

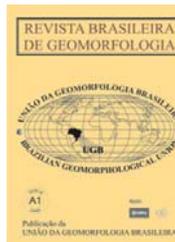


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 15, nº 4 (2014)

NOTA TÉCNICA



MORFOMETRIA E EVOLUÇÃO DO USO DO SOLO E DA VAZÃO DE MÁXIMA EM UMA MICRO BACIA URBANA

MORPHOMETRY AND EVOLUTION OF LAND USE AND THE MAXIMUM FLOW IN URBAN MICRO WATERSHED

Joao Paulo Cunha de Menezes

Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras
Campus da UFLA, Lavras/MG, Cep: 37200-000, Brasil
E-mail: jpaulo_bio@hotmail.com

Camila Silva Franco

Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras
Campus da UFLA, Lavras/MG, Cep: 37200-000, Brasil
E-mail: camilasf@posgrad.ufla.br

Luiz Fernando Coutinho de Oliveira

Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras
Campus da UFLA, Lavras/MG, Cep: 37200-000, Brasil
E-mail: coutinho@deg.ufla.br

Ricardo Parreira Bittencourt

Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras
Campus da UFLA, Lavras/MG, Cep: 37200-000, Brasil
E-mail: ricardoparreira.rp@gmail.com

Matheus de Sá Farias

Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras
Campus da UFLA, Lavras/MG, Cep: 37200-000, Brasil
E-mail: matheus_desafs@hotmail.com

Ronaldo Fia

Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras
Campus da UFLA, Lavras/MG, Cep: 37200-000, Brasil
E-mail: ronaldofia@deg.ufla.br

Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:
23/08/2014
Data de Aprovação:
04/11/2014

Resumo:

O conhecimento dos atributos físicos de uma bacia hidrográfica é de suma importância para a identificação dos parâmetros que auxiliam no melhor gerenciamento dos recursos hídricos. Portanto, a caracterização morfométrica e a avaliação do uso do solo de uma bacia hidrográfica se tornam ferramentas

Palavras-chave:

Urbanização; escoamento superficial; Gestão de recursos hídricos.

Keywords:

Urbanization; Runoff; Water resources management.

importantes para gestão dos recursos hídricos, pois permitem prever o grau de vulnerabilidade da bacia a fenômenos extremos, como enchentes e inundações. Sendo assim, o presente trabalho pautou o uso das técnicas do geoprocessamento de imagens digitais para análise de atributos morfométricos e da mudança do uso do solo em uma micro bacia urbana no município de Lavras, MG, relacionando-os com a estimativa de vazão máxima como resposta a chuvas de alta intensidade. A análise dos dados e a interpretação dos resultados obtidos nas condições atuais da micro bacia hidrográfica permitiram concluir que o padrão de drenagem formado pelos cursos d'água caracteriza-se como dendrítico e de 4º ordem. A micro bacia do Ribeirão Vermelho possui a forma alongada, evidenciando um menor risco de cheias em condições normais de pluviosidade anual. O mapeamento e ocupação do solo de 2003 e 2013 indicaram um aumento da área urbana em contraste com uma redução na área de pastagem, entretanto, não se observou alterações na vazão de pico entre estes anos.

Abstract:

The knowledge of physical attributes of a watershed is of paramount importance for the identification of parameters that assist in better management of water resources. Therefore, the morphometric characterization and assessment of land use of a watershed becomes an important water management tool because it allows you to predict the degree of vulnerability of the basin to extreme events such as floods and floods. Thus, this study was based on the use of GIS techniques of digital images for analysis of morphometric attributes and change of land use in an urban micro watershed in Lavras, MG, relating them with the estimated maximum flow as response to high-intensity rainfall. Data analysis and interpretation of the results obtained in the current conditions of the watershed showed that the drainage pattern formed by the streams is characterized as dendritic and 4th order. The Ribeirão Vermelho watershed has the elongated form, showing a lower risk of flooding under normal annual rainfall. The mapping and land cover 2003 and 2013 showed an increase of the urban area in contrast to a reduction in grazing area, however, no changes in peak flow between these years was observed.

Introdução

O processo de urbanização carece de um planejamento territorial apropriado em diversos aspectos, inclusive no que diz respeito ao manejo dos recursos hídricos e à gestão do uso e ocupação do solo. Geralmente, quanto maior o porte da cidade, maior o problema, pois o crescimento desordenado e o elevado grau de impermeabilização dos solos nas bacias hidrográficas urbanas acarretam diversos impactos ambientais (Kayne *et al.*, 2006).

O uso sustentável dos recursos hídricos parte da necessidade do conhecimento das singularidades locais, avaliando as unidades hidrológicas a nível das micro bacias. Desta forma, essas unidades hidrológicas são escolhidas para um melhor planejamento de gestão dos recursos hídricos, dando suporte a questões-chaves no que diz respeito à degradação do solo, inundações, etc. (Press *et al.*, 2006; Aher *et al.*, 2014). Dentro dessa perspectiva, a caracterização das bacias hidrográficas urbanas torna-se fundamental para a identificação dos elementos naturais e antrópicos que possibilitam a busca

de informações que forneçam diagnósticos e prognósticos sobre a área fisiográfica estudada.

