BOLETIM DE GEOGRAFIA
ISSN: 2176-4786 | DGE - EDUEM - UEM | http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/index
DOI: https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v41.a2023.e64472 | Submissão: 31-08-2022 | Aceite: 21-06-2023

Classificação automatizada do relevo da bacia hidrográfica do Córrego Lajeado, Campo Grande, Mato Grosso do Sul

Automated relief classification of the Lajeado watershed, Campo Grande, Mato Grosso do Sul

Viviane Capoane
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, Brasil
capoane@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-6672-1279

RESUMO

A grande variedade de formas de relevo encontradas na superfície terrestre requer reconhecimento preciso para melhor compreensão dos processos geomórficos. A ferramenta Geomorphons tem como produto a estratificação da paisagem em dez elementos únicos, mas reconhecíveis, sendo eles: plano, cume, crista, ombro, espora, encosta, depressão, vale, sopé e concavidade. Este trabalho teve como objetivo classificar o relevo de uma bacia hidrográfica urbano-rural com a ferramenta Geomorphons utilizando dados altimétricos de diferentes fontes (radar, óptico e aerofotogrametria) e resoluções espaciais (5, 12,5, 30 e 90 m) a fim de ilustrar como a cartografia da mesma região, produzida em diferentes escalas, impacta as características topográficas derivadas. O *software* utilizado foi o SAGAGIS. A classificação automatizada mostrou que, em resoluções espaciais menores, como MDS Alos Palsar (12,5), Aster (30), SRTM (30), SRTM (90), Topodata (30), muitas feições do terreno são generalizadas, não identificadas ou eliminadas, pois os processos geomórficos são dependentes da escala de fenômenos. Os fenótipos de relevo derivados do MDE gerado com dados do aerolevantamento (escala 1:10.000) permitiram uma discretização mais realista das características do relevo da bacia hidrográfica do córrego Lajeado. Para os fenótipos de relevo derivados de MDEs gerados com dados de grande escala cartográfica e com diferentes escalas espaciais (5, 10, 20 e 40 m), constatou-se que, em paisagens urbanizadas, mapeamentos na escala cartográfica 1:10.000 e MDEs com resolução espacial de cinco metros permitem uma classificação mais realista dos fenótipos de relevo.

Palavras-chave: Geomorphons; Escala espacial; Escala cartográfica; Modelo Digital de Superfície; Modelo Digital de Elevação.

ABSTRACT

The wide variety of relief forms found on earth's surface requires accurate recognition for better understanding of geomorphic processes. The Geomorphons tool characterizes the landscape into ten unique but recognizable elements, namely: flat, summit, ridges, shoulders, spurs, slopes, depression, valleys, footslopes, and hollows. This work aimed to classify the relief of an urban-rural watershed with the Geomorphons tool using altimetric data from different sources (radar, optics and aerophotogrammetry) and with spatial resolutions (5, 12.5, 30 and 90 m) in order to illustrate how the cartography of the same region produced at different scales im-pacts the derived topographic characteristics. The software used was SAGAGIS. Automated classification showed that for images with lower spatial resolutions such as Alos Palsar (12.5), Aster (30), SRTM (30), SRTM (90), Topodata (30), many terrain features are generalized, not identified, or eliminated, because geo-morphic processes are dependent on the scale of phenomena. The relief phenotypes derived from the DEM generated with aerophotogrammetry data (scale 1:10,000), allowed a more realistic discretization of the characteristics of the relief of the Lajeado watershed. For the relief phenotypes derived from DEMs generated with large cartographic scale data and with different spatial scales (5, 10, 20 and 40 m), it was found that in urbanized landscapes mappings at the cartographic scale 1:10,000 and DEMs with spatial resolution of five meters, allow a more realistic classification of relief phenotypes.

Keywords: Geomorphons; Spatial scale; Cartographic scale; Digital Surface Model; Digital Elevation Model.

1. INTRODUÇÃO

A superfície terrestre é composta por múltiplas formas de relevo, cada uma com características visuais e físicas diferentes, que foram estruturadas e modeladas por vários processos de longo prazo (MACMILLAN; SHARY, 2009; GROTZINGER; JORDAN, 2013). Os elementos do relevo variam de características maiores, como planícies e montanhas, a menores, como colinas e escarpas (BLASZCZYNSKI, 1997). Devido à grande variedade de formas de relevo na superfície terrestre, o reconhecimento acurado dessas formas possui uma ampla gama de aplicações, como a classificação do relevo e a compreensão dos processos geomorfológicos (VAN ASSELEN; SEIJMONSBERGEN, 2006; WHEATON *et al.*, 2015; LIN; CHEN; HE, 2021), o mapeamento litológico (KÜHNI; PFIFFNER, 2001; IWAHASHI *et al.*, 2018), a previsão de propriedades do solo (FLORINSKY *et al.*, 2002; SILVA *et al.*, 2016), a ecologia de paisagens (KUMAR, DEB; DIKAU, 2017), o mapeamento de vegetação (FRANKLIN; MCCULLOUGH; GRAY, 2000), a agricultura de precisão (MACMILLAN *et al.*, 2000), o mapeamento de movimentos gravitacionais de massa (CARRARA *et al.*, 1991; CHUDÝ *et al.*, 2019; PONTES; BOSZCZOWSKI; ERCOLIN FILHO, 2021), o planejamento territorial e a análise ambiental (GARCIA; AUGUSTIN; CASAGRANDE, 2020), dentre outras aplicações.

Até a década de 1950 a geomorfologia utilizava uma abordagem qualitativa, analógica, em que o reconhecimento do relevo se baseava na interpretação visual de mapas topográficos, fotografias aéreas e investigações de campo, com discriminação manual das formas de relevo (HORTON, 1945; STRAHLER, 1956; 1957). Com o advento dos computadores e das tecnologias digitais, como o Sistema de Informação Geográfica, métodos mais complexos e baseados em estatística para identificar características da paisagem foram desenvolvidos (CHORLEY, 1972; EVANS, 1972). Os avanços na tecnologia computacional, novos métodos analíticos de aquisição de dados geoespaciais, como o sensoriamento remoto e a crescente disponibilidade de Modelos Digitais de Superfície (MDS) e de Elevação (MDE), possibilitaram que metodologias manuais fossem gradualmente substituídas por abordagens automatizadas na classificação de relevo, com alta precisão, automação e velocidade (TROEH, 1965; CONACHER; DALRYMPLE, 1997; SCHMIDT; HEWITT, 2004; IWAHASHI; PIKE, 2007; SAADAT *et al*., 2008; XIONG *et al.*, 2018). Atualmente, a abordagem quantitativa em geomorfologia é amplamente utilizada (STETLER, 2014; MOKARRAM; SATHYAMOORTHY, 2018).

Nas últimas décadas, acompanhando os avanços computacionais, muitos métodos de classificação automatizada do relevo em ambiente do SIG foram propostos com o objetivo de simplificar a complexidade morfológica da superfície terrestre. No entanto, de acordo com Stepinski e Jasiewicz (2011) e Jasiewicz e Stepinski (2013), muitos desses métodos produzem elementos de relevo que não estão em conformidade com as posições das inclinações. Diante disso, estes autores desenvolveram um novo método de classificação automatizada do relevo a partir dos Geomorphons.

A ferramenta Geomorphons é baseada no princípio de reconhecimento de padrões topográficos correspondentes a formas específicas de relevo (JASIEWICZ; STEPINSKI, 2013), ou seja, as paisagens terrestres são predominantemente distinguidas umas das outras com base em sua textura ou na configuração espacial de seus elementos básicos. Com essa ferramenta, os pixels são classificados nos gradientes locais (reduzidos ao sinal –, 0, +) e computados de acordo com o princípio da linha de visão em dez elementos únicos, mas reconhecíveis, sendo eles: plano, cume, crista, ombro, espora ou crista secundária, encosta, porções côncavas, sopé, vales e depressões.

