Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Implicações da resolução e fonte de modelos altimétricos na análise quantitativa de atributos geomorfométricos para a bacia hidrográfica do córrego Guariroba, Campo Grande, MS

Viviane Capoane¹

¹ Dr^a. em Geografia, Professora Adjunta, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária Campo Grande, Av. Dom Antônio Barbosa (MS-080), 4.155, CEP 79115-898, Campo Grande – MS. capoane@gmail.com

Artigo recebido em 02/02/2020 e aceito em 24/06/2020

RESUMO

O relevo é um dos principais fatores que controlam os processos que ocorrem na superfície terrestre. Dessa forma, a caracterização geomorfométrica é um elemento básico para o planejamento e gestão de bacias hidrográficas. O objetivo deste estudo foi investigar o impacto da resolução de Modelos Digitais de Superfície (MDSs) e elevação (MDE) na extração e quantificação de atributos geomorfométricos para a bacia hidrográfica do córrego Guariroba. Os dados base utilizados foram gerados por radar (Alos Palsar e SRTM) e técnicas aerofotogramétricas, com tamanhos de grade de 30, 12,5 e 5m. Os atributos geomorfométricos foram avaliados sob três perspectivas: rede de drenagem, geometria e características de relevo. A rede de drenagem é do tipo dendrítica; a hierarquia fluvial é de quinta ordem; a forma da bacia é menos alongada; o canal principal tende a ser retilíneo com alta influência da carga sedimentar; e a área possui baixo relevo e declives e é dissecada moderadamente. As bases de menor resolução espacial (MDS 30 e 12,5m) subestimaram as áreas planas (27,0 e 16,1%) e com relevo suave ondulado (4,4 e 29,2%); e superestimaram a área com relevo ondulado (34,9 e 70,9%) e com declive superior a 5% (29,3 e 77,0%), respectivamente. O modelo altimétrico que permitiu melhor delineamento dos atributos geomorfométricos foi o gerado a partir do levantamento aerofotogramétrico. Os resultados obtidos constituem um banco de dados de avaliação inicial para auxiliar o planejamento e o gerenciamento dos recursos solo e água nesta bacia hidrográfica.

Palavras-chave: Tamanho da grade, SIG, Conservação do solo e da água, Planejamento ambiental.

Implications of the resolution and source of altimetric models in the quantitative analysis of geomorphometric attributes for the Guariroba watershed, Campo Grande, MS

ABSTRACT

Relief is one of the main factors that control the processes that occur on the Earth's surface. Thus, geomorphometric characterization is a basic element for the planning and management of watersheds. The objective of this study was to investigate the impact of Digital Surface Models (DSMs) and Digital Elevation Model (DEM) resolution on the extraction and quantification of geomorphometric attributes for the Guariroba watershed. Elevation data base generated by radar (Alos Palsar and SRTM) and photogrammetry techniques with 30, 12.5 and 5m grid size, were used. The geomorphometric attributes were evaluated from three perspectives: drainage network, geometry, and relief characteristics. The drainage network is of the dendritic type; the river hierarchy, of fifth order; the shape of the basin, less elongated; the main channel, rectilinear with high influence of sedimentary load; and the area, dissected moderately with low relief and slopes. The grids with the lowest spatial resolution (DSM 30 and 12.5m) underestimated the flat areas (27.0 and 16.1%) and those with soft wavy relief (4.4 and 29.2%); and overestimated the areas with wavy relief (34.9 and 70.9%) and those with a slope of more than 5% (29.3 and 77.0%), respectively. The altimetric model which allowed a better determination of the geomorphometric attributes was generated from the aerophotogrammetric survey. The results constitute a baseline database to aid in planning and management of soil and water resources in this watershed.

Keywords: Grid size, GIS, Soil and water conservation, Environmental planning.

Introdução

A demanda por água, alimento e energia por uma população, que em 2050 poderá atingir 10 bilhões de pessoas (Dalin e Outhwaite, 2019), têm aumentado a pressão sobre os recursos naturais, principalmente solo e água. Dentre as atividades econômicas, a produção agrícola é a que mais degrada o ambiente devido ao uso generalizado da terra (30% da superfície livre de gelo) e de insumos como fertilizantes, pesticidas e irrigação (Kanianska, 2016; IICA, 2019) e, é a maior ameaça para a biodiversidade do planeta (Maxwell et al., 2016). Diante do atual cenário de degradação, minimizar os impactos ambientais causados pelo sistema alimentar, visando atender às demandas de populações em crescimento, têm sido uma alta prioridade em muitos países nas últimas décadas (Xie et al., 2020).

A comunidade científica reconhece que a bacia hidrográfica é a unidade mais apropriada para análise da paisagem, principalmente para o processo de tomada de decisão para planejamento e gerenciamento (Russo; Rashleigh e Ambrose, 2008; Wang et al., 2016; Katusiime e Schütt, 2020). No Brasil, a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão, deu-se a partir da instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos – Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997 (Brasil, 1997; Schussel e Nascimento Neto, 2015; Carvalho, 2020).

Um dos princípios básicos para o gerenciamento integrado e eficiente das bacias hidrográficas, bem como para definição das áreas prioritárias para implementação de medidas de conservação de solo e da água, é o entendimento completo de suas características físicas como: a configuração da rede de drenagem, localização dos divisores de água, comprimento do canal, relevo relativo, fator de forma, razão de circularidade, razão de bifurcação, densidade de drenagem, dentre outros (Farhan e Anaba, 2016). Assim, a análise morfométrica é um elemento básico para conservação dos recursos terrestres e aquáticos (Adhami e Sadeghi, 2016), especialmente nos países em desenvolvimento, onde informações quantitativas e recursos financeiros e humanos alocados para o gerenciamento integrado de bacias hidrográficas são escassos (Avinasha et al., 2011; da Silva et al., 2017), caso da maioria das bacias hidrográficas brasileiras.

A análise morfométrica é uma medida quantitativa da forma e dimensão da superfície terrestre (Clarke, 1996). Ela fornece uma descrição numérica do sistema de drenagem, que é um aspecto importante da caracterização do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas (Strahler, 1964) e, para o

desenvolvimento de medidas de conservação do solo e da água. A análise morfométrica foi introduzida por Horton (1932; 1945), para estudar a origem das redes fluviais.

Até a década de 1950, mapas topográficos e pesquisas de campo eram a principal fonte de informações quantitativas sobre topografia. Eles eram analisados usando técnicas convencionais (manuais) para calcular as variáveis, por exemplo, declividade e densidade de drenagem (Horton, 1945; Volkov, 1950; Strahler, 1957; Clarke, 1966). Em meados da década de 1950, surge um novo campo de pesquisa geomorfológica, a modelagem digital do terreno na fotogrametria (Miller e Leflamme, 1958). Modelos Digitais de Elevação (MDEs), que representam a topografia da superfície terrestre, tornaram-se a principal fonte de informação sobre a topografia (Moore; Grayson e Ladson, 1991; Burrough, 1986). Avanços subsequentes nas tecnologias da computação, aeroespacial e geofísica, foram responsáveis pela transição da morfometria convencional para a digital – geomorfometria (Evans, 1972; 1980; Burrough, 1986; Dikau, 1989; Gallant e Hutchinson, 2011). Dessa forma, a morfometria convencional evoluiu para a ciência da modelagem quantitativa e análise da superfície topográfica e das relações entre a topografia e outros componentes naturais e artificiais do geossistema.

O advento da tecnologia do Sistema de Informação Geográfica (SIG) tornou possível integrar, gerenciar e analisar informações espaciais (King, 1991). A ferramenta permitiu a derivação automatizada de dados topográficos de bacias hidrográficas a partir de MDEs de forma mais rápida, menos subjetiva fornecendo medições mais reproduzíveis do que as técnicas manuais tradicionais aplicadas a mapas topográficos.

As tecnologias para aquisição de dados de elevação por levantamentos topográficos / geodésicos realizados em campo, por métodos fotogramétricos aplicados sobre imagens provenientes de sensores terrestres, aerotransportados ou orbitais óticos e por dados de radar e / ou LiDAR (*Light Detection And Ranging*), também têm auxiliado significativamente na modelagem topográfica da superfície terrestre (Bühler et al., 2012; Uysal et al., 2015; Oliveira et al., 2017; Ghuffar, 2018).

