-44, 1988.
- Turcotte, R.; Fortin, J.-P.; Rousseau, A. N.; Massicotte, S.; Villeneuve, J.-P. Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and a digital river and lake network. *Journal of Hidrology*, v.240, p.225-242, 2001.
- Valeriano, M. M.; Garcia, G. J. The estimate of topographical variables for soil erosion modelling through geoprocessing. *International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing*. Amsterdam: ISPRS, 2000, v.33, part B, p.678-685.
- Wang, X.; Yin, Y. -Z. A comparison of drainage networks derived from digital elevation models at two scales. *Journal of Hidrology*, v.210, p. 221-241, 1998.