Considerando que a superfície terrestre apresenta uma grande variedade de formas de relevo, resultado de processos geológicos e climáticos que atuam ao longo do tempo e que o reconhecimento acurado dessas formas de relevo é essencial para compreender os processos geomórficos em curso e suas implicações para o meio ambiente e a sociedade, este trabalho tem como objetivo utilizar a ferramenta Geomorphons para classificar o relevo de uma bacia hidrográfica urbana-rural, com o propósito de contribuir para o conhecimento do ambiente geográfico. Para a classificação, dados

altimétricos de diferentes fontes (radar, óptico e aerofotogrametria) e resoluções espaciais são utilizados visando ilustrar como características topográficas são suavizadas ou eliminadas em resposta à escala espacial de MDSs e MDEs. Essa abordagem permite avaliar a adequação das bases cartográficas disponíveis para representar o relevo da área em questão e identificar possíveis limitações na análise. Com base nos resultados obtidos, espera-se contribuir para aprimorar as técnicas de análise geomorfológica aplicadas em áreas urbanas e rurais, promovendo uma gestão territorial mais eficiente e sustentável.

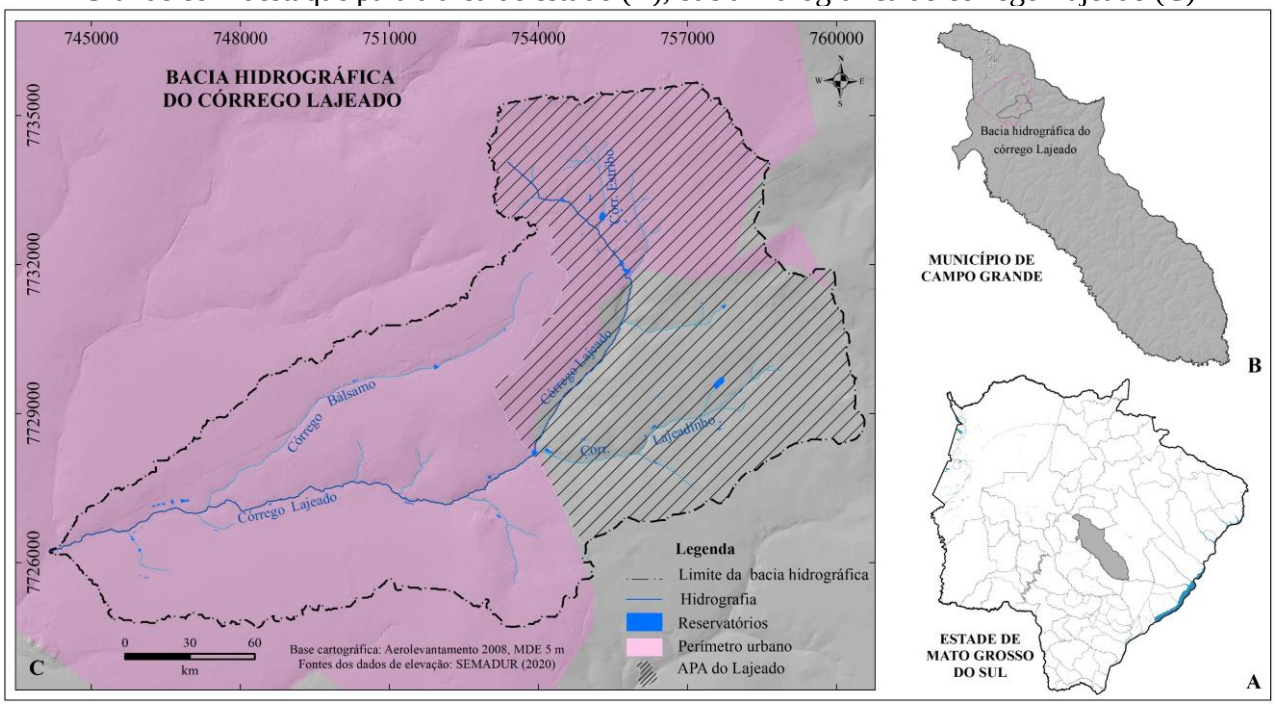
2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

A bacia hidrográfica (BH) do córrego Lajeado possui uma área de 9.155,7 ha (CAPOANE, 2022) e localiza-se integralmente no município de Campo Grande, estado de Mato Grosso do Sul (**Figura 1**). No contexto geológico 80,3% da área encontra-se na Formação Serra Geral e 19,7% no Grupo Caiuá (Indiviso). No contexto geomorfológico 89,2% da área encontra-se no planalto sul-mato-grossense e 10,8% no planalto de Campo Grande (IBGE, 2021). Os tipos climáticos são o tropical savânico com estação seca e o tropical monçônico (ALVARES *et al.*, 2014).

Nesta BH, há uma Unidade de Conservação (UC) de Uso Sustentável, a Área de Proteção Ambiental (APA) dos mananciais do córrego Lajeado, que compõe 50,0% do território (**Figura 1**). A APA do Lajeado é "compreendida pela bacia de drenagem do córrego Lajeado, a montante da barragem" de captação de água para abastecimento público (**Figura 1**). Sua criação teve como objetivos "recuperar, proteger e conservar os mananciais de abastecimento público […]; proteger seus ecossistemas, as espécies raras e ameaçadas de extinção, o solo, assim como as várzeas e demais atributos naturais […]; e promover programas, projetos e ações de gestão e manejo da área […]" (CAMPO GRANDE, 2001, p. 01). O reservatório, cuja lâmina d'água é de aproximadamente 9.708 m², tem capacidade de acumulação de 13.052 m³ e está em operação desde 1969. Atualmente, conforme a concessionária Águas Guariroba, este reservatório fornece 16% da água que abastece a cidade de Campo Grande/MS.

Figura 1: Estado de Mato Grosso do Sul com destaque para o município de Campo Grande (A); Campo Grande com destaque para a área de estudo (B); bacia hidrográfica do córrego Lajeado (C)



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

2.2. Dados altimétricos, interpolação e delimitação da bacia hidrográfica

No presente trabalho, são utilizados dados altimétricos obtidos por meio do sensoriamento remoto orbital (radar e ótico) e sensoriamento remoto aéreo (fotogrametria). Os MDSs possuem diferentes resoluções espaciais (**Tabela 1**) e são disponibilizados gratuitamente. As imagens raster utilizadas para classificação automatizada do relevo são as originais, sem as depressões preenchidas (fill, etapa obrigatória para a delimitação de bacias utilizando o algoritmo D8), pois o preenchimento de depressões em MDSs e MDEs altera significativamente a distribuição espacial e a quantificação de atributos do terreno derivados (WECHSLER, 2007). Também não foi utilizado filtro para a remoção de artefatos de vegetação (HIRT, 2018).

Tabela 1: Dados altimétricos utilizados para a classificação automatizada do relevo

Modelo altimétrico	Imagens	Resolução espacial	Fonte dos dados
MDS SRTM 30	radar	30	USGS (2020)
MDS SRTM 90	reamostragem SRTM 30	90	CSI (2020)
MDS Topodata	reamostragem SRTM 90	30	DSR (2020)
MDS Aster GDEM	ótico	30	USGS (2020)
MDS Alos Palsar	radar	12,5	ASF (2020)
MDE Aerofotogrametria	fotografias aéreas	5	SEMADUR (2020)

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O MDE foi gerado a partir da interpolação das curvas de nível (CN) e pontos cotados (PC) obtidos por aerofotogrametria no ano de 2008. Os pontos cotados foram reambulados em 2013 (CAMPO GRANDE, 2013). A escala cartográfica do aerolevantamento é 1:2.000 na zona urbana (ZR) (voo fevereiro de 2008, faixa 12, fotos 8.424) e 1:10.000 na zona rural (ZR) (voo março de 2008, faixa 03, fotos 940 a 942). Os dados altimétricos eram disponibilizados pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano de Campo Grande (SEMADUR, 2020; CAPOANE, 2022).

