

ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA COM USO DE FERRAMENTAS DO GEOPROCESSAMENTO: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE O ÍNDICE DE POSIÇÃO TOPOGRÁFICA (IPT)

Rosangela Leal Santos¹
Jhenifer Souza Gonçalves²
Ana Paula dos Santos de Melo³
Juliana Pereira Petronílio dos Santos⁴
Tayse Lima de Brito Guimarães⁵
Diego Evangelho Barbosa de Carvalho⁶
Wanderson Henryk Rodrigues de Almeida⁷

INTRODUÇÃO

A popularização e os avanços da tecnologia do SIG, juntamente com a crescente disponibilidade de Modelos Digitais de Elevação (MDE), em diferentes escalas, bem como outros dados temáticos espaciais (incluindo imagens de sensoriamento remoto), levou a uma aplicação crescente das ferramentas do SIG em muitas áreas da geomorfologia.

Os SIG's armazenam dados geoespaciais em bases de dados digitais, permitindo a representação e caracterização das superfícies terrestres, facilitando a compreensão da estrutura do relevo e outros fenômenos geomorfológicos, e revelando as relações espaciais, temporais e temáticas entre processos, materiais, formas de relevo e fatores de controle naturais e humanos.

Na geomorfologia, as relações espaciais e temporais entre feições e processos são essenciais e, portanto, as técnicas do SIG e de análise de dados espaciais são extremamente úteis para a representação, visualização, análise e compreensão de formas de relevo. Exemplos que ilustram a importância do SIG são sessões específicas de vários congressos nos últimos anos, incluindo o 14º SINAGEO (Simpósio Nacional de Geomorfologia), onde o uso das geotecnologias tem se tornado um eixo temático constante, além de suas transversalidades quanto à sua aplicação. Isso também pode ser observado nas abundantes publicações recentes sobre esse tema, em revistas geomorfológicas, ou outras de contexto ambiental.

No entanto, apesar da utilidade destas ferramentas, existem vários problemas que muitos usuários desprezam ou ignoram. Por exemplo, embora as superfícies topográficas possam ser ilustradas utilizando o SIG, é muito difícil representar digitalmente alguns aspectos específicos deste

¹ Professora Orientadora da Universidade Estadual de Feira de Santana - BA, rosaleal@uefs.br;

² Graduada pelo Curso de Agronomia da Universidade Estadual de Feira de Santana - BA, jhenifers.goncalves@hotmail.com;

³ Doutoranda do Curso de Modelagem em Ciências da Terra e do Meio Ambiente da Universidade Estadual de Feira de Santana - BA, nina.melo16@gmail.com

⁴ Mestranda do Curso de Modelagem em Ciências da Terra e do Meio Ambiente da Universidade Estadual de Feira de Santana - BA, juliana2pere@gmail.com;

⁵ Analista Universitária da Universidade Estadual de Feira de Santana - BA; tlbguimaraes@uefs.br;

⁶ Mestrando em Engenharia Civil da Universidade Federal da Bahia - BA, diego.engenheiro.uefs@gmail.com.

⁷ Mestrando do Curso de Modelagem em Ciências da Terra e do Meio Ambiente da Universidade Estadual de Feira de Santana - BA, almeida.w.biologia@gmail.com.

tema (Wu et al., 2008). Um problema adicional é que os usuários de SIG tendem a se concentrar em aspectos puramente técnico-operacionais e se satisfazem apenas com os resultados superficiais, esquecendo-se dos possíveis questionamentos sobre os resultados obtidos, da validação desses resultados e da correlação com a realidade, que compõem uma visão crítica dos resultados analíticos obtidos por meio do SIG.

Neste trabalho iremos analisar o índice de Posição Topográfica (IPT). Segundo De Reu et al (2013), o IPT mede a posição topográfica relativa do ponto central de uma malha (matriz) como a diferença entre a elevação neste ponto e a elevação média dentro de uma vizinhança predeterminada. O uso do IPT permite classificar as paisagens em relação a sua posição no relevo e, de forma indireta a declividade, classificando o topo, o vale, as encostas e indica se o terreno é plano ou muito inclinado. O IPT é um dos vários índices morfométricos, obtidos de forma derivada dos Modelos Numéricos de Terrenos (MNT's) e que se baseia nas áreas vizinhas e seus resultados podem ter grande utilidade nas análises topográficas (Gallant e Wilson, 2000).