Com base no exposto, o uso de geotecnologias, como sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica (SIG) apresentam-se como ferramentas importantes na investigação de diversos fenômenos relacionados à engenharia urbana, meio ambiente, bacias hidrográficas, dentre outros (Ratke *et al.*, 2013). Utilizando das ferramentas de SIG, o estudo dos atributos morfométricos, como também o levantamento das classes do uso do solo, surge como subsídio ao conhecimento da relação entre o relevo e a dinâmica hídrica ambiental da bacia hidrográfica (Alpino *et al.*, 2007; Teodoro *et al.*, 2007; Calil *et al.*, 2012; Ali e Khan, 2013; Oliveira *et al.*, 2013).

A avaliação morfométrica pode ser definida como a medição e análise matemática da configuração da superfície da terra, forma e a dimensão do relevo (Iqbal *et al.*, 2012; Iqbal *et al.*, 2013). O uso do método morfométrico no estudo das bacias hidrográficas constitui-se num meio para explicar as interações que ocorrem entre

todos os elementos da paisagem (Feltran *et al.*, 2007). Essas métricas podem servir como um referencial para o planejamento e proposta para reestruturação regional, com intuito de auxiliar a tomada de decisão de projetos envolvendo o uso de recursos físicos da região.

Como forma complementar, o estudo de uso e da ocupação das terras constitui um passo importante para o entendimento das relações entre o homem e o meio natural (Lago *et al.*, 2012). O mapeamento do uso e da ocupação do solo possibilita o estabelecimento de ações de integração entre planejamento territorial e gestão ambiental, conforme constatado por Carvalho e Lacerda (2006); Silva *et al.*, (2009); Chaves *et al.*, (2010) e Iqbal e Sajjad (2014). As alterações antrópicas da paisagem natural por meio da urbanização, agricultura, entre outros, têm sido um processo contínuo e crescente nas últimas décadas. Regiões de vegetação natural têm sido removidas e substituídas por numerosos sistemas humanos. Devido às atividades antrópicas, a superfície do solo está sendo alterada de forma expressiva e, a presença do homem sobre a terra tem resultado em um efeito sobre o ambiente natural, resultando em uma alteração do uso do solo ao longo do tempo (Turner *et al.*, 1990).

A resposta hidrológica de uma micro bacia hidrográfica está relacionada aos diferentes usos do solo, o que representa uma forma de avaliação dos impactos ambientais, possibilitando nortear as ações de manejo. Neste sentido, são diversos os trabalhos que relacionam e modelam o uso do solo com o deflúvio, encontrando variações significativas na vazão de pico em respostas às alterações no uso e ocupação do solo (Mello *et al.*,

2007; Beskow *et al.*, 2009; Kalantaria *et al.*, 2014). Ante o exposto, procurou-se neste trabalho, avaliar a morfometria da micro hidrográfica do Ribeirão Vermelho e as mudanças espaciais e temporais do uso do solo, relacionando-as com alterações da vazão máxima em seu exutório.

Material e Método

Caracterização da área - A micro bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho está localizada na Mesorregião Sul do estado de Minas Gerais, entre as coordenadas geográficas 21°11' a 21°16' de latitude Sul e 44°57' a 45°03' de longitude Oeste, sendo o curso de água principal da bacia e afluente do Rio Grande, recebendo as águas provenientes da drenagem urbana e de esgotamento sanitário da cidade de Lavras (Figura 1).

Análise morfométrica - A análise morfométrica foi baseada em dados Modelos Digital de Elevação (MDE) a partir de dados de radar, obtidos de sensores a bordo do ônibus espacial Endeavour, no projeto SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), com resolução espacial de 90 m, disponibilizados pela EMBRAPA (Miranda, 2013). Após a obtenção dos MDE-SRTM, foram extraídos as curvas de nível necessárias para análise morfométrica, utilizando ferramentas do ArcToolbox (ArcToolbox>Spatial Analyst Tools>Surface>Contour), presentes no ArcGis 10® (Santos *et al.*, 2010). Com esse procedimento, foi possível a obtenção da declividade e dos comprimentos da bacia hidrográfica (área, perímetro e comprimento axial), do rio principal e da ordem dos cursos d'água, informações empregadas na caracterização morfométrica da bacia.

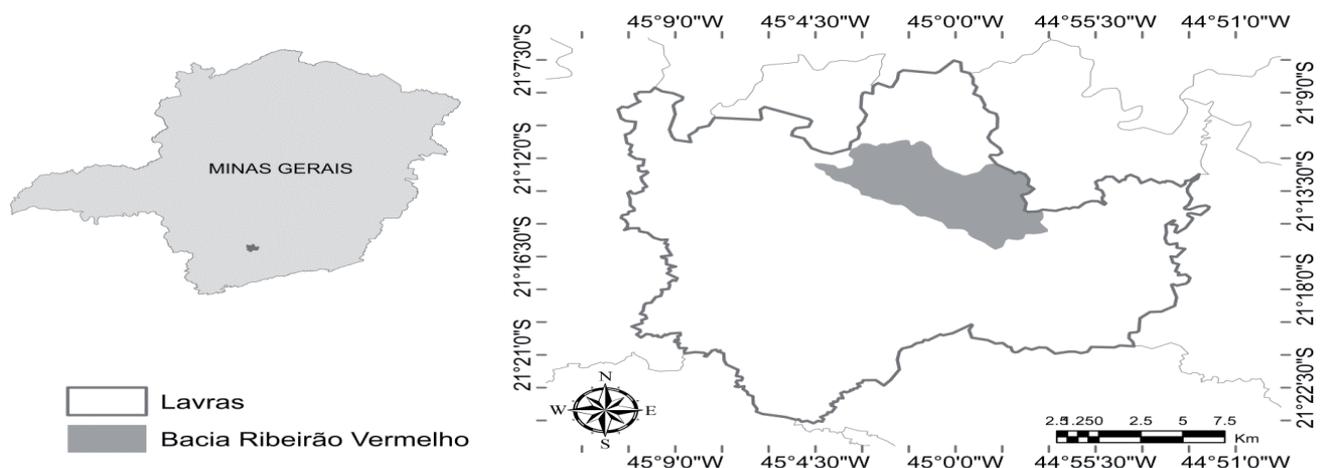


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho.