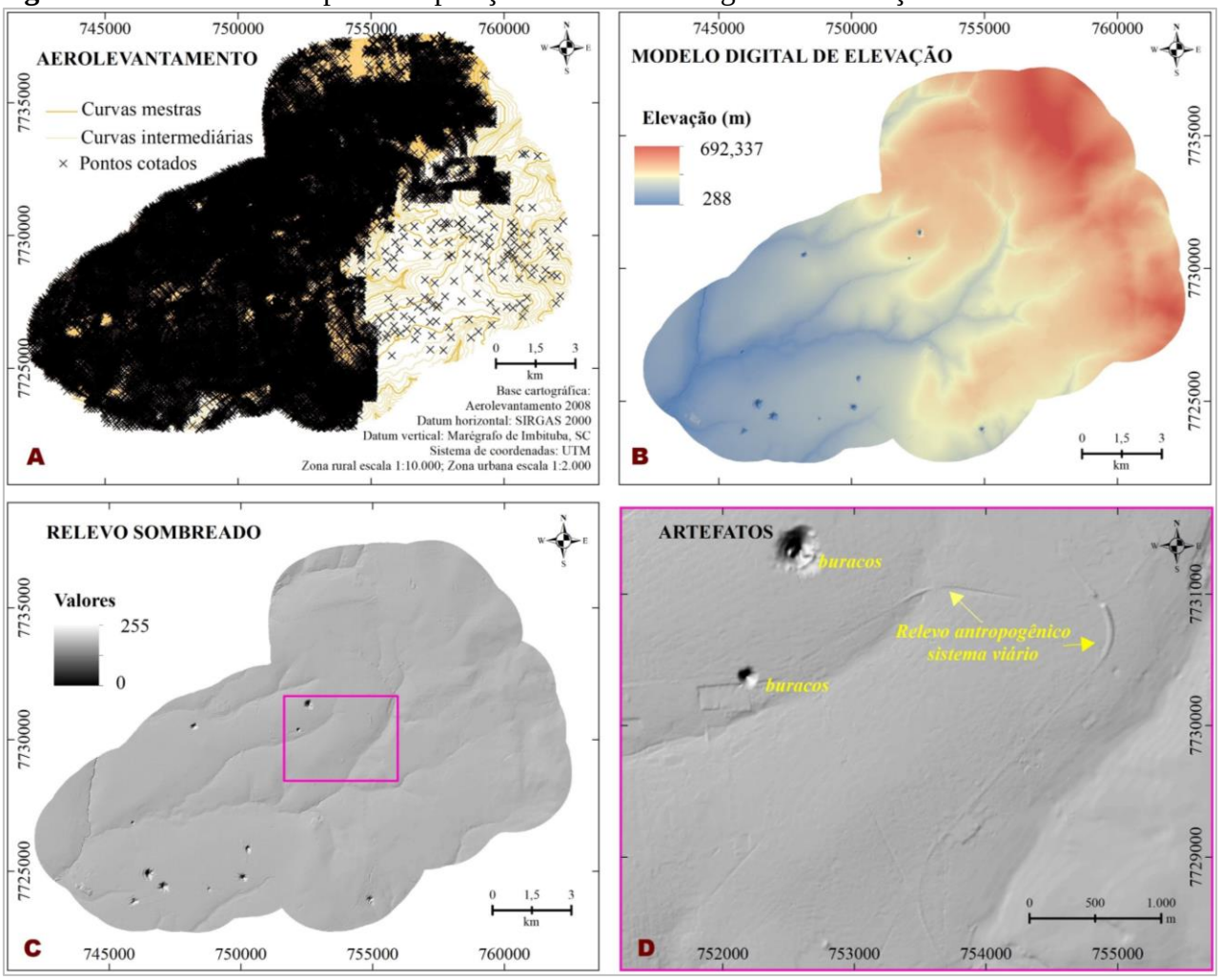
No ArcMap 10.8.1, os dados altimétricos (curvas de nível e pontos cotados) foram recortados em um *buffer* de 2 km da área de interesse (**Figura 2A**), e interpolados utilizando a ferramenta de análise espacial *Interpolation*, método *topo to raster* (**Figura 2B**). A escolha do método de interpolação baseia-se nos resultados do trabalho desenvolvido por Hutchinson (1989), que constatou que o interpolador *topo to raster* resulta em melhor consistência hidrológica. Ainda, esse método de interpolação é indicado para gerar modelos de elevação acurados, já que o efeito erosivo da água altera substancialmente o contorno do relevo (HUTCHINSON *et al*., 2011). Para a definição da resolução espacial de saída foi considerada a equidistância das curvas de nível e o trabalho de Hancock; Willgoose e Evans (2002), cujos resultados mostram que MDEs de cinco metros permitem avaliações geomorfológicas em escala de bacia hidrográfica.

Uma vez gerado o MDE, foi derivado o relevo sombreado a fim de identificar a presença de artefatos (**Figura 2CD**), como isoípsas com cota errada, pontos cotados com valores negativos, zero, superiores ou inferiores entre duas curvas de nível. Os artefatos identificados na camada pontos cotados (Figura 2B) foram excluídos e procedeu-se uma nova interpolação.

Além de investigar o efeito das escalas espaciais de modelos altimétricos disponíveis gratuitamente (radar e ótico), os dados de grande escala cartográfica (**Figura 2A**) foram interpolados com diferentes resoluções espaciais (5, 10, 20 e 40 m), a fim de isolar o efeito do tamanho da grade na representação da paisagem - Geomorphons.

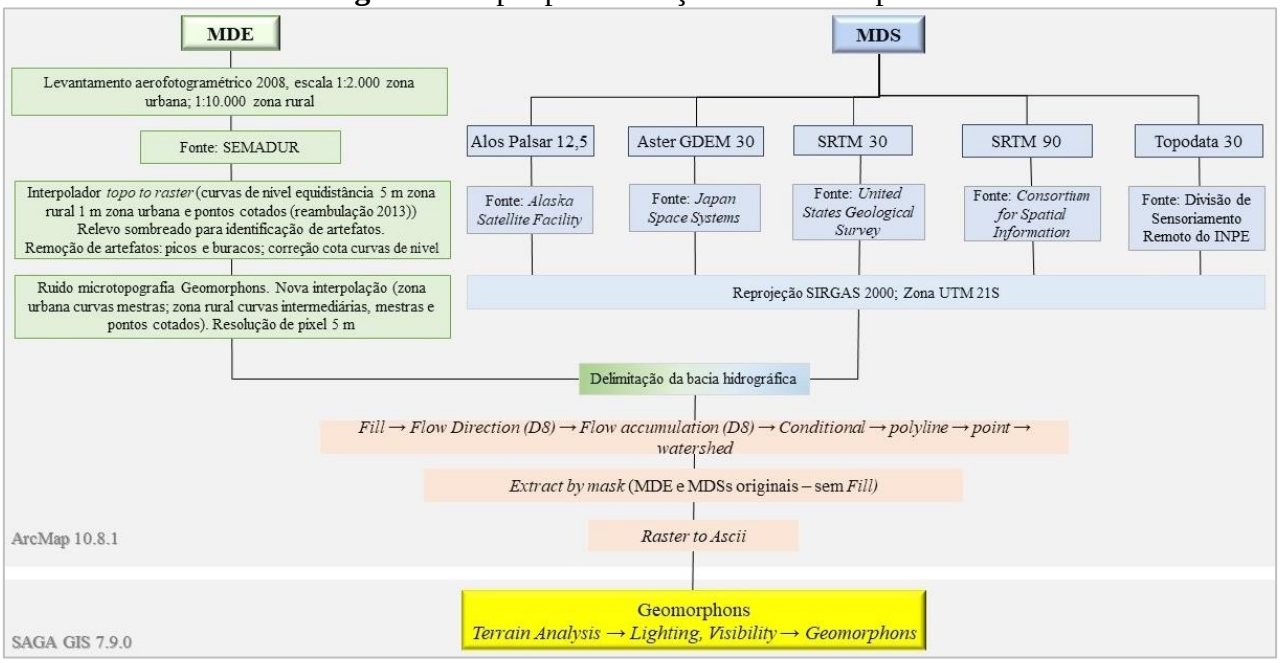
Nos MDEs, quando não foram mais detectados artefatos (**Figura 2BCD**), procedeu-se a delimitação da bacia hidrográfica. O limite da BH foi derivado para todas as bases de dados (**Tabela 1**), pois os atributos do terreno são sensíveis ao tamanho da grade. O limite da BH foi utilizado como máscara para a extração da área de interesse. Na sequência, as imagens raster foram convertidas para o formato ASCII e, no programa SAGA GIS v 7.9.0., foram derivados os fenótipos de relevo. As etapas para a obtenção dos fenótipos de relevo são apresentadas na Figura 3.