Todos estes avanços possibilitaram uma crescente disponibilidade de MDEs de diferentes fontes e resoluções espaciais. Um ponto crucial a ser considerado na análise geomorfométrica é a resolução da grade do MDE, pois ela governa a escala das características topográficas extraídas (Thompson et al., 2001; Hu; Liu; Hu, 2009; Dragut

et al., 2009; Vaze et al., 2010; Buakhao e Kangrang, 2016; Žabota et al., 2019; Meena e Nachappa, 2019; Kariminejad et al., 2020; dentre outros).

Na cidade de Campo Grande, capital do estado de Mato Grosso do Sul, a captação de água para o abastecimento público é feita de mananciais superficiais e subterrâneos. Entre os mananciais superficiais, destaca-se a bacia hidrográfica do córrego Guariroba, responsável por aproximadamente 38% da água bruta que abastece a cidade. O Sistema Guariroba foi implantado entre 1982 e 1987 e, devido à perda significativa de vegetação nativa no período de construção do reservatório (Campo Grande, 2008), visando preservar a principal fonte de água para a cidade na época (~50%), em 1995, a partir do Decreto Municipal 7.183/95, foi criada a Área de Proteção Ambiental (APA) dos Mananciais do Córrego Guariroba (SEMADUR, 1995). Embora esta bacia hidrográfica seja de vital importância para a cidade, não há pesquisas publicadas sobre a caracterização

geomorfológica da APA. Diante disso, este trabalho teve como objetivo investigar o impacto da resolução de Modelos Digitais de Superfície (MDSs) e MDE na extração e quantificação de atributos geomorfológicos para a bacia hidrográfica do córrego Guariroba, visando demonstrar o efeito do tamanho da grade (30, 12,5 e 5m) nos atributos derivados, bem como gerar informações que subsidiem o planejamento e o gerenciamento dos recursos solo e água nesta bacia hidrográfica.

Material e Métodos

Área de Estudo

A bacia hidrográfica (BH) do Córrego Guariroba, sub bacia do Rio Pardo, possui aproximadamente 37 mil hectares e localiza-se integralmente na zona rural do município de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, a leste do perímetro urbano (Figura 1).

Figura 1. A) Mato Grosso do Sul com destaque para a bacia hidrográfica do Rio Pardo; B) Bacia hidrográfica do córrego Guariroba, área de estudo do presente trabalho.

O substrato litológico (Figura 2A) da área é composto por rochas sedimentares, Grupo Caiuá (74,8%); Cobertura Detrito-Laterítica Neogênica (23,8%) e; rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (1,4%) (Araújo et al., 1982). A classe de solo predominante na BH, conforme mapeamento do IBGE, é Neossolo Quartzarênico; em menores proporções ocorrem as classes Latossolo Vermelho Distrófico – Eutrófico – Distroférrico (Figura 2B). No contexto geomorfológico, a BH encontra-se no planalto de Campo Grande.

Os principais afluentes do córrego Guariroba são os córregos Rondinha, Tocos, Galho Quebrado, Desbarrancado, Açude e Saltinho (DSG, 2020). No contexto hidrográfico regional, o córrego Guariroba é

afluente do Ribeirão das Botas, que por sua vez é afluente do Rio Pardo, afluente do Rio Paraná.

O clima da região, conforme a classificação climática de Köppen (Alvares et al., 2013), é o monçônico (Am), com precipitação variando de 1.300 a 1.600 mm ano⁻¹ e temperatura média anual de 22–24°C. O período de chuvas concentra-se de outubro a março.

Conforme Oliveira et al. (2017), a vegetação da região encontra-se no bioma Cerrado, com a presença das fitofisionomias cerrado *stricto sensu*, cerradão, vereda, buritizal, formações ripárias e áreas de pastagens. Quanto aos aspectos econômicos, predomina a pecuária extensiva (Campo Grande,

2008) e, mais recentemente a inserção de monocultivos de eucalipto (Oliveira et al., 2017).

Figura 2. Litologia (A) e Solos (B) da bacia hidrográfica do Córrego Guariroba.

Fonte dos Dados e Delimitação da Bacia Hidrográfica

Foram utilizados dados altimétricos de diferentes fontes: imagens de radar - SRTM e Alos Palsar, e de um levantamento aerofotogramétrico (LA) do município de Campo Grande.

A imagem do radar SAR da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) utilizada foi a SRTM1S21W055V3 com data de aquisição 11/02/2000 e de publicação 23/09/2014. A resolução espacial da cena é de 30 metros, 1 arco segundo. A imagem foi obtida no repositório da *United States Geological Survey* (USGS, 2020).

Os dados de elevação na missão SRTM são os mais utilizados para a modelagem topográfica. Eles foram coletados pelo radar da banda C durante uma missão de 11 dias em fevereiro de 2000 (Farr et al., 2007). Os dados topográficos adquiridos cobrem mais de 80% da área emersa da Terra, entre 60° N e 56° S. Os resultados processados foram lançados pela primeira vez em junho de 2003, sendo o produto da missão inicialmente disponibilizado como SRTM-3 com uma resolução de 3 arcos-segundo (aproximadamente 90 m no equador). Em 2015, o governo dos Estados Unidos disponibilizou a versão SRTM-1 com uma resolução de 1 arco-segundo (aproximadamente 30m no equador). Como o MDE SRTM-1 está disponível para *download* gratuito, isso incentivou seu uso generalizado.

Embora os dados de elevação SRTM sejam os mais utilizados, eles contêm vários erros, cuja descrição pode ser encontrada em Rodriguez, Morris e Belz (2006). Uma característica importante é que as imagens não fornecem uma elevação "terra nua", as medições incluem um viés

Capoane, V;

positivo sistemático devido aos objetos acima do solo (como o dossel), a altura de que é incluída no modelo e, por sua vez, produz diferenças consideráveis na precisão entre áreas florestadas e abertas (Nelson et al., 2009). Para Moudry et al. (2018), isso é causado pela incapacidade do sinal do radar da banda C penetrar no dossel da vegetação e alcançar o solo descoberto. A maioria dos sinais de entrada são refletidos por vários dispersores na parte superior do dossel, por exemplo, folhas e galhos, com o tamanho semelhante ao comprimento de onda relativamente curto da banda C (5,6 cm). Consequentemente, segundo estes autores, os valores de elevação capturados pelo sensor estão localizados em algum lugar entre o solo e o topo do dossel (depende da estrutura da vegetação).

A imagem de radar do satélite Alos com múltipla polarização em amplitude, órbita ascendente 27219, ponto 6770, no modo de imageamento *fine beam single*: banda L, polarização HH e tamanho do pixel de 12,5 m, com data de aquisição de 03/05/2011, foi obtida no repositório da *Alaska Satellite Facility* (ASF, 2020). O satélite Alos foi lançado pela *Japan Aerospace Exploration Agency* em 24 de janeiro de 2006 e descreve uma órbita circular e heliossíncrona a 692 km de altitude, com um período de revisita de 46 dias. Conforme Igarashi (2001), o Palsar corresponde a um radar imageador de abertura sintética que opera com resoluções espaciais que variam entre 10 a 100 m e possui três modos de imageamento: fino, ScanSAR e polarimétrico.

Da mesma forma que outros modelos altimétricos globais disponíveis (SRTM, ASTER e

TANDEM-X), o do satélite Alos também está sujeito aos efeitos da vegetação (Nelson et al., 2009; Thomas et al., 2015). Diante disso, neste trabalho será utilizada a nomenclatura apropriada - Modelos Digitais de Superfície (MDS) para designar os modelos altimétricos derivados das imagens de radar.

As informações de altimetria do levantamento aerofotogramétrico do município de Campo Grande (curvas de nível e pontos cotados) foram obtidas junto a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano (SEMADUR, 2008). O levantamento foi realizado pela Empresa Base Aerofotogrametria e Projetos S.A, e entregue no ano de 2008 (autorização/ano 238/07 - Brasil, 2020). Na zona urbana, a equidistância entre as curvas de nível é de um metro e, na zona rural, cinco metros.