Inicialmente, foram obtidas todas as grades com valores da altimetria que englobam a região Sul do Estado de Minas Gerais. Em seguida, foram reunidas essas informações em um mosaico em formato raster, formado por uma matriz de células (pixels) e, a seguir, recortado para a área da bacia hidrográfica em estudo. Posteriormente, utilizou-se a função Slope do módulo Spatial Analyst Tools do ArcGIS® para obtenção da declividade em porcentagem para a área da bacia. A função Slope calcula a taxa máxima de variação entre cada célula e seus vizinhos, ou ainda, a variação máxima da altitude que ocorre na distância dada entre aquela célula e seus oito vizinhos. Cada célula do raster de saída têm um valor de declividade. O mapa resultante foi reclassificado utilizando os limiares de classes propostos por Prado (1996), que se baseiam nos sistemas de avaliação de capacidade de uso e de aptidão das terras. As classes utilizadas foram: inferior a 2%, 2-5%, 5-10%, 10-15%, 15-45%, 45-70% e maior que 70% e, por último, foi totalizada a área de cada classe de declividade.

Dentro da proposta realizada por Christofolletti (1980), a análise morfométrica de bacia divide-se em

quatro itens, sendo eles: hierarquia fluvial, análise zonal, análise linear e análise hipsométrica. Os parâmetros lineares envolvem atributos da rede de drenagem e seu arranjo espacial dentro da bacia hidrográfica. Os zonais tratam dos atributos da rede de drenagem e das áreas não hidrográficas do relevo; e os hipsométricos, associados à tridimensionalidade do relevo que se correlacionam com formação da rede de drenagem.

Para a delimitação da micro bacia, extração da rede de drenagem e hierarquização dos canais, aplicou-se, neste estudo, a metodologia proposta por Santos *et al.* (2010), permitindo assim, realizar os cálculos necessários para a análises zonal, hipsométrica e linear da bacia hidrográfica. As equações padrões utilizadas para a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica estão apresentadas na Tabela 1.

Uso do solo - Para a averiguação do uso do solo, foi realizada uma interpretação das imagens de satélite e definição das classes de uso e cobertura do solo para os anos de 2003 e 2013, permitindo assim, analisar e comparar a dinâmica do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho. As imagens

Tabela 1: Descrição das equações utilizadas para a avaliação morfométrica da bacia do Ribeirão Vermelho

Parâmetro	Equação	Referência
Análise Zonal		
Índice de circularidade	$Ic=12,57A/p^2$	Christofolletti (1980)
Fator de forma	$Kf=A/L^2$	Horton (1945)
Densidade hidrográfica	$Dr= N/A$	Horton (1945)
Densidade de drenagem	$Dd= Lt/A$	Christofolletti (1980)
Coeficiente de manutenção	$Cm=(1/Dd)1000$	Schumm (1956)
Análise Hipsométrica		
Amplitude altimétrica	$Hm= Hmax-Hmin$	
Razão de relevo	$Rr=Hm/L$	Schumm (1956)
Análise Linear		
Relação bifurcação	$Rb=N_w/N_{w+1}$	Schumm (1956)
Extensão do percurso superficial	$Eps=1/2Dd$	Horton (1945)
Índice de sinuosidade do canal principal	$Is=L/Dv$	Christofolletti (1980)
Ordem do rio	Classificação hierárquica	Strahler (1964)

A (km²)=área da bacia hidrográfica; p (km)=perímetro da bacia hidrográfica; L (km)=comprimento axial da bacia hidrográfica; N=número total de canais; Lt (km)=comprimento total de canais; Hmax(m)=altitude máxima; Hmin(m)=altitude mínima; N_w=número total de canais de determinada ordem; N_{w+1}=número total de canais de ordem imediatamente superior; Dv(km)=distância vetorial.

de satélite foram obtidas pelo aplicativo Google Earth.

As classes de uso da terra foram avaliadas a partir da interpretação visual, empregando as técnicas de fotointerpretação das imagens do Google Earth. As classes definidas foram: água, mata secundária, área agrícola, pastagem, solo exposto e área urbana. Criou-se um arquivo shapefile do tipo polígono no aplicativo ArcGis® 10.1, digitalizado em tela na escala de 1:3.000.

A vazão de pico no exutório da micro bacia do Ribeirão Vermelho foi estimada para o uso do solo para os anos de 2003 e 2013, considerando a chuva intensa de duração igual ao tempo de concentração da bacia e os períodos de retorno de 2, 5, 10 e 25 anos. Para tal, empregou-se, na determinação das chuvas intensas, a relação intensidade-duração-frequência para Lavras, MG, ajustada pelo software Plúvio 2.1 ©, conforme segue:

$$i = \left(\frac{4164,25 \times TR^{0,179}}{(33,84 + td)^{1,005}} \right) \quad (1)$$

em que: i = intensidade da (mmh^{-1}); TR = tempo de retorno (ano); td = tempo de duração da chuva (min).