Figura 2: Dados utilizados para interpolação dos Modelos Digitais de Elevação e artefatos identificados



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 3: Etapas para obtenção dos Geomorphons

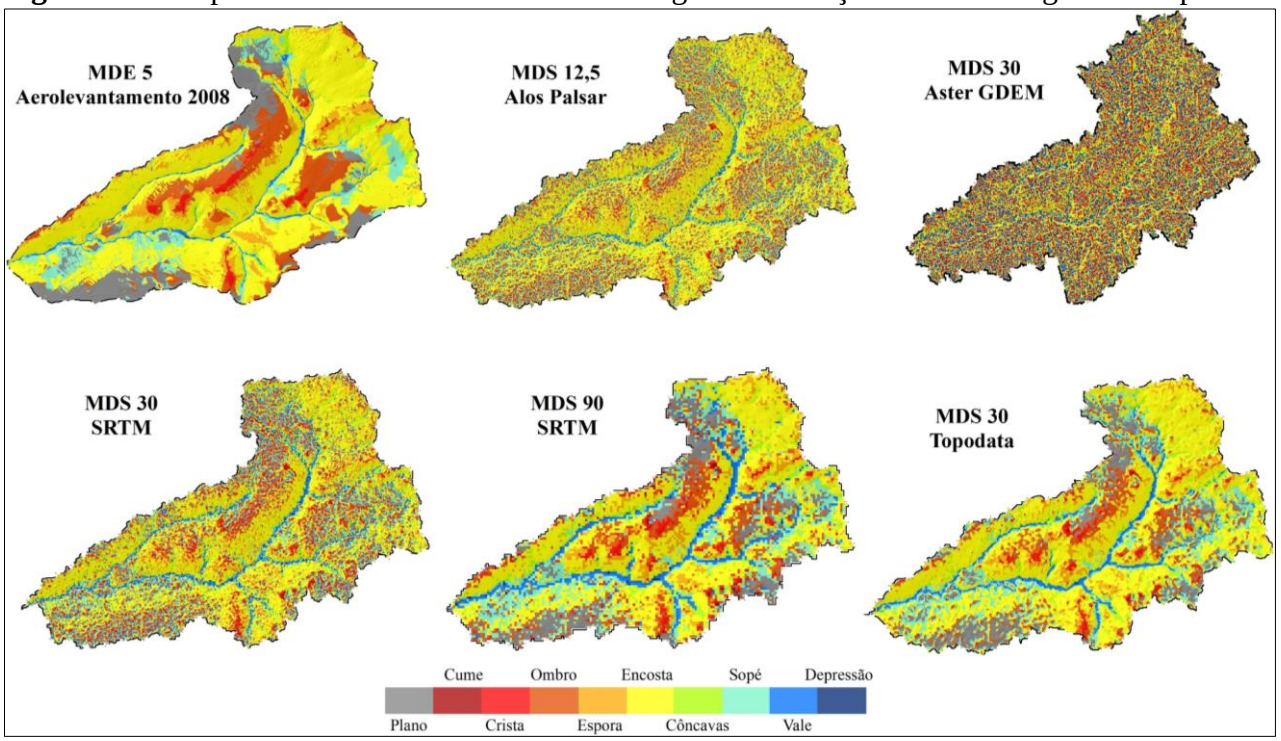


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da análise visual dos fenótipos de relevo da BH do córrego Lajeado nota-se a perda de detalhes da morfologia da superfície à medida que a resolução espacial diminui (**Figura 4)**. O MDE gerado com dados de grande escala cartográfica e escala espacial de 5 m permitiu uma melhor representação e mapeamento de características do relevo. Os MDSs de baixa resolução espacial não foram capazes de representar a complexa topografia da bacia hidrográfica urbana-rural e características do relevo foram suavizadas ou eliminadas, pois conforme Albani *et al*. (2004) e Miller (2014), as métricas de análise digital de terreno geralmente dependem da escala espacial. Estes resultados mostram que a cartografia de uma mesma região produzida em diferentes escalas espaciais exibe várias concepções de uma mesma realidade. Isso quer dizer que, nem sempre os mesmos elementos da paisagem – no caso, fenótipos de relevo – serão percebidos em escalas diferentes (JOLY, 1990).

Figura 4: Fenótipos de relevo derivados do modelo digital de elevação e modelos digitais de superfície



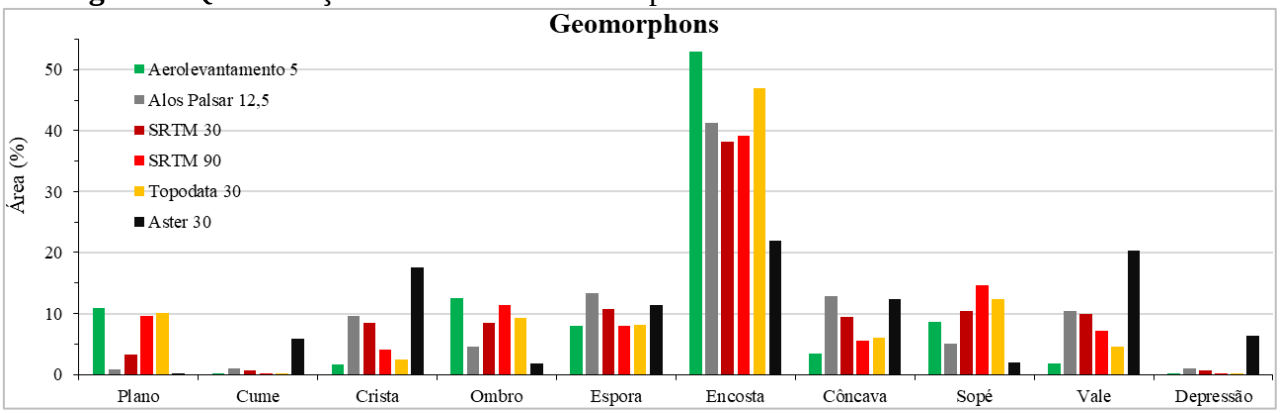
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O fenótipo plano corresponde a uma área caracterizada por uma superfície ou extensão contínua de terreno, suave, plano ou horizontal, ou quase isso, e que não possui qualquer curvatura, declive ou depressão significativa (NRSC, 2020). No MDE, o fenótipo plano corresponde a 10,9% da área da BH. Comparando a base de maior resolução espacial, MDE, as áreas planas foram subestimadas em todos os MDSs (**Figura 5**).

Cumes são geralmente superfícies estáveis, planas, com quantidades mínimas de erosão ou acreção (NRSC, 2020). Por isso, conforme King (1957), eles são comumente dominados por intemperismo químico (clima úmido). As exceções ocorrem quando o cume é estreito e os solos pouco permeáveis, o que favorece o escoamento superficial. Comparado aos Geomorphons derivados do MDE, a área de cumes foi superestimada em todos os MDSs.

A linha de crista equivale a uma cumeada elevada, morfologicamente conspícua e com gradiente topográfico forte (SIGEP, 2022). O padrão de contorno alongado e estreito de terras altas não é diferente daquele de um planalto, no entanto, é muito mais estreito que um planalto. No MDE, essa feição está presente em 1,7% da BH (**Figura 5**). Comparado aos Geomorphons derivados do MDE, a área de cristas foi superestimada em todos os MDSs.

Figura 5: Quantificação das classes de Geomorphons derivadas das diferentes bases de dados



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

No fenótipo ombro, a convexidade da encosta é máxima e o escoamento superficial e a erosão são processos dominantes (PENNOCK, 2003). No MDE, ombros correspondem a 12,5% da área da BH. Nas demais bases de dados analisadas, a área foi subestimada (**Figura 5**).

Esporas correspondem a uma elevação topográfica alongada que se projeta em ângulo forte, como contraforte da linha de cumeada principal ou mais elevada topograficamente (SIGEP, 2022), ou seja, é uma projeção de terras altas em baixa e, frequentemente, separa um vale do outro. O padrão de contorno é em forma de V, como o de um vale. A área mapeada deste fenótipo para a base aerolevantamento é de 8,0%, nas demais bases a área deste fenótipo foi superestimada (**Figura 5**).