Para a geração dos MDSs, as imagens de radar SRTM e Alos Palsar foram reprojetadas para o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), posteriormente, a grade raster foi convertida para pontos. Para os dados obtidos junto a SEMADUR, foi necessário a checagem das cotas das curvas nível e remoção de *sinks* e *spires* no arquivo pontos cotados, pois em testes preliminares foram detectados inúmeros artefatos. Em ambiente do SIG os dados altimétricos das três bases foram interpolados utilizando a ferramenta de análise espacial *Interpolation*, método *topo to raster*. Este método, segundo Hutchinson (1989) e Hutchinson et al. (2011), resulta em melhor consistência hidrológica, criando uma superfície que representa mais de perto uma drenagem natural e preserva melhor as linhas de cume. Nos MDSs SRTM e AP, foram mantidas as resoluções de 30 e 12,5 metros. No MDE LA, a resolução escolhida foi a de cinco metros. Esta resolução corresponde a equidistância das curvas de nível para a zona rural do município. Uma vez obtidos os MDSs e MDE, em ambiente do SIG, foram extraídos automaticamente os divisores de água da BH.

Análises Geomorfométricas

Para quantificação dos atributos geomorfométricos os cálculos iniciais foram: a área da bacia hidrográfica (km²), juntamente com seu perímetro (km), elevação (m), comprimento axial da bacia (km) e comprimento da rede de drenagem (km). Essas informações são necessárias para as análises subsequentes (Tabela 1). Além desses atributos, o caminho mais longo do fluxo (do ponto de saída até a

nascente do canal principal), foram derivados dos MDSs SRTM, AP e MDE LA. Os parâmetros geomorfométricos derivados foram avaliados sob três aspectos: rede de drenagem, geometria da bacia hidrográfica e características do relevo (Tabela 1). Os cálculos são baseados em equações matemáticas apresentadas na Tabela 1.

Declividade

Além dos parâmetros descritos na Tabela 1, foi derivado o atributo topográfico primário declividade. Conforme Burrough (1986), a declividade é definida como um plano tangente a superfície, ou seja, corresponde à inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal, expresso como a mudança de elevação sobre certa distância. Para Strahler (1956), a inclinação é, talvez, o mais importante atributo da forma da superfície, pois declives e ângulos controlam a força gravitacional disponível para o trabalho geomórfico. A declividade influencia a razão de escoamento entre a água e o sedimento, controlando a energia despendida para a geração de fluxo (Zevenbergen e Thorne, 1987). Por isso é considerada um atributo essencial para a avaliação de áreas submetidas a processos erosivos. Por influenciar diretamente a velocidade do fluxo de água superficial e subsuperficial, isso reflete no teor da água do solo e no potencial dos processos erosivos e deposicionais (Needelman et al., 2004); nos teores de nutrientes do solo (Balkcom et al., 2005; Capoane et al., 2016); no teor de carbono no solo (Capoane, Santos e Kuplich, 2016); no rendimento das culturas (Kravchenko e Bullock, 2000), dentre outros. Os valores de declividade podem ser expressos em percentual (%) e / ou em graus (°).

Neste trabalho foram modeladas topograficamente as formas de relevo da bacia hidrográfica a partir de combinações de classe de declive, relevo e escoamento superficial, propostas por Lepsch et al. (1991), como mostra a Tabela 2.

Apresentação dos Resultados

Os resultados dos 19 atributos quantificados são apresentados na forma de tabelas. Para o atributo declividade, além da apresentação em tabela, os resultados são apresentados em mapas a fim de possibilitar a visualização da distribuição espacial de cada classe na bacia hidrográfica, bem como, ilustrar o efeito da resolução da grade na acurácia posicional.

Tabela 1. Métodos empregados para a determinação de 18 parâmetros geomorfométricos para a bacia hidrográfica do córrego Guariroba, Campo Grande, Mato Grosso do Sul.

Parâmetro geomorfométrico	Método	Referência
Rede de drenagem		
Ordem dos canais	Classificação hierárquica	Strahler (1964)
Comprimento total dos canais (L_t) (km)	$L_t = L_1 + L_2 + \dots + L_n$ <i>L_t corresponde a $\sum$ do comprimento de todos os canais</i>	Horton (1945)
Gradiente do canal principal (G_c)	$G_c = \frac{h_{\text{nascente}} - h_{\text{foz}}}{L_c}$ <i>h: altitude (m); L_c: comprimento do canal principal em km</i>	-
Densidade de drenagem (D_d)	$D_d = \frac{L_t}{A}$ <i>L_t: comprimento total de todos os canais (km); A: área de drenagem (km^2)</i>	Horton (1945)
Índice de Sinuosidade (I_s)	$I_s = \frac{L_c}{L_v}$ <i>L_c: comprimento do canal principal (km); L_v: comprimento vetorial do canal principal (km)</i>	Schumm (1963)
Geometria da bacia hidrográfica		
Comprimento axial (L_b) (km)	-	Horton (1932)
Área (A) (km^2)	-	-
Perímetro (P) (km)	-	-
Fator forma (F_f)	$F_f = \frac{A}{L_b^2}$ <i>A: área de drenagem (km^2); L_b: Comprimento axial da bacia (km)</i>	Horton (1932)
Razão de alongação (R_e)	$R_e = \left(\frac{2}{L_b}\right) \times \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0,5}$ <i>L_b: Comprimento axial da bacia (km); A: área de drenagem (km^2); π: 3,14159</i>	Schumm (1956)
Razão de circularidade (R_c)	$R_c = 4\pi \frac{A}{P^2}$ <i>π: 3,14159; A: área de drenagem (km^2); P: Perímetro (km)</i>	Miller (1953)
Coeficiente de compacidade (K_c)	$K_c = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}}$ <i>P: Perímetro (km); A: área de drenagem (km^2)</i>	Gravelius (1941)
Características do relevo		
Altura da foz da bacia ($Z_{\text{mín}}$) (m)	-	-
Altura máxima da bacia ($Z_{\text{máx}}$) (m)	-	-
Amplitude altimétrica (H) (m)	$H = Z_{\text{máx}} - Z_{\text{mín}}$ <i>Z: altitude (m)</i>	Strahler (1952)
Relação de relevo (R_h)	$R_h = \frac{H}{L_b}$ <i>H: amplitude (km); L_b: Comprimento axial da bacia (km)</i>	Schumm (1956)
Porcentagem de relevo relativo (R_{hp})	$R_{hp} = H \times \frac{100}{P}$ <i>H: amplitude (km); P: Perímetro (km)</i>	Melton (1957)
Índice de dissecação (D_{is})	$D_{is} = \frac{H}{Z_{\text{máx}}}$ <i>H: amplitude (m); Z: altitude (m)</i>	Gravelius (1941)

Tabela 2. Classes de declividade, relevo e escoamento superficial, propostas por Lepsch et al. (1991).

Declividade %	Forma do relevo	Escoamento superficial
0 - 2	Plano (terraços)	Muito lento ou lento
2 - 5	Suave ondulado (colinas)	Lento ou médio
5 - 10	Ondulado (morros e morrotes)	Médio ou rápido
10 - 15	Muito inclinado (morros e morrotes)	Rápido
15 - 45	Fortemente ondulado (morros e serras)	Muito rápido
45 - 100	Montanhoso (montanhas e serras)	Muito rápido
> 100	Escarpado (serras e escarpas)	Muito rápido

Resultados e discussão

A descrição quantitativa da rede de drenagem, geometria da bacia hidrográfica e características do relevo para a APA do Guariroba são apresentados e discutidos nas seções a seguir.

Rede de Drenagem

O padrão de drenagem da BH é dendrítico, que, conforme Twidale (2004), tende a se desenvolver em áreas onde o canal do rio segue a inclinação do terreno e a geologia tem uma resistência aproximadamente igual ao intemperismo e a erosão. A rede de drenagem foi melhor representada / capturada quando o valor do limiar na camada de acumulação de fluxo foi fixado em 2.000, 8.000 e 30.000 para os MDSs SRTM e AP e MDE LA, respectivamente. Os limiares foram definidos tendo como plano de fundo no ambiente do SIG, imagens de satélite de alta resolução espacial do *Google Satellite Imagery*. Conforme Ariza-Villaverde; Jiménez-Hornero e Gutiérrez de Ravé (2015) e Capoane e Silva (2020), a resolução espacial do MDS/MDE influencia o valor do limiar de acumulação de fluxo selecionado e a morfologia da rede extraída e, à medida que a resolução do MDS/MDE aumenta o valor do limiar de acumulação de fluxo também aumenta. O mesmo foi observado no presente trabalho.