Para a determinação da chuva intensa que proporciona a vazão de pico no exutório da bacia, utilizou-se o tempo de duração da precipitação como sendo igual ao tempo de concentração, tempo necessário para que toda área de drenagem contribua com o escoamento superficial direto. O tempo de concentração no exutório da bacia (t_c) foi, então, calculado pelo emprego da equação de Giandotti, recomendada para bacias hidrográficas com área de até 150 km^2 , conforme segue (Mello e Silva, 2013):

$$t_c = \left(\frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{Hm}} \right) \quad (2)$$

em que L = comprimento do talvegue principal (km); A = área da bacia hidrográfica (km^2); Hm = altitude média da bacia (m).

A vazão de pico foi, então, calculada pelo método racional modificado (Mello e Silva, 2013), o qual contém o essencial para o tratamento racional de problemas de dimensionamento de projetos hidráulicos e pode ser calculado pela Equação 3.

$$Q = \frac{CLA\varphi}{3,6} \quad (3)$$

em que: Q = vazão em (m^3s^{-1}); C = coeficiente de escoamento superficial; φ = coeficiente de retardamento, calculado pela Equação 4, ajustada por Euclides e Piccolo (1985) para as bacias hidrográficas da região do circuito das águas localizadas no sul do estado de Minas Gerais, próximas à Lavras, MG.

$$\varphi = 0,278 - 0,00034A \quad (4)$$

Foram empregados neste estudo os valores dos coeficientes de escoamento superficial propostos por Mello e Silva (2013) para diferentes coberturas do solo, declividade média da bacia hidrográfica e período de retorno.

Resultados e Discussão

Pelos resultados da análise morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho, constatou-se que o padrão de drenagem é do tipo dendrítica devido às ramificações em forma de ângulos agudos em que os afluentes unem-se ao curso principal, geralmente caracterizado por um sistema de ramificações de árvore. Esse padrão, segundo Christofolletti (1980) e Singh *et al.* (2013), é um indicativo da presença rochas sedimentares e solos homogêneos. A bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho apresenta uma área de $56,20 \text{ km}^2$, com perímetro de $40,55 \text{ km}$ de extensão e comprimento longitudinal de $14,25 \text{ km}$ de extensão. A partir destes dados foi possível calcular as características geométricas da bacia (Tabela 2).

O baixo índice de circularidade encontrado indica uma bacia de formato mais alongado. Esse índice é adimensional e varia entre 0 e 1, sendo que, quanto mais próximo de 1, maior é a tendência da bacia em apresentar uma forma circular. Conforme Granell-Péres (2001), o formato alongado da bacia permite um escoamento mais distribuído no canal principal, diminuindo o risco de enchentes, embora o nível de vazão alta seja mais durável. Isso se deve ao fato de que, em uma bacia estreita e longa, com fator de forma baixo, há menor possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo, simultaneamente, toda sua extensão. Outro

Tabela 2: Características fisiográficas e morfométricas da micro bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho

Características Geométricas da Bacia			
Análise Zonal			
Índice de circularidade	Ic	0,43	
Fator de forma	Kf	0,28	
Densidade hidrográfica	Dr	2,22 canais km ⁻²	
Densidade de drenagem	Dd	1,34 km km ⁻²	
Coefficiente de manutenção	Cm	745,37 m ² m ⁻¹	
Análise Hipsométrica			
Amplitude altimétrica	Hm	312 m	
Razão de relevo	Rr	0,022	
Análise Linear			
Relação bifurcação	Rb	1°-2° ordem	2,13
		2°-3° ordem	2,30
		3°-4° ordem	0,72
Extensão do percurso superficial	Eps	0,37 km	
Índice de sinuosidade do canal principal	Is	1,30 km	
Ordem do rio	Classificação hierárquica	4° ordem	

parâmetro utilizado no estudo de forma de bacia foi o fator forma, sendo o mais adequado para representar a forma da bacia hidrográfica avaliada. O resultado obtido consente, a partir de certos princípios, concluir que a bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho apresenta baixa tendência para inundação. Fluxos de inundações dessas bacias alongadas são mais fáceis de controlar do que a partir de bacia circular.

O índice obtido referente à densidade de rios ou densidade hidrográfica foi de 2,22 canais km⁻² em gerar novos flúvios em função das variáveis geomorfológicas, geológicas, vegetacionais, climáticas e hidrológicas. Os valores da densidade de drenagem encontrados na bacia hidrográfica ficaram abaixo de 5,0 km km⁻², o que a classifica como de baixa densidade de drenagem (Tonello *et al.*, 2006), ou seja, possui boa permeabilidade, o que possibilita rapidez de infiltração de água, facilitando o abastecimento do lençol freático. Observa-se ao longo de uma ampla gama de tipos geológicos e climáticos, que é mais provável que ocorra um valor baixo de densidade de drenagem em regiões de material altamente permeável, solo com cobertura vegetal densa e onde o relevo é baixo. Em contrapartida, a alta Dd é favorável em regiões de materiais de superfícies fracas ou impermeáveis, com escassa vegetação e áreas montanhosas. Portanto, o valor de Dd encontrado, representa

as características da bacia em estudo, tendo uma parte preservada e uma outra urbanizada (Figura 4).