Encostas representam setores comumente retos, ou seja, nem convexos nem côncavos, posicionando-se entre as áreas dominadas por erosão (acima) e as áreas de sedimentação (abaixo) (RUHE, 1975). A área ocupada por este fenótipo de relevo é de 53,0% no MDE. Em comparação ao MDE, os MDSs subestimaram a área de encostas (**Figura 5**). O impacto da escala espacial na distribuição das encostas e as implicações na modelagem geomórfica foi mostrado por Zhang e Montgomery (1994), em trabalho desenvolvido em duas pequenas bacias hidrográficas no oeste dos Estados Unidos.

As concavidades no terreno correspondem às linhas de fluxo superficial onde as encostas convergem (KIRKBY; CHORLEY, 1967; DUNNE; BLACK, 1970). Considerando os dados derivados do MDE, 3,35% da área da BH corresponde a concavidades. Em comparação à base de maior escala cartográfica e espacial, o fenótipo concavidade foi superestimado nas demais bases altimétricas (**Figura 5**).

Sopé corresponde ao compartimento da vertente que forma a superfície côncava na base de uma encosta. É uma zona de transição entre locais de erosão e transporte em declive (ombro, encosta) e locais de deposição (planícies aluviais). No MDE, a área deste fenótipo é de 8,7%. Em comparação ao MDE, nas bases Aster GDEM e Alos Palsar a área foi subestimada. Já na base SRTM 30, SRTM 90 e Topodata, a área desta classe foi superestimada (**Figura 5**) e ocupa 10,4%, 14,7% e 12,3% da BH, respectivamente.

Vales são áreas de baixa altitude que penetram nas regiões mais altas (STRAUMANN; PURVES, 2008). Eles são facilmente reconhecidos por seus contornos em forma de V e pela presença de córregos ou rios. Com poucas exceções, os vales formam-se e evoluem em reação à erosão pela água corrente, embora outros processos, especialmente dispersão de massa, contribuam (WICANDER; MONROE, 2017). Em comparação ao MDE, a área do fenótipo vale foi superestimada em todos os MDSs (**Figura 5**). Isso resulta da diminuição da resolução de pixel, que atenua o relevo e reduz a declividade, que, por sua vez, afeta a área de contribuição específica à montante. Grohmann (2015) também constatou a intensificação da densidade de cumes e vales conforme a resolução espacial diminui.

Depressões referem-se a qualquer parte relativamente baixa do relevo, cercada por terrenos mais altos. Uma depressão fechada não tem saída natural para os fluxos superficiais, enquanto uma aberta tem uma saída natural para a drenagem superficial (NRCS, 2020). Essa característica de relevo é a que ocupa menor área na BH (**Figura 5**) e seria a característica de relevo mais impactada se utilizado MDEs e MDSs com as depressões preenchidas (Fill).

Os resultados obtidos mostram que a resolução espacial afeta as características do terreno derivadas de MDSs e MDEs. A suavização e perda de características de relevo devido à diminuição da resolução espacial já foi comprovada por inúmeros autores, dentre eles Florinsky (1998) e Kienzle (2004). Esses autores relataram que variáveis topográficas, como declividade, perfil e plano de curvatura e aspecto, não são representadas de forma realista quando derivados de modelos altimétricos de baixa resolução espacial.

Considerando os dados SRTM (resolução de aquisição 30 m) e reamostragens (SRTM 90 e reamostragem da reamostragem, Topodata 30 – Valeriano e Rosseti, 2010), houve suavização do terreno que resultou em superestimação e subestimação de fenótipos de relevo (**Figura 5**). O aumento do tamanho de pixel de 30 para 90 m (SRTM 30 m para SRTM 90 m) e a redução de 90 m para 30 m (Topodata) mostra que o declive é sensível à resolução da grade e, à medida que o tamanho do pixel aumenta, as características geomórficas do terreno são suavizadas ou perdidas, comprovando que a reamostragem potencialmente introduz erros de interpolação que são propagados nos atributos do terreno derivados.

As **Figuras 4 e 5** também mostram que a resolução espacial está associada à acurácia da elevação, pois os MDSs e MDE foram gerados por métodos diferentes - sensoriamento remoto orbital (radar e ótico) e sensoriamento remoto aéreo (fotografias). Em resoluções grosseiras, a análise digital do terreno não é capaz de detectar métricas do terreno, pois os processos ocorrem em certas escalas de fenômenos. O impacto dos métodos de aquisição de dados altimétricos, da resolução espacial, dos interpoladores, dos algoritmos, da reamostragem *etc*. vêm sendo demonstrados há décadas por inúmeros pesquisadores, mas, conforme Wood (1999, p. 03), "[…] *we ignore scale-dependency at our peril*".

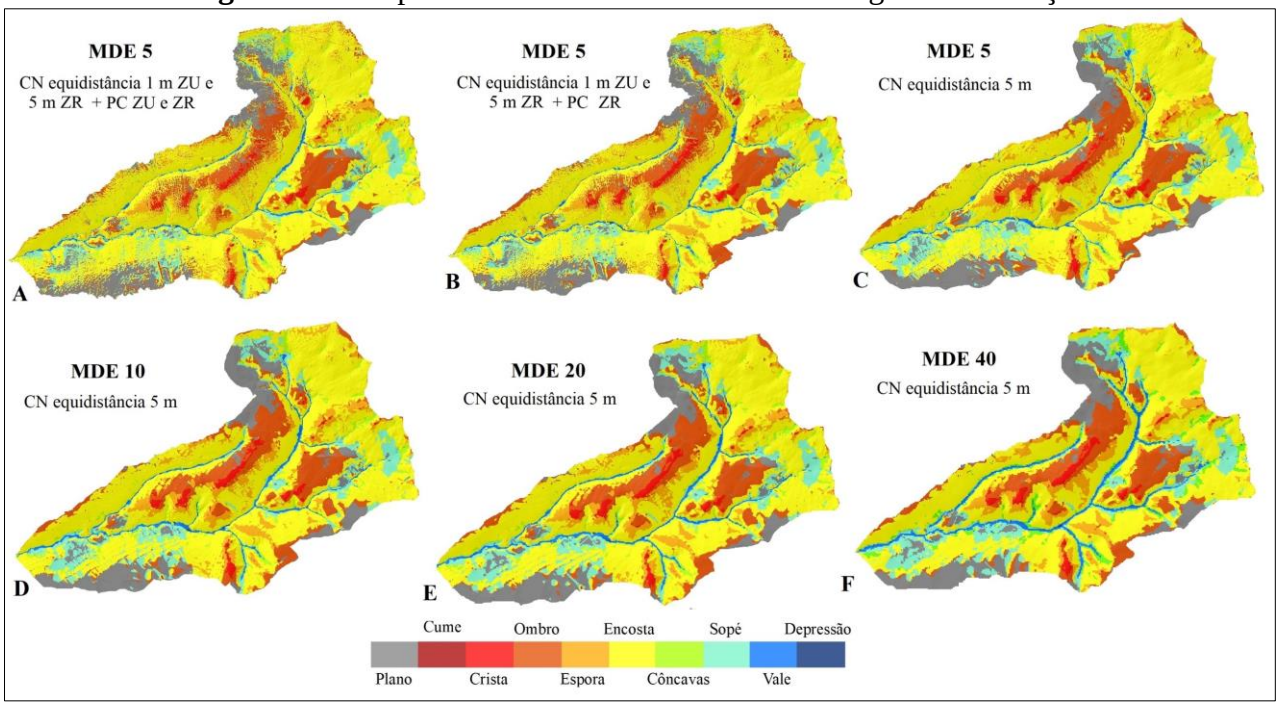
Os dados de grande escala interpolados utilizando todas as informações do aerolevantamento – curvas de nível intermediárias e mestras e pontos cotados – apresentaram ruído para perímetro urbano (**Figura 6A**), pois em resoluções espaciais mais finas, os atributos do terreno contêm um excesso de detalhes que geram ruído (CAVAZZI *et al.*, 2013; TAROLLI, 2014). No intuito de mostrar o impacto da escala de mapeamento e resolução espacial nos atributos topográficos derivados, foram interpolados seis MDEs, com diferentes resoluções de pixel, utilizando a base altimétrica do aerolevantamento (**Figura 2A**): a primeira (**Figura 6A**) utilizando as curvas de nível com 1 m de equidistância da ZU e 5 m na ZR e, os pontos cotados da ZR e ZU, com resolução espacial de 5 m (MDE 5 (CN equidistância 5 e 1 m + PC ZU e ZR)); a segunda (**Figura 6B**) utilizando as curvas de nível com um metro de equidistância da ZU e cinco metros na ZR, sem os pontos cotados da ZU e com resolução espacial de 5 m (MDE 5 (CN equidistância 5 e 1 m + PC ZR)); a terceira (**Figura 6C**) somente as curvas de nível com 5 m de equidistância e resolução espacial de 5 m (MDE 5 (CN equidistância 5 m)); a quarta, quinta e sexta (**Figuras 6DEF**), somente as curvas de nível com 5 m de equidistância e resoluções espaciais de 10, 20 e 40 m, respectivamente. As etapas apresentadas na Figura 3 foram seguidas para extrair os limites da BH e Geomorphons.