Nas três bases analisadas, a ordem dos canais é quinta ordem. A hierarquia fluvial representa uma medida da extensão da ramificação do fluxo dentro de uma bacia hidrográfica. Segundo a hierarquia fluvial proposta por Strahler (1964), a ordem do canal aumenta quando canais de mesma ordem se cruzam. Sendo assim, os canais sem tributários são de primeira ordem, desde sua nascente até a confluência; a confluência de dois canais de primeira ordem criará um canal de segunda ordem; a confluência de dois canais de segunda ordem criará um canal de terceira ordem; e assim por sucessivamente.

O comprimento total dos segmentos de riachos (L_t) foi de 166,98, 199,48 e 227,65 km nas bases SRTM, AP e LA, respectivamente (Tabela 3), dos quais os riachos de primeira e segunda ordem constituem 78,1% na base SRTM, 74,2% na base AP e 71,5% na base LA. Ressalta-se que o L_t reflete a resolução dos MDS e MDE e do limiar escolhido para a extração da rede de drenagem.

O caminho de fluxo mais longo da BH foi de 29,9 km na base SRTM, 29,4 km na base AP e 31,6 km na base LA. O gradiente do canal principal foi de 4,19, 4,29 e 4,23 nas bases SRTM, AP e LA, respectivamente (Tabela 3), sendo mais íngreme na cabeceira de drenagem e suavizando à medida que se aproxima do exutório. A constituição geológica da BH influencia no relevo predominante suave

ondulado, assim, o gradiente de inclinação do canal principal demonstra que a área drenada por este sistema fluvial, naturalmente não sofre uma grande pressão pela erosão fluvial, denotando a grande importância dos processos erosivos nas encostas no modelado dos canais.

A densidade de drenagem definida por Horton (1945) estabelece uma relação entre o comprimento total dos canais e a área da BH. No cálculo, são considerados todos os rios, tanto os perenes quanto os temporários. Conforme Strahler (1964), a D_d está relacionada ao clima, tipo de rochas, relevo, capacidade de infiltração, cobertura vegetal e índice de intensidade do escoamento. Desde o trabalho clássico de Horton (1945), a densidade de drenagem tem sido amplamente aceita como um índice de caracterização da drenagem e tem sido um dos parâmetros mais comumente usados em estudos relacionados às características hidrológicas e geomorfológicas. Como esse índice relaciona o comprimento dos canais com a área, quanto maior a densidade de drenagem, menor a distância que o escoamento se desloca em direção a um canal e, menor o tempo necessário para o escoamento atingir um canal. Esse raciocínio sugeriu que as BHs com densidades de drenagem mais altas devem ter picos de inundação mais altos (por unidade de área). Na hidrossedimentologia a D_d desempenha um papel importante nos processos de escoamento superficial, influenciando a intensidade de inundações torrenciais, a concentração, a carga de sedimentos e o balanço hídrico. Na BH do córrego Guariroba os valores de D_d encontrados foram 0,45, 0,54 e 0,62 para as bases SRTM, AP e LA, respectivamente (Tabela 3).

Beltrame (1994) propôs uma classificação em quatro faixas para a densidade de drenagem: $< 0,5$ – baixa, 0,5 a 2 – mediana, 2 a 3,5 – alta e $> 3,5$ – muito alta. Nesta classificação a D_d na base SRTM é baixa, AP e LA mediana. Horton (1932) observou densidades de drenagem mais altas em áreas com maior precipitação e densidades muito baixas em BHs com grande permeabilidade. Strahler (1964), também observou que baixos valores de D_d ocorrem onde o relevo da BH é baixo, enquanto a alta D_d é favorecida onde o relevo da bacia é alto. Na BH do córrego Guariroba predominam Neossolos Quartzarênicos, que possuem permeabilidade alta, e o relevo é baixo, isso resulta em menores riscos de inundação.

Conforme Schumm (1963) a sinuosidade é a relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial do canal principal (nascente – foz). Ela expressa a velocidade de escoamento e, quanto maior a sinuosidade, maior será a dificuldade de se atingir o exutório, portanto, a velocidade de escoamento será menor. O canal principal da BH do

Guariroba possui um índice de sinuosidade de 1,16, 1,13 e 1,18, nas bases SRTM, AP e LA, respectivamente (Tabela 3), inferior ao valor crítico de 1,5 entre alta e baixa sinuosidade. De acordo com a classificação amplamente aprovada do sistema de

canais aluviais – quase reto ($I_s < 1,05$), pouco sinuoso ($1,05 \leq I_s < 1,25$), sinuoso ($1,25 \leq I_s < 1,5$), meândrico ($I_s > 1,5$) (Schumm, 1977) – o córrego Guarariroba é pouco sinuoso.

Tabela 3. Resultados dos 18 parâmetros geomorfométricos derivados dos Modelos Digitais de Superfície e Modelo Digital de Elevação para a bacia hidrográfica do córrego Guarariroba, Campo Grande, MS.

Parâmetro geomorfométrico	*SRTM	**AP	***LA
Rede de drenagem			
Ordem dos canais (O_c)	5 ^a	5 ^a	5 ^a
Comprimento dos canais (L_t) (km)	166,98	199,48	227,65
Gradiente dos canais (G_c)	4,19	4,29	4,23
Densidade de drenagem (D_d)	0,45	0,54	0,62
Índice de Sinuosidade (I_s)	1,16	1,13	1,18
Geometria da bacia hidrográfica			
Perímetro (P) (km)	146,22	162,59	129,99
Área (A) (km ²)	368,60	367,91	369,71
Comprimento axial da bacia (L_b) (km)	27,41	27,69	27,74
Fator forma (F_f)	0,49	0,48	0,48
Razão de alongação (R_e)	0,79	0,78	0,78
Razão de circularidade (R_c)	0,22	0,20	0,27
Coefficiente de compacidade (K_c)	2,15	2,23	1,91
Características do relevo			
Altura da foz da bacia ($Z_{\min}$) (m)	448,06	448,00	442,99
Altura máxima da bacia ($Z_{\max}$) (m)	666,16	668,00	659,03
Amplitude altimétrica (H) (m)	218,09	220,00	216,04
Relação de relevo (R_h)	0,0080	0,0079	0,0078
Porcentagem de relevo relativo (R_{hp})	0,149	0,145	0,166
Índice de dissecação (D_{is})	0,327	0,329	0,328

*SRTM: Shuttle Radar Topography Mission; **AP: Alos Palsar; ***LA: Levantamento Aerofotogramétrico.

Geometria da Bacia Hidrográfica

Uma característica geométrica importante de qualquer BH é a sua área, delimitada pelo divisor de água que liga os pontos mais altos de BHs vizinhas e se estende até a seção final do rio principal. Conforme Závioanu (1985), a área de uma bacia hidrográfica é o elemento geomorfométrico que determina, em relação às condições fisiográficas locais, a magnitude das trocas de matéria e energia com o ambiente. A área encontrada para a BH do córrego Guarariroba foi de 368,60, 367,91 e 369,71 km² nas bases SRTM, AP e Capoane, V;

LA, respectivamente (Tabela 3). Comparando o MDE de maior resolução espacial (5m) com os MDSs, a base SRTM subestimou a área da bacia hidrográfica em 0,3% e AP em 0,5%.

O perímetro de uma bacia hidrográfica é definido como a projeção horizontal de seu divisor de água e depende da área e da forma da bacia hidrográfica (Závioanu, 1985; e Moore; Grayson e Ladson (1991). Os valores encontrados do P foram: 146,22, 162,59 e 129,99 km nas bases SRTM, AP e LA, respectivamente (Tabela 3). Considerando o P

derivado do MDE LA, o MDS SRTM superestimou em 12,5% e a AP em 25,1%.

A forma de uma bacia hidrográfica é comumente caracterizada com um índice adimensional, expresso como a razão entre duas dimensões da bacia considerada (Sassolas-Serrayet; Cattin e Ferry, 2018). Ela é influenciada pela litologia, clima, relevo, tamanho dentre outros fatores, variando de formas alongadas a formas circulares ou semicirculares. Este atributo geomorfológico relaciona-se aos fluxos no rio e influência nas características e propriedades hidrológicas das bacias hidrográficas. No presente estudo, quatro parâmetros foram utilizados para a caracterização da forma da BH do córrego Guariroba: o fator de forma (F_f), razão de alongação (R_e), razão de circularidade (R_c) e coeficiente de compacidade (K_c).