O coeficiente de manutenção é o parâmetro que fornece a área mínima necessária para a manutenção de um metro de drenagem. Conforme Granell-Péres (2001), a interpretação dos valores altos e baixos é o inverso da densidade de drenagem, ou seja, um coeficiente alto é indicativo de que a bacia não possui uma boa área para manutenção dos canais. Assim, infere-se que a bacia em estudo não apresenta uma área favorável para manutenção dos canais devido ao alto valor encontrado (Tabela 2). Segundo Calil *et al.* (2012), o Cm aumenta à medida em que o relevo se torna mais plano, diferente do encontrado no Ribeirão Vermelho. No relevo mais acidentado o escoamento superficial tende a seguir a declividade natural do terreno, escavando o solo nos pontos de menor resistência ao cisalhamento, proporcionando uma concentração maior de canais naturais e, por sua vez, maior densidade de drenagem (Calil *et al.*, 2012).

O valor da amplitude altimétrica, obtido a partir do modelo digital elevação (MDE) para a bacia do Ribeirão Vermelho, foi de 312 m, sendo que, o menor valor altimétrico apresentado foi 772 m e o maior 1084 m (Figura 2). O alto valor altimétrico encontrado implica em grande diferencial entre a altitude nas partes

altas da bacia e no exutório, aumentando a velocidade média do escoamento na calha do rio, associada à baixa sinuosidade do mesmo, implicando em menor tempo de concentração. De acordo com Castro e Lopes (2001), quanto maior a altitude da bacia, menor a quantidade de energia solar que o ambiente recebe e, portanto, menos energia estará disponível para influenciar a evapotranspiração, temperatura e precipitação. Além do balanço de energia, a temperatura também varia em função da altitude, em que grandes variações na altitude ocasionam diferenças significativas na temperatura que, por sua vez, também causam variações na evapotranspiração.

Para Granell-Péres (2001), o conhecimento da energia do relevo, expressa pela declividade, significa um fator fundamental na análise morfométrica. A rela-

ção entre declividade e morfologia da bacia hidrográfica é um importante parâmetro a ser mensurado, uma vez que influenciam a relação entre a precipitação e o deflúvio de uma bacia hidrográfica, sobretudo devido ao aumento da velocidade de escoamento superficial, reduzindo a possibilidade de infiltração de água no solo. Como forma complementar, a razão de relevo determina a maior ou menor velocidade de água a escoar na bacia. Neste estudo, o valor encontrado foi considerado baixo, indicando uma menor velocidade de escoamento superficial, possibilitando assim, uma melhor infiltração de água no solo.

Pela distribuição das classes de declividade na bacia, observa-se predominância de declive da classe ondulado (Figura 3), com 67,24% da área de contri-

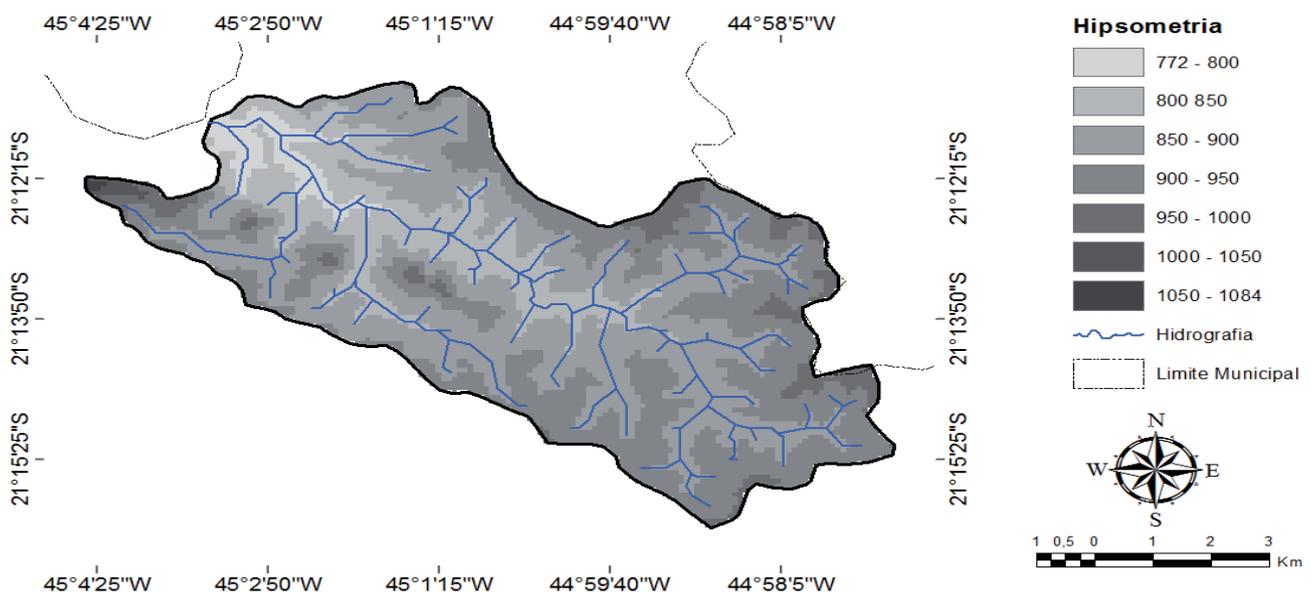


Figura 2 - Hipsometria da Bacia do Ribeirão Vermelho.