Nas **Figuras 6AB,** observa-se o ruído da microtopografia. Na **Figura 6C**, cujo MDE foi gerado somente com as curvas mestras para o perímetro urbano, o ruído da microtopografia diminuiu. As **Figuras 6DEF**, visualmente, não apresentaram diferenças. Esses resultados demonstram que as características do relevo são sensíveis à resolução espacial e, à medida que o tamanho do pixel aumenta (diminui a resolução espacial), as características geomórficas do terreno são suavizadas ou eliminadas.

A partir da quantificação da área para cada Geomorphon, os fenótipos cumes e depressões foram os que apresentaram menor representação em área na BH (< 0,1%), como mostra a **Figura 7**; o fenótipo crista apresentou pequena diferença; os fenótipos espora, côncava e encosta apresentaram tendência de decréscimo, sendo a maior proporção em área o fenótipo encosta; os fenótipos plano, ombro, sopé e vale apresentaram aumento na área à medida que a resolução espacial diminuía. No MDE 40, os Geomorphons crista e espora não apresentaram variação em relação ao MDE 20. Após exibir um comportamento de aumento em sua área, o fenótipo plano apresentou uma discreta, porém perceptível diminuição, enquanto o fenótipo côncavo, que anteriormente apresentava uma tendência de diminuição, experimentou um pequeno aumento. Os demais fenótipos de relevo mantiveram a tendência observada em outras resoluções. Esses resultados mostram que, mesmo em bases cartográficas de grande escala, a resolução

espacial do MDE afeta as características do terreno derivadas. A suavização e perda de características topográficas à medida que aumenta o tamanho do pixel foi relatada por Zhang e Montgomery em 1994. A quantificação (%) dos Geomorphons é apresentada na **Figura 7**.

Figura 6: Fenótipos de relevo derivados de modelos digitais de elevação



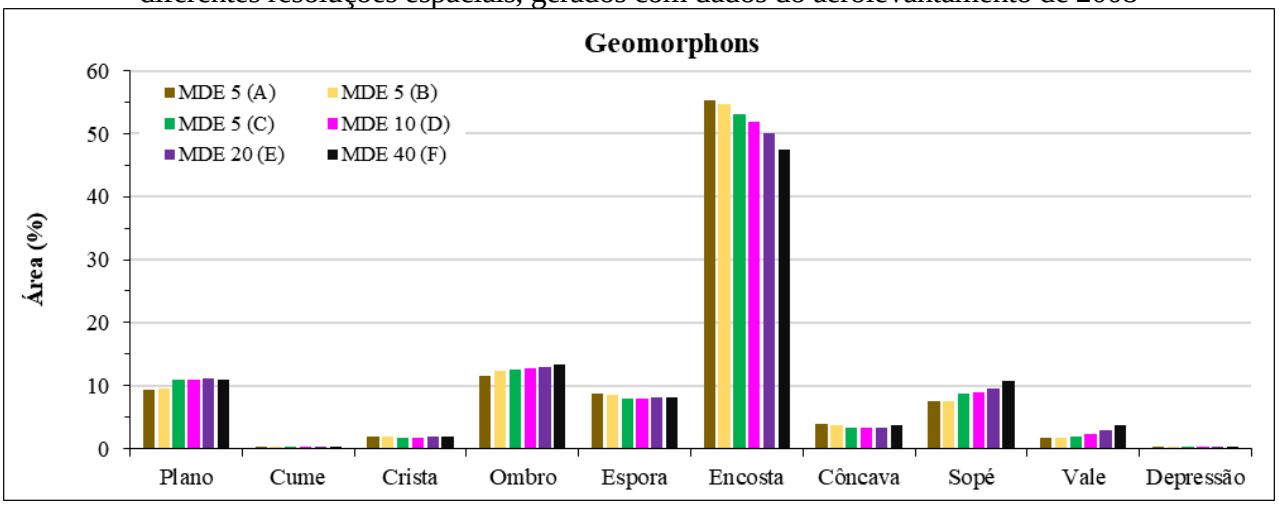
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Sobre o ruído da microtopografia mostrado nas **Figuras 6AB**, conforme Cavazzi *et al.* (2013) e Atkinson; Clercq e Rozanov (2020), eles são inerentes em MDEs gerados com dados altimétricos de grande escala cartográfica. Para Wechsler (2007), uma maior resolução espacial não é necessariamente melhor quando se trata do cálculo de parâmetros topográficos e contribui para a propagação de erros. Isso já havia sido relatado por Zhang e Montgomery (1994), que, avaliando o efeito da resolução espacial de MDEs (2, 4 10, 30 e 90 m interpolados a partir de curvas de nível na escala 1:4.800) na representação da paisagem, observaram que o MDE de 10 m fornece uma melhora significativa em relação aos MDEs de 30 e 90 m, e que tamanhos de grade mais finos (2 e 4 m) fornecem relativamente pouca informação adicional.

Em resumo, a resolução espacial do MDE é um fator crítico que afeta a capacidade de identificar diferentes formas de relevo. Para análises mais precisas e confiáveis, é importante escolher a resolução espacial adequada ao tipo de análise ou modelagem que se deseja realizar. Ainda, a seleção de uma resolução espacial apropriada depende das características da área de estudo, como complexidade topográfica, natureza da análise, e dos recursos financeiros disponíveis para adquirir dados de grande escala cartográfica (WECHSLER, 2007).

Em municípios que não dispõem de bases altimétricas de grande escala, trabalha-se com o que se tem disponível gratuitamente, sem ignorar as limitações e erros inerentes (exemplo SRTM, Aster GDEM, Alos Palsar, dentre outros). No caso de Campo Grande/MS, o município possui dados altimétricos nas escalas 1:1.000 (2013) e 1:2.000 (2008) do perímetro urbano e 1:10.000 (2008) da zona rural. Assim, recomenda-se, aos planejadores e gestores do município e pesquisadores que utilizam parâmetros topográficos, a utilização dos dados dos aerolevantamentos de 2008 e 2013, pois, além de terem custado milhões aos cofres públicos, em MDEs gerados com dados de grande escala cartográfica, os erros de estimativa dos atributos topográficos diminuem e aumenta a confiança nos produtos derivados.

Figura 7: Quantificação das classes de Geomorphons derivadas dos modelos digitais de elevação, de diferentes resoluções espaciais, gerados com dados do aerolevantamento de 2008



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os resultados aqui apresentados mostram que o algoritmo Geomorphons é uma ferramenta promissora para a classificação automatizada do relevo. Contudo, diminuindo a escala geográfica de análise, o trabalho desenvolvido por Amorim e Capoane (2022) no município de Campo Grande/MS, mostrou que a ferramenta Geomorphons não classificou adequadamente as planícies aluviais, sendo necessário aperfeiçoá-la.