METODOLOGIA

Santo Antônio de Jesus é um dos municípios mais antigos da Bahia. Se formou durante a colonização da área do Rio Jaguaripe, por volta do séc. XVI e XVII. Em 1988, o município de Santo Antônio de Jesus sofreu um desmembramento, surgindo assim o município de Varzedo, no seu lado oeste (Figura 1). Tanto a cidade de Santo Antônio de Jesus como Varzedo, situam-se na Microrregião Geográfica do mesmo nome. Compreende uma região de tabuleiros interioranos, onde temos depósitos areno-quartzosos do pliopleistoceno depositados sobre o Complexo Jequié, do Pré-Cambriano (Brasil, 1981), que são delimitados a oeste (Varzedo), pelas Serras Marginais.

Apresenta um relevo que varia, no sentido leste para oeste, de feições aplainadas ao suavemente ondulado e, no extremo oeste, fortemente ondulado, o que faz com que tanto a declividade como o gradiente se acentuem e tendam a aumentar no mesmo sentido/direção. Ao mesmo tempo, o aumento da aridez, com a consequente concentração dos períodos chuvosos em sentido oeste, também aumenta a dissecação do relevo e ocorre um alinhamento ao longo dos sulcos que ficam aprofundados, e orientados aproximadamente de SSO-NNE, como pode ser observado nas Figura 2(a), na imagem-grade do Copernicus de 30m, e na Figura 2(b), no mapa hipsométrico. Sua altimetria varia de 85m a 756m.



Figura 1 – Localização dos municípios de Santo Antônio de Jesus (a leste) e Varzedo (a oeste)

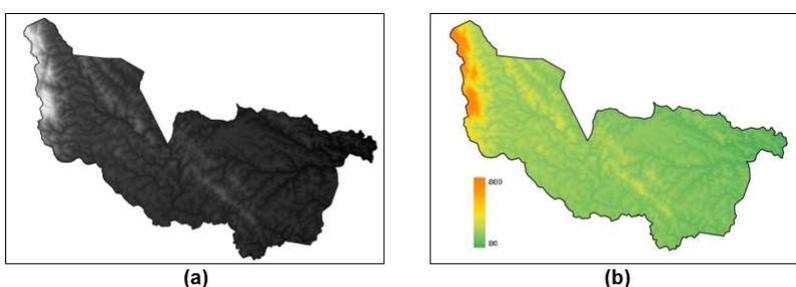


Figura 2 – Imagem altimétrica do Copérnico (30m) dos municípios de Varzedo e Santo Antônio de Jesus (BA). (a) Imagem em nível de cinza; (b) Imagem hipsométrica

Segundo a classificação de Thornthwaite, Santo Antônio de Jesus possui clima subúmido e megatérmico, com médias pluviométricas anuais em torno de 1.069 mm havendo, entretanto, uma concentração no período de inverno em relação ao verão. A temperatura média anual varia entre 23° e 24° C, observando-se uma amplitude térmica anual média de 5°C (Figura 3).

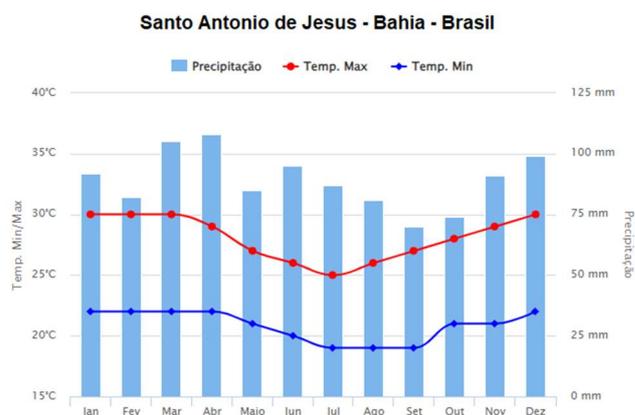


Figura 3 – Gráfico termo-hídrico, apresentando a distribuição média mensal dos valores de temperaturas mínimas e máximas e precipitação pluviométrica do município de Santo Antônio de Jesus (BA)