O F_f é uma relação da área da BH com o quadrado do comprimento da bacia (Horton, 1932). Os valores encontrados para o F_f foram 0,49, 0,48 e 0,48 nas bases SRTM, AP e LA, respectivamente (Tabela 3). Estes valores indicam que a BH terá um pico de fluxo mais plano por mais tempo.

A R_c é a relação entre a área de uma bacia e a área de um círculo com a mesma circunferência que o perímetro da bacia hidrográfica (Miller, 1953). Os valores encontrados para a R_c foram 0,22, 0,20 e 0,27 nas bases SRTM, AP e LA (Tabela 3). Segundo Miller (1953), baixos valores de R_c , como os obtidos no presente trabalho, indicam estágio geomórfico jovem.

A R_e corresponde a razão entre o diâmetro de um círculo da mesma área que a bacia de drenagem e o comprimento máximo da BH (Schumm, 1956). O valor geralmente varia de 0,6 a 1,0 em uma ampla variedade de tipos climáticos e geológicos e, valores próximos a 1,0 são típicos de regiões de baixo relevo (Strahler, 1964). Schumm (1956) agrupou a R_e em cinco categorias: mais alongado ($< 0,5$), alongado (0,5–0,7), menos alongado (0,7–0,8), oval (0,8–0,9) e circular (0,9–1,0). Os valores encontrados para a R_e foram 0,790, 0,783 e 0,782 nas bases SRTM, AP e LA, respectivamente (Tabela 3). Esses valores mostram que a forma da BH do Guariroba é menos alongada, o que indica alta capacidade de infiltração e baixo escoamento.

O K_c de Gravelius é definido como a razão entre o perímetro da bacia hidrográfica e o de um círculo com a mesma área, ou seja, é a relação da forma da BH com um círculo. Quanto mais irregular a BH, maior o K_c , e quanto mais o coeficiente se aproximar de 1,0, maior será a propensão a cheias (Villela e Mattos, 1975). Os valores de K_c encontrados para a BH do córrego Guariroba foram 2,15 e 2,23 nos MDSs SRTM, AP

e 1,91 no MDE LA (Tabela 3). Estes resultados indicam menor propensão a inundações.

Dentre os parâmetros de forma quantificados, o K_c foi o que apresentou a maior sensibilidade a resolução espacial dos MDSs e MDE. Conforme Sassolas-Serrayet; Cattin e Ferry (2018), o caráter fractal do perímetro da bacia faz com que o coeficiente de compacidade de Gravelius dependa da resolução do MDE. Para estes autores, essa característica fractal também implica em um K_c superestimado para bacias hidrográficas maiores, devido à presença de crenulação em pequena escala, como demonstrou o trabalho de Breyer e Snow (1992). No caso do presente trabalho, em que o K_c foi determinado para uma mesma BH, a superestimação deve-se ao tamanho da grade dos modelos altimétricos utilizados.

Características do Relevo

As altitudes máximas e mínimas no MDSs SRTM e AP apresentaram valores próximos: $Z_{\min}$ 448,06 e 448,00 e $Z_{\max}$ 666,16 e 668,00 m; no MDE LA o $Z_{\min}$ foi de 442,99 m e o $Z_{\max}$ de 659,03 m. As amplitudes foram de 218,09, 220,00 e 216,04 m nas bases SRTM, AP e LA, respectivamente (Tabela 3). A amplitude é a diferença vertical máxima entre o ponto mais baixo e o mais alto de uma bacia hidrográfica. Para Patton (1998), altos valores de relevo máximo indicam poder de fluxo alto, baixa infiltração e altas condições de escoamento. Na área de estudo, o baixo valor de H (0,218 km, 0,220 km e 0,216 km), indica menor gravidade do fluxo de água, alta infiltração e baixas condições de escoamento.

Os parâmetros relação de relevo (R_h), percentagem de relevo relativo (R_{hp}) e o índice de dissecação (D_{is}) mostram o potencial de escoamento e erosão de uma bacia hidrográfica. Conforme Schumm (1956), a R_h é a relação entre a amplitude altimétrica da BH e a distância horizontal da drenagem principal, sendo um indicador da intensidade dos processos de erosão que operam nas encostas. Os valores de R_h encontrados para a BH do córrego Guariroba foram: 0,0080, 0,0079 e 0,0078 nas bases SRTM, AP e LA (Tabela 3). Estes resultados indicam baixo declive e relevo.

A R_{hp} é calculada usando o perímetro e a amplitude total da bacia hidrográfica (Melton, 1957). Os valores de R_{hp} encontrados foram: 0,149, 0,145 nos MDSs SRTM e AP e 0,166 no MDE LA (Tabela 3). Conforme Melton (1957), terrenos com baixos valores de R_{hp} , caso da área estudada, são menos propensos à erosão do que aqueles com altos valores.

O índice de dissecação de uma região indica as etapas do desenvolvimento do relevo sob a influência do ciclo geomórfico fluvial de erosão, ou seja, revela o comportamento do escoamento

superficial e o potencial de erosão de uma bacia hidrográfica. Os valores de D_{is} encontrados para a BH do córrego Guariroba foram: 0,327 e 0,329 nos MDSs SRTM e AP e 0,328 no MDE LA, respectivamente (Tabela 3). Esses valores indicam que o terreno é dissecado moderadamente.

Embora as características do relevo tenham mostrado um baixo potencial de escoamento superficial e erosão, há de se considerar que na área de estudo predominam solos altamente susceptíveis ao desenvolvimento de processos erosivos (Neossolo Quartzarênico), logo, na análise de risco à erosão devem ser considerados outros fatores além do relevo, como: o tipo de solo, o uso e cobertura do solo, práticas agrícolas desenvolvidas na BH, práticas de manejo do solo, regime de chuvas, dentre outros.

Quanto ao declive, nos MDSs SRTM e AP foram encontradas cinco classes, e no MDE LA, sete classes (Tabela 4, Figura 3). No MDS SRTM o declive variou de 0,01% a 16,8%, com média de 4,2% e desvio padrão de 2,0; no MDS Alos Palsar o declive variou de 0 a 31,50%, com média de 4,8% e desvio padrão de 2,8; no MDE LA o declive variou de 0 a 129,2%, com média de 3,6 e desvio padrão de 2,2. A classe de relevo predominante nas três bases foi a

suave ondulado (declive 2–5%), com 54,06, 40,13 e 56,39% da área da BH, respectivamente.

Comparando os resultados obtidos entre MDSs e MDE, as bases de menor resolução espacial subestimaram as áreas planas em 27,0% e 17,1%, respectivamente. Na classe de relevo suave ondulado o MDS SRTM subestimou a área em 4,4% e AP em 29,2%. Nessa classe de relevo, a área da BH corresponde a 54,1% no MDS SRTM e 40,1% no MDS AP e 56,4% no MDE LA. Na classe de relevo ondulado (declive 5–10%), o MDS SRTM superestimou a área em 34,5% e o MDS AP em 70,9%. Ainda, considerando o MDE LA, as áreas com declive superior a 5% foram superestimadas em 29,3% no MDS SRTM e 77,0% no MDS AP.

Para o escoamento superficial, predomina o escoamento muito lento ou lento e, lento ou médio, com 67,7% e 55,7% nos MDSs SRTM e AP e 75,1% no MDE LA (Tabela 4). Isso reflete a alta permeabilidade dos solos, majoritariamente Neossolo Quartzarênico.

A distribuição espacial das classes de declividade pode ser visualizada na Figura 3 e a percentagem de área para cada classe, na Tabela 4.

Tabela 4. Classes de declividade, relevo e escoamento superficial derivadas dos Modelos Digitais de Superfície e Modelo Digital de Elevação para a bacia hidrográfica do córrego Guariroba, Campo Grande, MS.

Declividade %	Forma do relevo	Escoamento superficial	*SRTM	**AP	***LA
0 - 2	Plano (terraços)	Muito lento ou lento	13,66	15,58	18,71
2 - 5	Suave ondulado (colinas)	Lento ou médio	54,06	40,13	56,39
5 - 10	Ondulado (morros e morrotes)	Médio ou rápido	31,44	40,01	23,3
10 - 15	Muito inclinado (morros e morrotes)	Rápido	0,83	4,07	1,42
15 - 45	Fortemente ondulado (morros e serras)	Muito rápido	0,01	0,21	0,18
45 - 100	Montanhoso (montanhas e serras)	Muito rápido	-	-	0,002
> 100	Escarpado (serras e escarpas)	Muito rápido	-	-	0,0002

*SRTM: Shuttle Radar Topography Mission; **AP: Alos Palsar; ***LA: Levantamento Aerofotogramétrico.