4. CONCLUSÕES

No presente trabalho, a ferramenta Geomorphons foi utilizada para investigar o efeito da resolução espacial de MDSs (radar e óptico) e MDE nos fenótipos de relevo derivados. Os resultados mostram que, em resoluções espaciais menores, muitas feições do terreno são generalizadas, não identificadas ou eliminadas. Os fenótipos de relevo derivados do MDE gerado com dados de grande escala cartográfica e espacial permitiu uma discretização mais realista dos fenótipos de relevo presentes na BH do córrego Lajeado. Os resultados também mostram que a reamostragem (interpolação) de MDSs (SRTM 30 para SRTM 90 e SRTM 90 para Topodata 30) potencialmente introduz erros de interpolação que são propagados nos atributos do terreno derivados.

Nos MDEs gerados com dados altimétricos de grande escala cartográfica, com diferentes escalas espaciais, observou-se o ruído da microtopografia no perímetro urbano (escala 1:2.000), o que mostra que uma resolução espacial maior, gerada com dados de grande escala, não é necessariamente melhor. Utilizando somente as curvas mestras para o perímetro urbano (escala 1:10.000), os fenótipos derivados apresentaram uma melhora substancial em relação aos derivados dos MDEs de cinco metros em que foram utilizados na interpolação as curvas intermediárias de um metro e pontos cotados (escala 1:2.000). Os fenótipos de relevo derivados dos MDEs de 10, 20 e 40 m suavizaram ou eliminaram características do terreno. Esses resultados mostram que, para paisagens urbanizadas, mapeamentos na escala cartográfica 1:10.000 e escala espacial de 5 m possibilitam uma classificação mais realista dos fenótipos de relevo.

REFERÊNCIAS

ALBANI, M.; KLINKENBERG, B.; ANDISON, D. W.; KIMMINS, J. P. The choice of window size in approximating topographic surfaces from digital elevation models. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 18, n. 6, p. 577-593, 2004. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104191.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014. https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507.

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, p. 750-766, 2022. https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.2.p750-766.

ASF. Alaska Satellite Facility. **ALOS PALSAR**. Disponível em: https://search.asf.alaska.edu/#/. Acesso em: 19 agos. 2021.

ATKINSON, J.; CLERCQ, W.; ROZANOV, A. Multi-resolution soil-landscape characterisation in KwaZulu Natal: using geomorphons to classify local soil scapes for improved digital geomorphological modelling. **Geoderma Regional**, [S.L.], v. 22, e00291, 2020. https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00291.

BLASZCZYNSKI, J. S. Landform characterization with geographic information systems. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 63, n. 2, p. 183-191, 1997.

CAMPO GRANDE. Extrato do contrato n. 20, celebrado em 7 de março de 2013. **Diário Oficial de Campo Grande DIOGRANDE** n. 3.735. Campo Grande, MS, 01 abr. 2001.

CAMPO GRANDE. Decreto n. 8.265, de 27 de julho de 2001. **Diário Oficial de Campo Grande DIOGRANDE**. Campo Grande, MS, 30 jul. 2001.

CAPOANE, V. Sensibilidade geomorfométrica da drenagem e da superfície do terreno à fonte e à resolução espacial de modelos digitais de superfície e elevação. **Geotextos** (online), v. 18, n. 1, p. 163-192, 2022. https://doi.org/10.9771/geo.v18i1.48267.

CARRARA, A.; CARDINALI, M.; DETTI, R.; GUZZETTI, F.; PASQUI, V.; REICHENBACH, P. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. **Earth Surface Processes and Landforms,** [S.L.], v. 16, n. 5, p. 427-445, ago. 1991. Wiley. http://dx.doi.org/10.1002/esp.3290160505.

CAVAZZI, S.; CORSTANJE, R.; MAYR, T.; HANNAM, J.; FEALY, R. Are fine resolution digital elevation models always the best choice in digital soil mapping? **Geoderma**, [S.L.], v. 195-196, p. 111-121, mar. 2013. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.11.020.

CGIAR. Consortium for Spatial Information. SRTM 90 m Digital Elevation Database v. 4.1. Disponível: http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/. Acesso: 20 fev. 2020.

CHORLEY, R. J. 1-spatial analysis in geomorphology. In: Chorley, R. J. (Ed). **Spatial analysis in geomorphology.** New York: Harper and Row Publishers, 1972. p. 3-16.

CHUDÝ, F.; SLÁMOVÁ, M.; TOMAŁTÍK, J.; PROKEŁOVÁ, R.; MOKROŁ, M. Identification of Micro-Scale Landforms of Landslides Using Precise Digital Elevation Models. **Geosciences**, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 117, 7 mar. 2019. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/geosciences9030117.

CONACHER, A. J.; DALRYMPLE, J. B. Land surface mapping. **Geoderma**, [S.L.], v. 18, p. 111-115, 1997.

DSI. Divisão de Sensoriamento Remoto - INPE. 2008. **Topodata**: Projeto de dados geomorfométricos do Brasil. Disponível: http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php. Acesso em: fev. 2020.

DUNNE, T.; BLACK, R. D. Partial Area Contributions to Storm Runoff in a Small New England Watershed. **Water Resources Research**, [S.L.], v. 6, n. 5, p. 1296-1311, out. 1970. American Geophysical Union (AGU). http://dx.doi.org/10.1029/wr006i005p01296.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS Desktop**: Release10.8.2®. 2022. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

EVANS, I. S. Chapter 2-general geomorphometry, derivatives of altitude and descriptive statistics. In: CHORLEY, R. J. (Ed). **Spatial analysis in geomorphology**. New York: Harper and Row, Publishers, 1972, p. 17-90.

FLORINSKY, I. V. Accuracy of local topographic variables derived from digital elevation models. **International Journal of Geographical Information Science**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 47-62, jan. 1998. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.1080/136588198242003.

FLORINSKY, I.; EILERS, R. G; MANNING, G. R; FULLER, L. G. Prediction of soil properties by digital terrain modelling. **Environmental Modelling & Software**, [S.L.], v. 17, n. 3, p. 295-311, jan. 2002. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/s1364-8152(01)00067-6.

FRANKLIN, J.; MCCULLOUGH, P.; GRAY, C. Terrain variables used for predictive mapping of vegetation communities in Southern California. In: WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. (Eds.). **Terrain analysis**: Principles and applications. New York, NY: Wiley, 2000. p. 331-354.

GARCIA, P. M. B.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; CASAGRANDE, P. B. Geomorphological index as support to urban planning. Mercator, [S.L.], v. 19, n. 1, p. 1-24, 15 jan. 2020. **Mercator** - Revista de Geografia da UFC. http://dx.doi.org/10.4215/rm2020.e19003.

GROHMANN, C. H. Effects of spatial resolution on slope and aspect derivation for regional-scale analysis. **Computers & Geosciences**, [S.L.], v. 77, p. 111-117, abr. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2015.02.003.

GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

HANCOCK, G. R.; WILLGOOSE, G. R.; EVANS, K. G. Testing of the Siberia landscape evolution model using the Tin Camp Creek, Northern Territory, Australia, field catchment. **Earth Surface Processes and Landform**s, [S.L.], v.27, n.2, p.125-143, 2002.

HIRT, C. Artefact detection in global Digital Elevation Models (DEMs): the maximum slope approach and its application for complete screening of the SRTM v4.1 and MERIT DEMs. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 207, p. 27-41, 2018. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.12.037.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, [S.L.], v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945. https://doi.org/10.1130/0016- 7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2.

HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, [S.L.], v. 106, n. 3-4, p. 211-232, abr. 1989. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(89)90073-5.

HUTCHINSON, M. F.; XU, T.; STEIN, J. A. Recent progress in the anudem elevation gridding procedure. **Geomorphometry**, [S.L.], p. 19-22, 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Bases cartográficas contínuas – Brasil**, 2021. Disponível em: Index of / (ibge.gov.br).

IWAHASHI, J. *et al.* Global terrain classification using 280 m DEMs: segmentation, clustering, and reclassification. **Progress in Earth and Planetary Science**, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 1-32, 2018.

IWAHASHI, J.; PIKE, R. J. Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature. **Geomorphology**, [S.L.], v. 86, n. 3-4, p. 409-440, maio 2007. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.09.012.

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Geomorphons — a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. **Geomorphology**, [S.L.], v. 182, p. 147-156, jan. 2013. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.11.005.