Fonte: INMET, 2020

Os principais tipos de solos encontrados na área são: os Latossolos Vermelho Amarelo, associados à litologia do Complexo Jequié; os Latossolos Amarelos associados às feições de tabuleiros

em sua parte mais central, que se apresenta mais conservada; e os Argissolos Vermelhos Amarelos, na parte mais a leste, com clima mais chuvoso e que apresenta maior dissecação. Pode se encontrar manchas menos significativas de vertissolos, cambissolos e planossolos háplicos nas áreas próximas aos vales, e, nos vales, luviosolos, espodosolos e gleissolos, bem como neossolos litólicos e quartzarênicos, principalmente no extremo oeste, área onde a cobertura sedimentar.

A partir das imagens altimétricas do Copérnico de 30m (Figura 2(a)) e 90m, recortou-se a área do município e gerou-se os subprodutos topográficos: o mapa hipsométrico (Figura 2(b)) e o índice de posição topográfica (IPT) (Figura 5 (a) e (b)), pois queria se avaliar a importância do tamanho da grade no resultado da classificação. Avaliou-se as grades (Figura (4) e, a partir daí, criou-se um novo mapa, com a indicação das áreas onde se tomariam amostras de perfis do IPT (Figura 5 (c)). Em seguida, traçou-se os perfis, comparando os resultados do IPT nas grades de 30m e 90m.

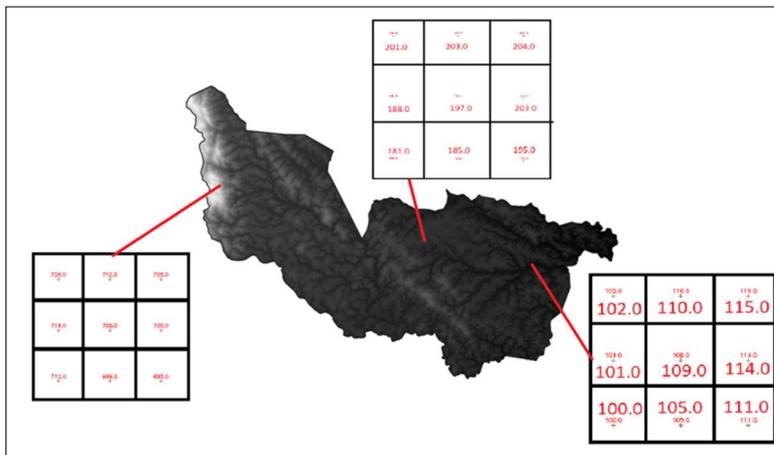


Figura 4 – Variação dos valores altimétricos ao longo de áreas características dos municípios.

REFERENCIAL TEÓRICO

A topografia é um dos pilares da análise geomorfológica. Através dela podemos inferir as formas e os processos envolvidos na sua morfogênese. Silveira (2011), descreveu muito bem as relações dos atributos topográficos derivados do MNT e a geomorfologia. Segundo esse autor, a parametrização da morfologia do relevo por meio de SIG é o processo de extração de atributos quantitativos da topografia de um MDT (Hengl, 2003).

É designada como análise do terreno (terrain analysis), geomorfologia quantitativa (quantitative geomorphology) ou modelagem digital do terreno (digital terrain modelling), a geomorfometria (geomorphometry) descreve de forma quantitativa as formas da superfície da Terra (Muñoz, 2009), por meio de equações aplicadas a modelos numéricos de representação altimétrica, os MDTs, que derivam os atributos. Para Wood (1996) a parametrização do relevo refere-se à representação quantitativa das características morfológicas da paisagem descritas de forma contínua. Todos esses conjuntos de técnicas ajudam a realizar o mapeamento geomorfológico e permite a realização de uma análise geomorfológica mais acurada.