buição. O relevo com características suave ondulado tem uma representatividade significativa, com 22,46% da área da bacia do Ribeirão Vermelho. As classes: plano, fortemente ondulado e montanhoso apresentam as menores classes de declividade por km² na bacia. Outro fator importante a ser observado na Figura 3 é que a declividade da bacia favorece o uso e ocupação do solo, tornando-se uma área favorável à agricultura e às pastagem. Segundo Corseuil e Campos (2007), o relevo plano e ondulado representam áreas nobres para o plantio de culturas anuais, como uso de práticas de conservação de solo para controle do processo de erosão. Os 3,65% (2,05 km²) da área total da bacia com declividade superior a 20% devem ser destinadas

para o desenvolvimento de atividade de silvicultura e áreas de preservação permanente. Tal comportamento pode ser observado no mapa de uso e ocupação do solo (Figura 4).

Nesse contexto, o levantamento descritivo dos parâmetros morfométricos, encontrados a partir dos dados extraídos dos MDEs, revelam aspectos condizentes com as características físicas (geomorfologia, geologia, solos) da bacia em estudo. Mesmo assim, ressalta-se a necessidade de estudos mais aprofundados sobre algumas estimativas encontradas. Para isso, o trabalho *in loco* e a associação com outros elementos como a antropização da área devem ser avaliados neste tipo de análise.

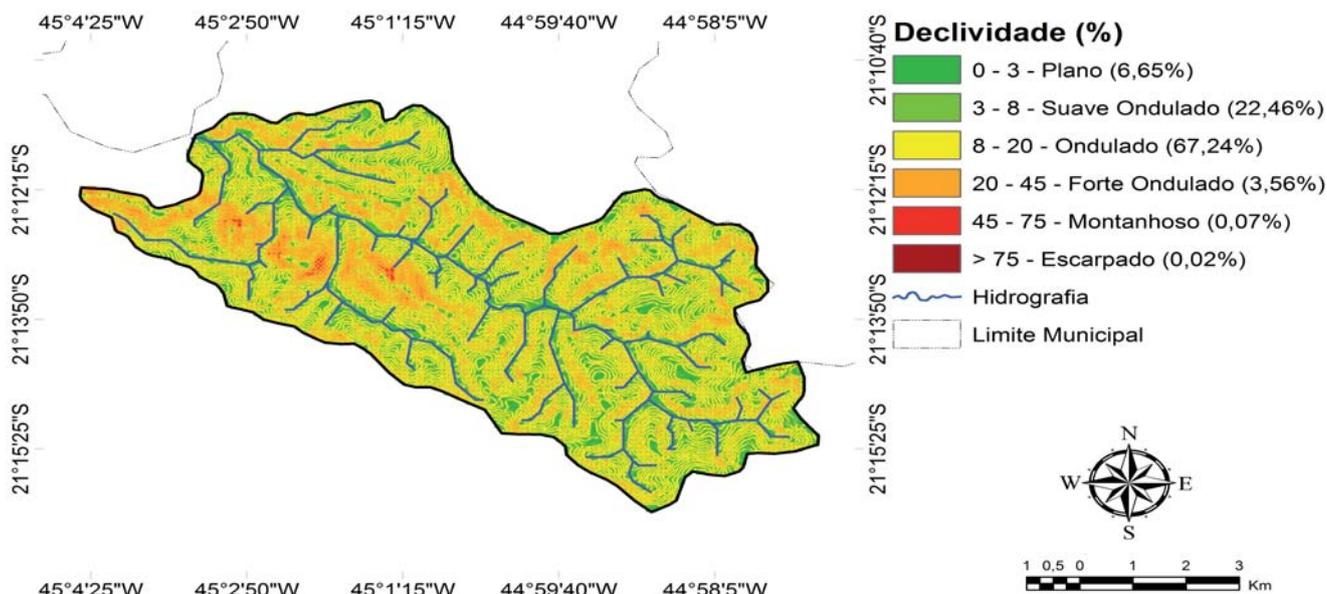


Figura 3 - Distribuição das classes de declividade, segundo EMBRAPA (2006) da bacia do Ribeirão Vermelho.

A designação da ordem do fluxo é um passo importante na caracterização morfométrica da bacia. No presente trabalho, a ordenação do fluxo foi realizada com base no método de classificação hierárquico proposto por Strahler (1964), a partir dos fluxos digitalizados. A hierarquização encontrada na bacia do Ribeirão Vermelho possui ramificação de 4ª ordem, sendo 64 canais de 1ª ordem, com um total de 41,97 km de extensão, 30 de 2ª ordem, totalizando 16,83 km, 13 de 3º ordem com 7,31 km, 18 de 4º ordem medindo 9,30 km, totalizando 125 segmentos com 75,41 km de extensão. O comprimento total dos fluxos de 1ª e 2ª ordem constitui 77,97% do comprimento total do fluxo, podendo-se concluir que o comprimento total dos segmentos do riacho é máxima para os córregos de primeira ordem e diminui à medida que há o incremento das ordens no riacho. Entretanto a 4ª ordem é uma exceção, em que o comprimento do fluxo total (9,30 km) é maior do que o fluxo de 3ª ordem (7,31 km). Esta mudança pode indicar fluxos em altas altitudes, variações litológicas e declividades íngremes a moderada (Figura 2) (Singh e Singh, 1997; Vittala *et al.*, 2004).