JOLY, F. A. **A cartografia**. Campinas: Papirus, 1990.

KIENZLE, S. The Effect of DEM Raster Resolution on First Order, Second Order and Compound Terrain Derivatives. **Transactions in Gis**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 83-111, 10 dez. 2003. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9671.2004.00169.x.

KING, L. C. The uniformitarian nature of hillslopes. **Transactions of the Edinburgh Geological Society,** v. 17, p. 81-102, 1957.

KIRKBY, M. J.; CHORLEY, R. J. Throughflow, overland flow and erosion. **International Association of Scientific Hydrology. Bulletin**, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 5-21, set. 1967. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.1080/02626667709493533.

KÜHNI, A.; PFIFFNER, O. A. The relief of the Swiss Alps and adjacent areas and its relation to lithology and structure: topographic analysis from a 250-m dem. **Geomorphology**, [S.L.], v. 41, n. 4, p. 285-307, dez. 2001. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/s0169-555x(01)00060-5.

KUMAR, S.; DEB, P.; DIWAKAR, A. K. Terrain evaluation and landform classification to assess landscape ecology of Bacchanshiv Gad, Garhwal Himalayan region. **Indian Cartographer**, v. 37, p. 333-346, 2017.

LIN, S.; CHEN, N.; HE, Z. Automatic Landform Recognition from the Perspective of Watershed Spatial Structure Based on Digital Elevation Models. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 13, n. 19, p. 3926, 30 set. 2021. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/rs13193926.

MACMILLAN, R. A.; PETTAPIECE, W. W.; NOLAN, S. C.; GODDARD, T. W. A generic procedure for automatically segmenting landforms into landform elements using DEMs, heuristic rules and fuzzy logic. **Fuzzy Sets and Systems**, [S.L.], v. 113, n. 1, p. 81-109, jul. 2000. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/s0165-0114(99)00014-7.

MACMILLAN, R.A.; SHARY, P. A. Chapter 9 Landforms and Landform Elements in Geomorphometry. **Developments in Soil Science**, [S.L.], p. 227-254, 2009. Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/s0166-2481(08)00009-3.

MILLER, Bradley A. Semantic calibration of digital terrain analysis scale. **Cartography and Geographic Information Science,** [S.L.], v. 41, n. 2, p. 166-176, 13 fev. 2014. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.1080/15230406.2014.883488.

MOKARRAM, M.; SATHYAMOORTHY, D. A review of landform classification methods. **Spatial Information Research**, [S.L.], v. 26, n. 6, p.647-660, 2018. https://doi.org/10.1007/s41324-018-0209-8.

MORE. **Mecanismo online para referências, versão 2.0**. Florianópolis: UFSC: Rexlab, 2013. Disponível em: http://www.more.ufsc.br/. Acesso em: 23 jul. 2022.

NRCS. Natural Resources Conservation Service. **Glossary of landform and geologic terms**. 2020. Disponível em: https://www.nrcs.usda.gov/wps/PA_NRCSConsumption/download?cid=nrcs142p2_053182&ext=pdf. Acesso: 16 jun. 2020.

PENNOCK, D. J. Terrain attributes, landform segmentation, and soil redistribution. **Soil and Tillage Research**, [S.L.], v. 69, n. 1-2, p. 15-26, fev. 2003. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/s0167-1987(02)00125-3.

PONTES, C.; BOSZCZOWSKI, R.; ERCOLIN FILHO, L. Geological-geotechnical risk mapping of gravitational mass movements in an urban area in Colombo, Brazil. **Soils and Rocks**, [S.L.], v. 44, n. 4, p. 1-11, 15 nov. 2021. ABMS - Brazilian Association for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. http://dx.doi.org/10.28927/sr.2021.070721.

RUHE, R. V. Climatic geomorphology and fully developed slopes. **Catena**, [S.L.], v. 2, p. 309-320, jan. 1975. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/s0341-8162(75)80019-1.

SCHMIDT, J., HEWITT, A. Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position. **Geoderma**, [S.L.], v. 121, n. 3–4, p. 243-256, ago. 2004. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.10.008.

SEMADUR. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano. **Arquivos Vetoriais do Município de Campo Grande – MS**. 2020. Disponível: http://portal.capital.ms.gov.br/semadur/canaisTexto?id_can=5951. Acesso: 23 jan. 2020.

SIGEP. 2022. **Glossário Geológico Dinâmico Ilustrado**. Disponível em: http://sigep.cprm.gov.br/glossario/. Acesso em: 30 jan. 2022.

SILVA, S. H. G.; MENEZES, M. D. de; MELLO, C. R. de; GÓES, H. T. P.de; OWENS, P. R.; CURI, N. Geomorphometric tool associated with soil types and properties spatial variability at watersheds under tropical conditions. **Scientia Agricola**, [S.L.], v. 73, n. 4, p. 363-370, ago. 2016. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0293.

STEPINSKI, T. F.; JASIEWICZ, J. Geomorphons - a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. In: HENGL, T.; EVANS, I. S.; WILSON, J. P.; GOULD, M. (Eds.). **Proceedings of Geomorphometry**, 2011, p. 109-112.

STETLER, L. D. Geomorphology. **Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences**, p. 1-10, 2014.

STRAHLER, A. N. Quantitative slope analysis. **Geological Society of America Bulletin**, [S.L.], v. 67, n. 5, p. 571-596, 1956. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[571:QSA]2.0.CO;2.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions, American Geophysical Union**, [S.L.], v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957. https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913.

STRAUMANN, R. K.; PURVES, R. S. Delineation of valleys and valley floors. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOGRAPHIC INFORMATION SCIENCE, GIScience 2008: Geographic Information Science, 2008, **Annals […]**, p. 320-336.

TAROLLI, P. High-resolution topography for understanding Earth surface processes: opportunities and challenges. **Geomorphology**, [S.L.], v. 216, p. 295-312, jul. 2014. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.03.008.

TROEH, F. R. Landform equations fitted to contour maps. **American Journal of Science**, [S.L.], v. 263, n. 7, p. 616-627, 1 set. 1965. American Journal of Science (AJS). http://dx.doi.org/10.2475/ajs.263.7.616.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. **Topodata**: Seleção de coeficientes geoestatísticos para refinamento unificado de dados SRTM. INPE16701-RPQ/853. São José dos Campos: INPE, 2010.

VAN ASSELEN, S.; SEIJMONSBERGEN, A. C. Expert-driven semi-automated geomorphological mapping for a mountainous area using a laser DTM. **Geomorphology**, [S.L.], v. 78, n. 3-4, p. 309-320, ago. 2006. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.01.037.

WECHSLER, S. P. Uncertainties associated with digital elevation models for hydrologic applications: a review. **Hydrology and Earth System Sciences**, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 1481-1500, 3 ago. 2007. Copernicus GmbH. http://dx.doi.org/10.5194/hess-11-1481-2007.

WHEATON, J. M.; FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G.; BANGEN, S. G.; BOUWES, N.; O'BRIEN, G. Geomorphic mapping and taxonomy of fluvial landforms. **Geomorphology**, [S.L.], v. 248, p. 273-295, nov. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.07.010.

WICANDER, R.; MONROE, J. S. **Geologia**. 2. ed. São Paulo, SP: Cengage Learning, 2017.

WOOD, J. Visualization of scale dependencies in surface models. *In*: INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC ASSOCIATION ANNUAL CONFERENCE, Ottawa, 1999, **Annals […]**, Disponível em: https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.506.6527&rep=rep1&type=pdf. Acesso: 02/01/2022.

XIONG, L., ZHU, A.; ZHANG, L.; TANG, G. Drainage basin object-based method for regional-scale landform classification: a case study of loess area in China. **Physical Geography**, [S.L.], v. 39, p. 1-19, 2018. https://doi.org/10.1080/02723646.2018.1442062.

ZHANG, W.; MONTGOMERY, D. R. Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrologic simulations. **Water Resources Research**, [S.L.], v. 30, n. 4, p. 1019-1028, abr. 1994. American Geophysical Union (AGU). http://dx.doi.org/10.1029/93wr03553.

Informações sobre a Licença

Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.

License Information

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which allows for unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, as long as the original work is properly cited.