Quando se trata especificamente dos índices derivados, como nesse caso de estudo, para os Índices de Posição Topográfica (IPT), temos vários trabalhos como o de Weiss (2001) o qual utiliza uma escala tanto pequena, quanto grande para caracterizar a paisagem perto de Hood, Oregon. A escala de 300m reflete o grau de incisão do canal do rio e a estreiteza do vale. A escala de 2.000 m reflete a morfologia mais ampla do vale e o relevo relativo dos riachos e da topografia circundante. Já DeLancey et al. (2019) usou uma janela móvel de 500 m para calcular o IPT nas turfeiras boreais de Alberta, Canadá.

Índice de Posição Topográfica

O índice de posição topográfica é uma derivada obtida através das imagens altimétricas. É calculado comparando a elevação de cada pixel com os vizinhos circundantes. Por sua definição, este índice depende de dois fatores: da resolução espacial da imagem que será processada e do tamanho da matriz que será utilizada para o cálculo de vizinhança (3x3, 5x5, 11x11, 17x17, etc).

Podemos afirmar que o IPT funciona como um filtro médio onde cada célula recebe o valor médio de sua vizinhança. O método depende de uma janela móvel ou kernel que reúne informações sobre tal vizinhança. Mais especificamente, o IPT é calculado subtraindo a altura média da vizinhança da altura da célula central. Valores positivos indicarão, portanto, posições elevadas, enquanto valores negativos mapearão depressões.

Na prática, para interpretação, este índice representa, através dos seus valores, a posição topográfica de uma dada área do relevo. De forma geral, pode ser aplicado para classificação automática do modelado, baseado em sua posição topográfica ajuda a distinguir características como topo de colina, fundo de vale, crista exposta, planície plana, declive superior ou inferior.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 5 podemos observar os resultados obtidos com o IPT para uma grade de 90m (9(a)) e 30m (9(b)). Baseados na figura 5 (c), selecionamos alguns perfis representativos, destacando as diferenças encontradas. Assim, baseado no tamanho do filtro de médio sobre a grade de diferentes tamanhos, obtemos diferentes resultados.

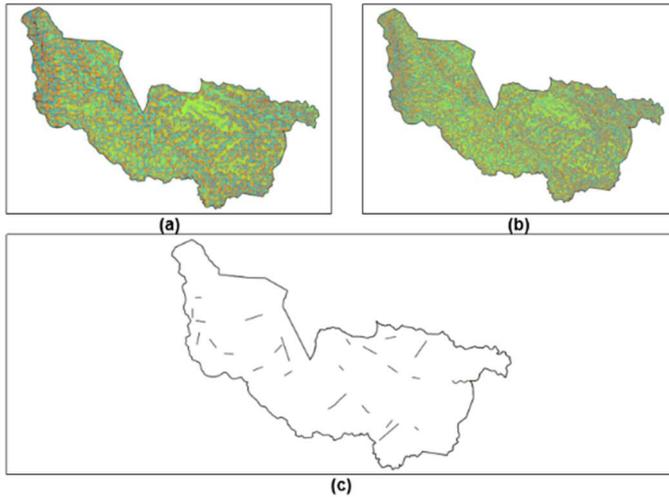


Figura 5 – IPT gerado com Modelos numéricos de terreno (MNT) de diferentes resoluções espaciais. (a) 30m; (b) 90m. Área dos perfis de comparação das amostras (c)