A análise linear empregada neste estudo abrange a relação de bifurcação, extensão do percurso superficial e índice de sinuosidade do canal principal. Valores baixos de Rb são características segundo Nag (1998) de bacias hidrográficas, estruturalmente menos perturbadas, sem qualquer distorção no padrão de drenagem. A razão de bifurcação está relacionada com o padrão de ramificação

de uma rede de drenagem e é definida como a razão entre o número de segmentos de uma ordem do ribeirão para a próxima ordem superior da bacia de drenagem (Iqbal, Sajjad, 2014). A relação entre a pequena quantidade de segmentos de alta hierarquia fluvial e a grande quantidade de segmentos de baixa hierarquia fluvial interfere na proporção dos valores de relação de bifurcação. De acordo com Souza (2005), os maiores valores de Rb são representativos de solos mais impermeáveis, enquanto valores menores, os solos são mais permeáveis. Desta forma, os valores de Rb encontrados permitem inferir que os solos da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho possuem uma permeabilidade mediana.

Em relação ao índice de sinuosidade, o valor encontrado foi considerado baixo, inferior a 1,5, enquadrando o curso d'água principal como sendo de baixa energia estrutural, remontando à canais transicionais, regulares ou irregulares (Alves e Castro, 2003). Desse modo, os canais da bacia em estudo indicam as formas transicionais entre canais retilíneos e meandantes. Esses autores destacam ainda, que a sinuosidade dos canais é decorrente da carga de sedimentos, compartimentação litológica, estruturação geológica e declividade dos canais. Portanto, o curso principal da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho pode ser classificado como sinuoso, o que tende a aumentar o tempo de concentração em sua calha, reduzindo o pico de cheia na bacia.

Uma vez que a bacia hidrográfica em estudo possui uma área urbanizada, as influências antropogênicas

sobre a alteração dos padrões de uso da terra é um componente essencial de muitas preocupações ambientais atuais, tendo ganhado reconhecimento como um dos principais impulsionadores das mudanças ambientais

(Riebsame *et al.*, 1994). A Figura 4 apresenta o mapa da cobertura do uso da terra da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho, em que se pode observar um cenário de urbanização com as mudanças do uso da terra de

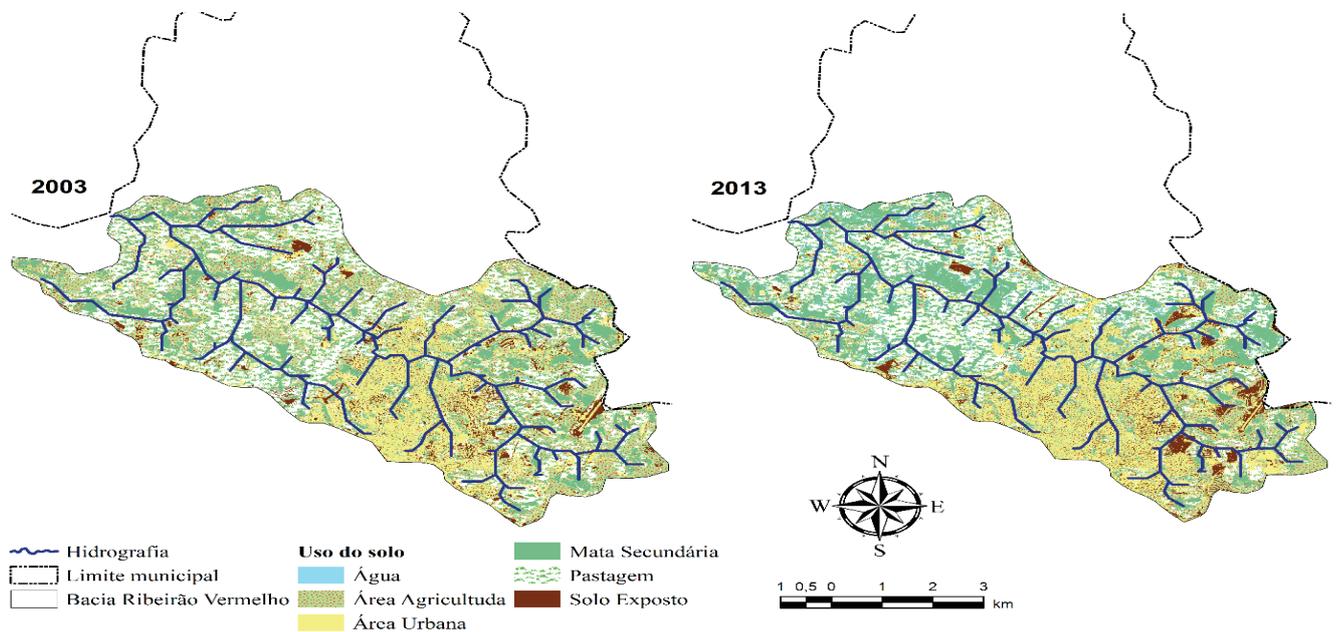


Figura 4 - Mapa do uso da terra na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vermelho nos anos de 2003 e 2013.

2003 a 2013, indicando um período de degradação do solo e de outros recursos.