Na Figura 3_{A,B,C}, observa-se que os maiores declives se encontram ao longo dos canais de drenagem. Por isso, as áreas que não possuem vegetação ciliar, são prioritárias para a restauração florestal, pois estão mais susceptíveis ao desenvolvimento de processos erosivos. Na ampliação (Figura 3_{a,b,c}), fica evidente o efeito da resolução espacial (ou seja, tamanho da grade) nos atributos do terreno derivados. Além de superestimar as áreas com declive superior a 5%, e subestimar as áreas planas, a resolução espacial afetou a acurácia posicional das classes de declividade. Logo, quanto mais fina a resolução espacial do modelo altimétrico

(menor tamanho da grade), melhor será a representação da paisagem.

Considerando os efeitos observados nos atributos geomorfométricos derivados no presente trabalho, para o planejamento e gestão das atividades econômicas desenvolvidas na BH, o MDE gerado a partir das curvas de nível e pontos cotados do levantamento aerofotogramétrico é o mais apropriado.

Figura 3. Classes de declividade nas diferentes bases de dados analisadas.

Como inúmeros outros trabalhos já demonstraram, a modelagem topográfica é sensível à resolução do Modelo Digital de Elevação (Jenson e Domingue, 1988; Zhang e Montgomery, 1994; Wolock e Price, 1994; Band e Moore, 1995; Walker e Willgoose, 1999; Thompson et al., 2001; Wu e Hang, 2007; Capoane et al., 2015; Capoane et al., 2017; Schlögel et al., 2018; Sassolas-Serrayet; Cattin e Ferry, 2018; Žabota et al., 2019; dentre inúmeros outros). Portanto, considerando os dados de elevação disponíveis para a área de estudo, e para o município de Campo Grande, o MDE gerado a partir do levantamento aerofotogramétrico implica em maior precisão e uma extração mais precisa e acurada dos componentes da superfície terrestre, especialmente para a declividade e linhas de drenagem. Além disso, a prefeitura municipal de Campo Grande fez um alto investimento para a execução de levantamentos aerofotogramétricos, logo, não existem mais razões para utilizar MDSs de baixa resolução espacial em trabalhos executados no município, principalmente com fins de planejamento e gestão.

Conclusões

A análise dos parâmetros geomorfométricos para a bacia hidrográfica do córrego Guariroba realizada sob três aspectos – rede de drenagem, geometria da bacia hidrográfica e características de relevo – a partir de modelos digitais de superfície e

modelo digital de elevação de diferentes fontes e resoluções, mostra que os atributos do terreno derivados são sensíveis ao tamanho da grade. Os valores de alguns parâmetros foram pouco influenciados, enquanto outros como comprimento total dos canais, perímetro da bacia hidrográfica, coeficiente de compacidade e declividade foram significativamente alterados.

Os resultados obtidos, além de comprovar que resolução espacial da grade afeta a quantificação e acurácia posicional de atributos geomorfométricos, fornecem informações básicas sobre a superfície topográfica da bacia hidrográfica do córrego Guariroba, que podem servir como um banco de dados de avaliação inicial para planejamento estratégico, gerenciamento e tomada de decisão, visando a definição de áreas prioritárias para conservação do solo e da água; estudos de erosão do solo; definição de áreas prioritárias para recuperação e restauração; dentre outros.

Referências

- Adhami, M., Sadeghi, S.H.R., 2016. Sub-watershed prioritization based on sediment yield using game theory. *Journal of Hydrology* [online] 541. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.08.008>. Acesso: 10 jan. 2020.

- Alaska Satellite Facility – ASF. Alos Palsar. Disponível: <https://search.asf.alaska.edu/#/>. Acesso: 23 jan. 2020.
- Avinasha, K., Jayappab, K.S., Deepika, B., 2011. Prioritization of sub-basins based on geomorphology and morphometric analysis using remote sensing and geographic information system (GIS) techniques, Geocarto International [online] 26. Disponível: <https://doi.org/10.1080/10106049.2011.606925>. Acesso: 23 jan. 2020.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, [online] 22. Disponível: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso: 13 jan. 2020.
- Araújo, H.J.T., Santos Neto, A., Trindade, C.A.H., Pinto, J.C.A., Montalvão, R.M.G., Dourado, T.D.C., Barros, R.C., Colombo, P., Tassinari, C.G., 1982. Geologia. In.: Projeto RADAMBRASIL - Folha SF-21 - Campo Grande. Rio de Janeiro: RADAMBRASIL, 28, 9-124.
- Ariza-Villaverde, A.B., Jiménez-Hornero, F.J., Gutiérrez de Ravé, E., 2015. Influence of DEM resolution on drainage network extraction: A multifractal analysis. Geomorphology [online] 241. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.03.040>. Acesso: 15 mar. 2020.
- Balkcom, K.S., Terra, J.A., Shaw, J.N., Reeves, D.W., Rape, R.L., 2005. Soil management system and landscape position interactions on nutrient distribution in a Coastal Plain field. Journal of Soil and Water Conservation 60, 431-437.
- Band, L.E., Moore, I.D., 1995. Scale: landscape attributes and geographical information systems. Hydrological Processes [online] 9. Disponível: <https://doi.org/10.1002/hyp.3360090312>. Acesso: 20 jan. 2020.
- Beltrame, A.V., 1994. Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação. Florianópolis: UFSC.
- Brasil. 2020. Aerolevantamentos autorizados – Mato Grosso do Sul – Aerofotogrametria 238/07. Disponível: <https://www.defesa.gov.br/aerolevantamento/114-aerolevantamento/13854-aerolevantamentos-autorizados-mato-grosso-do-sul>. Acesso: 10 jan. 2020.
- Brasil., 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, Disponível: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso: 23 jan. 2020.
- Breyer, S.P., Snow, R.S., 1992. Drainage basin perimeters: a fractal significance. Geomorphology 5, 143–157. Disponível: [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(92\)90062-S](https://doi.org/10.1016/0169-555X(92)90062-S). Acesso: 15 fev. 2020.
- Buakhao, W., Kangrang, A., 2016. DEM resolution impact on the estimation of the physical characteristics of watersheds by using SWAT. Advances in Civil Engineering [online] 2016. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/8180158>. Acesso: 25 mar. 2020.
- Bühler, Y., Marty, M., Ginzler, C., 2012. High resolution DEM generation in high-alpine terrain using airborne remote sensing techniques. Transactions in GIS [online] 16. Disponível: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2012.01331.x>. Acesso: 24 jan. 2020.
- Burrough, P.A., 1986. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford: Clarendon Press.
- Camargo, C.M.J., Camargo, L.J.J., Oliveira, A.K.M., 2010. Efeitos da legislação ambiental na proteção da Área de Proteção Ambiental do Guariroba, Mato Grosso do Sul. Revista Uniara 13, 115-124.
- Campo Grande. Prefeitura Municipal de Campo Grande. Águas Guariroba S.A. 2008. Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental dos Mananciais do Córrego Guariroba – APA do Guariroba. Volume I. Campo Grande.
- Capoane, V., Silva, D.A., 2020. Avaliação de parâmetros geomorfológicos derivados de modelos altimétricos de diferentes fontes e resoluções: estudo de caso da bacia hidrográfica do córrego Lajeado, Campo Grande, MS. Revista Brasileira de Geografia Física [online] 13. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p674-690>. Acesso: 16 jun. 2020.
- Capoane, V.; Costa, L.F.F.; Kuplich, T.M., 2017. Efeito da resolução de modelos digitais de elevação na derivação do índice topográfico de umidade: estudo de caso no município de Palmitinho-RS. Geografia em Questão 10, 9-23.
- Capoane, V., Santos, D.R. dos., Kuplich, T.M., 2016. Efeito do uso da terra e relevo na distribuição espacial e vertical de carbono do solo em uma bacia hidrográfica agrícola. Revista Brasileira de Geografia Física [online] 9. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5935/1984-2295.20160112>. Acesso: 10 jan. 2020.
- Capoane, V., Krolow, I.R.C., Santos, D.R. dos., Santos, L.J.C., Troian, A., 2016. Distribuição espacial do fósforo disponível do solo em uma bacia hidrográfica agrícola e sua relação com os fatores ambientais uso da terra e declividade.