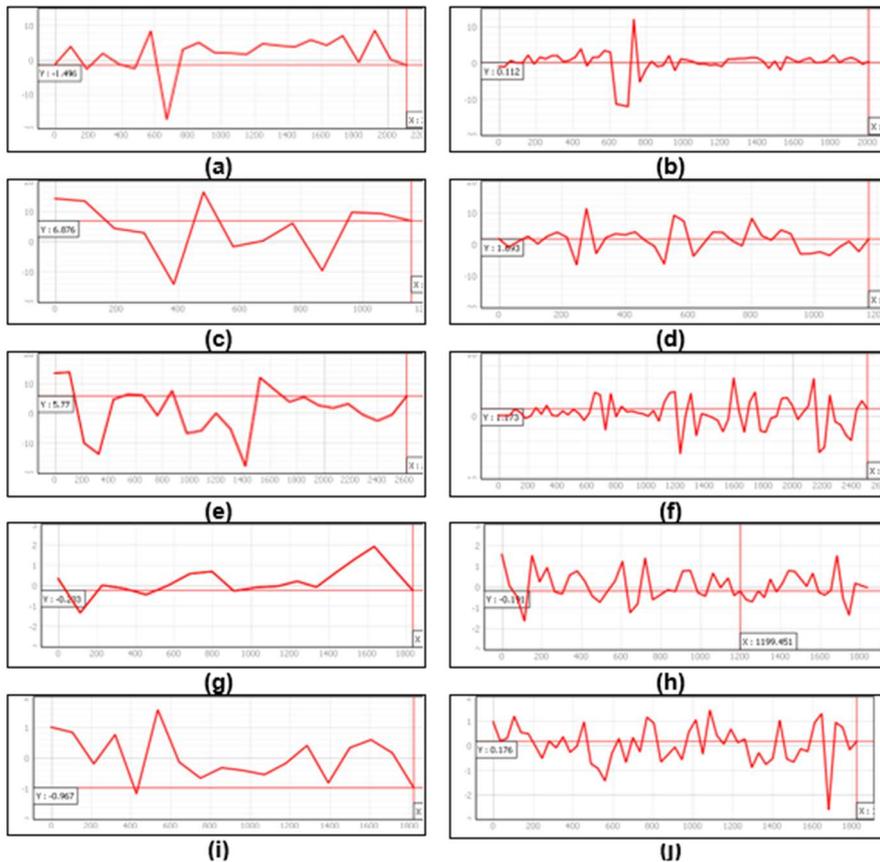


Figura 6 - Perfis do Índice de Posição Topográfica (IPT)PT. À esquerda, perfil de IPT realizado com MNT com resolução de 90m. À direita, IPT da mesma sequência, realizado com MNT com resolução de 30m. Cada par de perfil estão com as mesmas escalas (horizontal e vertical).

Ao observarmos as sequências dos perfis (Figura 6), verificamos que esse índice é profundamente dependente da escala em que se está trabalhando. A mesma área pode assumir

classificações diferentes, dependendo da resolução da grade. Assim, numa escala, um local pode ser visto como situado num grande vale, enquanto numa outra escala, mais restrita, pode aparecer como ocupando terreno plano ou mesmo relevo elevado como pode ser exemplificado na Figura 7. Weiss (2001) propôs uma classificação complexa do terreno baseada na diferença de altura e na distância em que essa diferença pode aparecer ou mudar (topo de colina, vale inciso, vale amplo etc.).

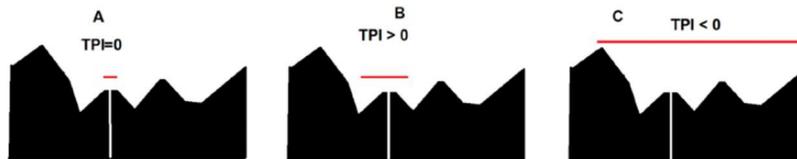


Figura 7 – Representação dos efeitos do tamanho real dos pixels englobados pela matriz-filtro.

Fonte: Adaptada e modificada de Jennes (2006)

A escala entra aqui, pela definição do tamanho da janela móvel usada para calcular o índice. “Janela móvel” é o mesmo que o filtro, uma máscara, uma matriz, que define o tamanho de quantos pixels serão utilizados para calcular o valor médio com o qual os valores das células individuais são comparados.

Entretanto, cabe ressaltar que, um filtro de kernel pode fazer mais do que apenas coletar valores: ele também pode atribuir pesos específicos a eles. Isto é particularmente útil para corrigir o problema de distância, comum quando se utiliza uma janela móvel quadrada. As células de canto estão situadas mais distantes da célula central em comparação com as células em direções ortogonais, o que significa que para o mesmo gradiente de inclinação elas sinalizarão maior diferença de altura. Podemos, então, corrigir seus valores para tal diferença de distância.