- Revista Brasileira de Geomorfologia [online] 17. Disponível: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v17i4.976>. Acesso: 10 jan. 2020.
- Capoane, V., Tiecher, T., Alvarez, J.W.R., Pellegrini, A., Schaefer, G.L., Santos, L.J.C., Santos, D.R. dos 2015. Influência da resolução do modelo digital de elevação na determinação do índice topográfico de umidade e na capacidade de predição dos teores carbono orgânico do solo. *Geo UERJ* 27, 144–155.
- Carvalho, A.T.F. 2020. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. *Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente* 1, 140–161.
- Clarke, J.I., 1966. Morphometry from Maps. In: Dury, G.H. (Ed). *Essays in Geomorphology*. London: Heinemann, 235–274.
- Dalin, C., Outhwaite, C.L., 2019. Impacts of global food systems on biodiversity and water: the vision of two reports and future aims. *One Earth* [online] 1. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.016>. Acesso: 23 jan. 2020.
- da Silva, F.A., Fortes, F. de O., Riva, D., Schorr, L.P.B., 2017. Characterization of morphometric indices for *Araucaria angustifolia* planted in the northern region of Rio Grande do Sul. *Advances in Forestry Science* 4, 143–146.
- Diário Oficial de Campo Grande - MS – DIOGRANDE., 2013. Extrato do contrato n. 20, celebrado em 7 de março de 2013. Disponível: <http://www.campogrande.ms.gov.br/seges/wp-content/uploads/sites/37/2017/01/20130401154027.pdf>. Acesso: 23 jan. 2020.
- Dikau, R., 1989. The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology. In: Raper, J. (Ed.). *Three Dimensional Applications in Geographic Information Systems*. London: Taylor and Francis. 51–77.
- Dragut, L., Schauppenlehner, T., Muhar, A., Strobl, J., Blaschke, T., 2009. Optimization of scale and parametrization for terrain segmentation: an application to soil-landscape modeling. *Computers & Geosciences* [online] 35. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2008.10.008>. Acesso: 23 jan. 2020.
- Diretoria de Serviço Geográfico – DSG. 2020. Banco de Dados Geográfico do Exército. Cartas Topográficas. Disponível em: <https://bdgex.eb.mil.br/bdgex/?controller=index&action=index&module=default&?controller=index&action=index&module=default&>. Acesso: 23 jan. 2020.
- Evans, I.S., 1972. 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. 17–90.
- Evans, I.S., 1980. An integrated system of terrain analysis and slope mapping. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband* 36, 274–295.
- Farhan, Y., Anaba, O., 2016. A remote sensing and GIS approach for prioritization of Wadi Shueib mini-watersheds (Central Jordan) based on morphometric and soil erosion susceptibility analysis. *Journal of Geographic Information System* [online] 8. Disponível: <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2016/25321>. Acesso: 23 jan. 2020.
- Farr, T.G., Rosen, P.A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., Alsdorf, D., 2007. The shuttle radar topography mission. *Reviews of Geophysics*, [online] 45. Disponível: <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>. Acesso: 13 jan. 2020.
- Gallant, J.C., Hutchinson, M.F., 2011. A differential equation for specific catchment area. *Water Resources Research* [online] 47. Disponível: <https://doi.org/10.1029/2009WR008540>. Acesso: 20 jan. 2020.
- Gravelius, H., 1941. *Grundriß der Gewässerkunde, Band 1: Flußkunde* (Compendium of Hydrology, v. 1: Rivers, in German). Goschen, Berlin, Germany.
- Ghuffar, F., 2018. DEM Generation from Multi Satellite PlanetScope Imagery. *Remote Sensing* [online] 10. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs10091462>. Acesso: 20 jan. 2020.
- Hair Jr., J.F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E., Tatham, R.L., 2005. *Análise multivariada de dados*. 5 ed. Editora Bookman, Porto Alegre.
- Horton, R.E., 1945. Erosional development of stream and their drainage basin. *Hydrogeological approach to quantitative morphology. Bulletin of the Geological Society of America* 56, 275–370.
- Horton, R.E., 1932. Drainage basin characteristics. *Transactions of the American Geophysical Union* 13, 350–360.
- Hu, P., Liu, X., Hu, H., 2009. Accuracy assessment of digital elevation models based on approximation theory, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* [online] 75. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs70607062>. Acesso: 10 jan. 2020.

- Hutchinson, M.F., 1989. A new procedure for gridding elevation and streamlines data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology* 106, 211–232.
- Hutchinson, M.F., Xu, T., Stein, J.A., 2011. Recent progress in the ANUDEM elevation gridding procedure. *Geomorphometry* 19–22.
- Igarashi, T., 2001. ALOS mission requirements and specifications. *Advances in Space Research* [online] 28. Disponível: [https://doi.org/10.1016/S0273-1177\(01\)00316-7](https://doi.org/10.1016/S0273-1177(01)00316-7). Acesso: 13 nov. 2019.
- Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA., 2019. The outlook for agriculture and rural development in the Americas: a perspective on Latin America and the Caribbean 2019-2020. San Jose, C.R.: IICA.
- Jenson, S.K.; Domingue, J.O., 1988. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 54, 1593–1600.
- Kanianska, R., 2016. Agriculture and its impact on land-use, environment, and ecosystem services. In: Almusaed, A. (Ed.). *Landscape ecology - the influences of land use and anthropogenic impacts of landscape creation*. Disponível: <https://doi.org/10.5772/63719>. Acesso 27 mar. 2020.
- Kariminejad, N., Hosseinalizadeh, M., Pourghasemi, H.R., Ownegh, M., Rossi, M., Tiefenbacher, J.P., 2020. Optimizing collapsed pipes mapping: Effects of DEM spatial resolution. *Catena* [online] 187. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104344>. Acesso: 27 mar. 2020.
- Katusiime, J., Brigitta Schütt., 2020. Linking Land Tenure and Integrated Watershed Management—A Review. *Sustainability* [online] 12. Disponível: <http://dx.doi.org/10.3390/su12041667>. Acesso: 14 jun. 2020.
- King, G. Q. 1991. Geography and GIS Technology. *Journal of Geography* [online] 90. Disponível: <https://doi.org/10.1080/00221349108979238>. Acesso: 15 fev. 2020.
- Kravchenko, A.N., Bullock, D.G., 2000. Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. *Agronomy Journal* [online] 92. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s100870050010>. Acesso: 13 jan. 2020.
- Lepsch, I.F., Espindola, C.R., Vischi Filho, O.J., Hernani, L.C., Siqueira, D.S., 1991. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. 4ª aproximação. Campinas: SBCC.
- Maxwell, S.L., Fuller, R.A., Brooks, T.M., Watson, J.E.M., 2016. Biodiversity: the ravages of guns, nets and bulldozers. *Nature* [online] 536. Disponível: <https://doi.org/10.1038/536143a>. Acesso: 23 jan. 2020.
- Melton, M.A., 1957. An analysis of the relations among elements of climate, surface properties and geomorphology. Project NR 389-042, Tech. Rept. 11, Columbia University, Department of Geology, ONR, Geography Branch, New York.
- Meena, S.R., Nachappa, T.G., 2019. Impact of spatial resolution of digital elevation model on landslide susceptibility mapping: a case study in kullu valley, Himalayas. *Geosciences* [online] 9. Disponível: <https://doi.org/10.3390/geosciences9080360>. Acesso 27 mar. 2020.
- Miller, V.C., 1953. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristic in the Clinch, Mountain area, Verdinia and Tennessee. Project NR 389-042, Tech. Rept.3. Columbia University, Department of Geology, ONR, Geography Branch, New York. Patton.
- Miller, C.L., Leflamme, R.A., 1958. The digital terrain model: Theory and application. *Photogrammetric Engineering* 24, 433–442.
- Moore, I. D., Grayson, R.B., Ladson, A.R., 1991. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes* [online] 5. Disponível: <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050103>. Acesso: 13 jan. 2020.
- Morgan, R.P.C., 2005. Soil erosion and conservation. 3. ed. New York: Blackwell Publishing.
- Moudrýa, V., Lecoursb, V., Gdulováa, K., Gábora, L., Moudráa, L., Kropáček, J., Wilda, J., 2018. On the use of global DEMs in ecological modelling and the accuracy of new bare-earth DEMs. *Ecological Modelling*, [online] 383. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.05.006>. Acesso: 13 jan. 2020.
- Needelman, B.A., Gburek, W.J., Petersen, G.W., Sharpley, A.N., Kleinman, P.J.A., 2004. Surface runoff along two agricultural hillslopes with contrasting soils. *Soil Science Society of America Journal* [online] 68. Disponível: <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.9140>. Acesso: 13 jan. 2020.
- Nelson, A., Reuter, H.I., Gessler, P., 2009. DEM production methods and sources. In: Hengl, T., Reuter, H.I. (Eds.). *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications, Developments in Soil Science* 33. Elsevier, Amsterdam. 65–86.
- Oliveira, A.K., Fernandes, V., Pirajá, R.V., Silva, M.H.S., 2017. Avaliação multitemporal das