A seleção do tamanho da célula (resolução espacial) é fundamental para o cálculo do IPT. Por isso torna-se fundamental conhecer a área que se deseja trabalhar para evitar erros de classificação, seja por generalização exacerbada, seja por detalhamento desnecessário. O tamanho ideal da grade dependerá do que se deseja identificar e/ou classificar, bem como da forma que ocorre a dinâmica da paisagem nessa escala específica e o que se pode ou não identificar considerando esta resolução.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A classificação realizada por esse algoritmo permite uma classificação rápida e simplificada do terreno em feições distintas de modelado, como depressões, vales, planícies,

superfícies aplainadas, canais de escoamento etc. Esse modelado, por sua vez, se desenvolve através de processos morfogenéticos, seja para os processos erosivos, seja por processos de transporte e deposição.

Um problema comum aos métodos que utilizam sistemas com médias móveis é a tendência de produzir uma saída desfocada. Este é um resultado esperado, uma vez que o filtro de média também é conhecido como filtro de suavização no domínio da análise de imagens. Para superar o problema, pode se utilizar um plugin do QGIS, o *Terrain Shading*, o qual possibilita aplicar um filtro ponderado pelo inverso da distância, o qual realça mais o entorno da célula central do filtro.

Por fim, recomenda-se na continuidade do trabalho, alterar novos parâmetros como o tamanho dos filtros de média bem como o raio de busca, usando vários tamanhos e analisando seus resultados.

Palavras-chave: Análise Geomorfológica; Geoprocessamento; Índices Topográficos.

REFERÊNCIAS

BRASIL/MME/MI/PROJETO RADAM BRASIL. **Projeto Radam Brasil**, Folha SD. 24 – Salvador IBGE: Rio de Janeiro, 1981. v.24.

CÁTEN A.; DALMOLIN, R. S. D.; RUIZ, L. F. C.; SEBEM, E.; PEREIRA, R. S. Pedometria aplicada à predição de classes de solos utilizando de regressões logísticas múltiplas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIV, 2009, Natal. **Anais...** Natal : INPE, p. 25-30, 2009.

DE REU, Jeroen; BOURGEOIS, Jean; BATS, Machteld; ZWERTVAEGHER, Ann; GELORINI, Vanessa; DE SMED, Philoe; CHU, Wei; ANTROP, Marc; DE MAEYER, Philippe; FINKE, Peter, et al. Application of the topographic position index to heterogeneous landscapes. **Geomorphology**. 186. 2013, p.39-49

DELANCEY, E. R., KARIYEVA, J., BRIED, J. T., & HIRD, J. N. (2019). Large-scale probabilistic identification of boreal peatlands using Google Earth Engine, open-access satellite data, and machine learning. **PLoS One**, 14(6), e0218165. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0218165>

HENGL, T. Pedometric mapping: bridging the gaps between the conventional and pedometric approaches. **PhD thesis**, Wageningen University. 2003

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas do Brasil**. Disponível em: < <https://portal.inmet.gov.br/normais> >. Acesso em junho de 2024.

JENNES, J. Topographic Position Index (tpi_jen.avx) Extension for ArcView 3.x, v. 1.3a; Jenness Enterprises: **Flagstaff**, AZ, USA, 2006; pp. 1–43.

MUÑOZ, V. A. Análise geomorfométrica de dados SRTM aplicada ao estudo das relações solo-relevo. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009. 112p. (INPE-15796-TDI/1531). **Dissertação** (Mestrado em Sensoriamento Remoto). - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

SILVEIRA, Claudinei Taborda da. Análise digital do relevo aplicada ao mapeamento geomorfológico do Paraná: emprego de atributos topográficos derivados de modelo digital do terreno. **Projeto de Pesquisa**, Curitiba: UFPR, 17 pag. 2011.
<http://www.lageo.ufpr.br/arquivos/banpesq.pdf>

Weiss, A.D., 2001. Topographic position and landforms analysis. Poster Presentation, **ESRI Users Conference**, San Diego, CA.

WOOD, J. The geomorphological characterisation of digital elevation models. Leicester, UK, 1996. 185p. **PhD Thesis** - University of Leicester. Disponível em:
<http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/phd>.

WU, S., Li, J., HUANG, G.H. Characterization and evaluation of elevation data uncertainty in water resources modeling with GIS. **Water Resources Management** 22, 959–972. 2008.