- paisagens da Área De Proteção Ambiental (APA) dos mananciais do córrego Guariroba, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, por meio de imagens de satélites. *Ra'e Ga* [online] 42. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v42i0.43753>. Acesso: 13 jan. 2020.
- Oliveira, D.R., Cicerelli, R.E., Almeida, T., Marotta, G. S., 2017. Geração de modelo digital do terreno a partir de imagens obtidas por veículo aéreo não tripulado. *Revista Brasileira de Cartografia* 69, 1143-1151.
- Patton, P.C., 1988. Drainage basin morphometry and floods. In: Baker, V.R., Koche, R.C., Patton, P.C. (Eds.). *Flood Geomorphology*. Toronto: Jhon Wiley & Sons Ltd.
- Rodriguez, E., Morris, C.S., Belz, J.E., 2006. A global assessment of the SRTM performance. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* [online] 72. Disponível: <https://doi.org/10.14358/PERS.72.3.249>. Acesso: 25 mar. 2020.
- Russo, R.C., Rashleigh, B., Ambrose, R.B., 2008. Watershed Management in the United States. Disponível: http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-8558-1_11. Acesso: 14 jun. 2020.
- Sassolas-Serrayet, T., Cattin, R., Ferry, M., 2018. The shape of watersheds. *Nature Communications* [online] 9. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1038/s41467-018-06210-4>. Acesso: 15 fev. 2020.
- Schlögel, R., Marchesini, I., Alvioli, M., Reichenbach, P., Rossi, M., Malet, J.-P., 2018. Optimizing landslide susceptibility zonation: Effects of DEM spatial resolution and slope unit delineation on logistic regression models. *Geomorphology* [online] 301. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.10.018>. Acesso: 20 jan. 2020.
- Schumm, S.A., 1977. *The fluvial System*. New York: John Wiley & Sons.
- Schumm, S.A., 1963. Sinuosity of alluvial rivers of Great Plains. *Geological Society of America Bulletin* [online] 74. Disponível: [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1963\)74\[1089:SOAROT\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1963)74[1089:SOAROT]2.0.CO;2). Acesso: 13 no. 19.
- Schumm, S.A., 1956. Evolution of drainage system and slope in badlands of Perth Amboy, New Jersey. *Bulletin of the Geological Society of America* [online] 67. Disponível: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2). Acesso: 13 nov. 2019.
- Schussel, Z., Nascimento Neto, P., 2015. Urban planning based on watersheds: from theoretical debate to municipal management. *Ambiente & Sociedade* [online] 18. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422ASOC838V1832015>. Acesso: 14 jun. 2020.
- Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano – SEMADUR. Arquivos vetoriais. Disponível: <http://www.campogrande.ms.gov.br/semadur/arquivos-vetoriais-de-campo-grande/>. Acesso: 23 jan. 2020.
- Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Gestão Urbana – SEMADUR., 2020. Decreto n. 7.183 de 1995 que Instituiu a Área de Proteção Ambiental dos Mananciais do Córrego Guariroba - APA Guariroba. Disponível: http://portal.capital.ms.gov.br/egov/imagemCanais/file/Apa%20Guariroba/1-Decreto%207183-1995_Cria%20APA%20do%20Guariroba.pdf. Acesso: 22 jan. 2020.
- Strahler, A.N., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: Chow, V. (Ed.). *Handbook of applied hydrology*. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Strahler, A.N., 1956. Quantitative slope analysis. *Geological Society of America Bulletin* [online] 67. Disponível: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[571:qsa\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[571:qsa]2.0.co;2). Acesso: 13 jan. 2020.
- Strahler, A.N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *GSA Bulletin* [online] 63. Disponível: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2). Acesso: 13 nov. 2019.
- Thomas, N., Lucas, R., Itoh, T., Simard, M., Fatoyinbo, L., Bunting, P., 2015. An approach to monitoring mangrove extents through time-series comparison of JERS-1 SAR and ALOS PALSAR data. *Wetlands Ecology and Management* [online] 23. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11273-014-9370-6>. Acesso: 23 jan. 2020.
- Thompson, J.A.; Bell, J.C.; Butler, C.A., 2001. Digital elevation model resolution: effects on terrain attribute calculation and quantitative soil-landscape modeling. *Geoderma* [online] 100. Disponível: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(00\)00081-1](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00081-1). Acesso: 20 jan. 2020.
- Twidale, C.R., 2004. River patterns and their meaning. *Earth-Science Reviews* [online] 67. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2004.03.00>. Acesso: 23 jan. 2020.
- United States Geological Survey – USGS. Digital Elevation, SRTM, 1 Arc-Second Global. Disponível: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso: 23 jan. 2020.

- Uysal, M., Toprak, A.S., Polat, N., 2015. DEM generation with UAV Photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill. *Measurement* [online] 73. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.0.010>. Acesso: 20 jan. 2020.
- Vaze, J., Teng, J., Spencer, G., 2010. Impact of DEM accuracy and resolution on topographic indices. *Environmental Modelling & Software* [online] 25. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.03.014>. Acesso: 20 jan. 2020.
- Villela, S.M., Mattos, A., 1975. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil.
- Volkov, N.M., 1950. *Principles and methods of cartometry*. Moscow: Soviet Academic Press.
- Xie, H., Zhang, Y., Wu, W., Lv, T., 2020. A bibliometric analysis on land degradation: current status, development, and future directions. *Land* [online] 9. Disponível: <http://dx.doi.org/doi:10.3390/land9010028>. Acesso: 15 fev. 2020.
- Walker, J.P.; Willgoose, G.R., 1999. On the effect of digital elevation model accuracy on hydrology and geomorphology. *Water Resources Research* [online] 7. Disponível: <https://doi.org/10.1029/1999WR900034>. Acesso: 20 jan. 2020.
- Wang, G.; Mang, S.; Cai, H.; Liu, S.; Zhang, Z.; Wang, L.; Innes, J.L., 2016. Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends. *Journal of Forestry Research* [online] 27. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11676-016-0293-3>. Acesso: 14 jun. 2020.
- Wolock, D.M.; Price, C.V., 1994. Effects of digital elevation model map scale and data resolution on a topography-based watershed model. *Water Resources Research* [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.1029/94WR01971>. Acesso: 20 jan. 2020.
- Wu, S.; Li, J.; Huang, G.H., 2007. Modeling the effects of elevation data resolution on the performance of topography-based watershed runoff simulation. *Environmental Modelling & Software* [online] 22. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.08.001>. Acesso: 20 jan. 2020.
- Žabota, B.; Repe, B.; Kobal, M., 2019. Influence of digital elevation model resolution on rockfall modelling. *Geomorphology* [online] 328. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.12.029>. Acesso: 20 jan. 2020.
- Zavoianu, I., 1985. *Morphometry of Drainage Basins*. Amsterdam - Oxford - New York - Tokyo: Elsevier. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0167-5648\(08\)70408-8](https://doi.org/10.1016/S0167-5648(08)70408-8). Acesso: 21 jan. 2020.
- Zevenbergen, L.W., Thorne, C.R., 1987. *Quantitative Analysis of Land Surface Topography*. *Earth Surface Processes and Landforms* [online] 12. Disponível: <https://doi.org/10.1002/esp.3290120107>. Acesso: 13 jan. 2020.
- Zhang, W.H.; Montgomery, D.R., 1994. Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrologic simulations. *Water Resources Research* [online] 30. Disponível: <https://doi.org/10.1029/93WR03553>. Acesso: 20 jan. 2020.