Conforme apresentado na Tabela 3, a bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho possui alta diversificação no uso e ocupação do solo.

No ano de 2003, o uso do solo demonstrou um predomínio de áreas de pastagem, seguido da área agrícola (34,48 e 27,57%, respectivamente). Para o ano de 2013, o predomínio do uso do solo continuou sendo pela pastagem (32,6%), seguida da área urbana, que re-

presentou 21,4% da bacia estudada. A razão pela qual se destaca a pastagem é a vocação leiteira da região, sendo uma das principais atividades econômicas do município (IBGE, 2010). A pastagem encontra-se localizada em toda a bacia hidrográfica e obteve uma redução da área de 1,88% no ano de 2013 (Tabela 3 e Figuras 4 e 5). A redução da pastagem está ligada à substituição de algumas áreas para o crescimento da mancha urbana do município de Lavras. A área ocupada pela urbanização teve um crescimento de 17,67%, no ano de 2003, para 21,4%, no ano de 2013, representando um acréscimo

Tabela 3: Distribuição percentual do uso e e coberturadosolona bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho, Lavras, MG

	2003		2013	
	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Água	0,05	0,09	2,21	3,9
Mata Secundária	8,42	14,98	10,82	19,3
Área Agricultada	15,49	27,57	9,36	16,7
Pastagem	19,38	34,48	18,31	32,6
Solo Exposto	2,94	5,22	3,49	6,2
Área Urbana	9,93	17,67	12,00	21,4
TOTAL	56,20		56,20	

de 3,73% (Figura 5) da área da bacia hidrográfica, indicando que houve processos de urbanização da região.

O crescimento da cidade resultou do aumento da

população, tendo as regiões periféricas da cidade como alvos para a criação de novos bairros e loteamentos, intensificando a expansão da área urbana sobre outras

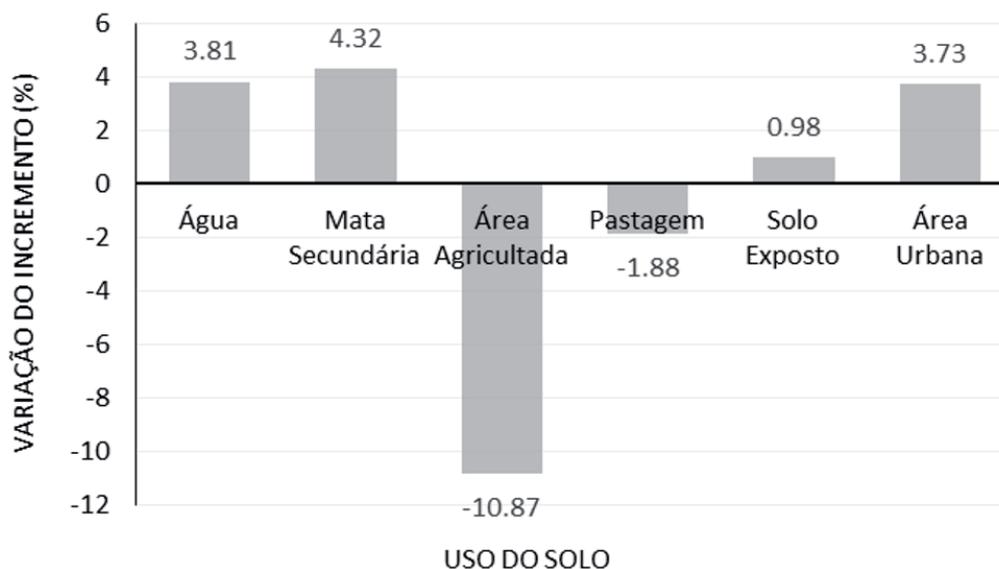


Figura 5 - Variação percentual dos incrementos observados para os diferentes tipos de uso do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho- Lavras, MG, entre os anos de 2003 e 2013.

classes, sobretudo a pastagem. Tal fato pode ser corroborado pelo aumento da classe de solo exposto no ano de 2013 (Tabela 3 e Figura 4).

Observando-se a variação dos valores percentuais dos incrementos decorridos das modificações em cada tipo de uso do solo no período 2003-2013 (Figura 5), constata-se que, em relação às outras classes avaliadas, houve aumento na área de mata secundária e diminuição das áreas agrícolas. Esses valores retratam a tendência de regeneração das áreas florestais existentes e em áreas de uso agropecuário abandonados, principalmente em áreas de difícil acesso e áreas de preservação permanente. O abandono dessas áreas de uso agropecuário provavelmente esteve e está relacionado com o processo de êxodo rural, que levou diversas famílias a fixarem moradia e exercerem atividades remuneradas na cidade de Lavras, processo este que foi registrado em todo Brasil na década passada.

Ao observar o mapa de uso e cobertura da terra de 2013 (Figura 4), percebe-se que as áreas de uso agropecuário, apesar de apresentarem tendência de redução da área total, mantiveram-se ou até foram ampliadas nas áreas mais planas, características que favorecem a

mecanização da produção, maior produtividade e maior facilidade de trabalhar a terra.

O principal motivo pelo qual o deflúvio em uma bacia hidrográfica está intimamente ligado ao uso e ocupação do solo está relacionado ao coeficiente de escoamento superficial (C). De forma simplificada, a intensidade da chuva, o tipo de solo, sua inclinação e sua cobertura determinam a infiltração da água no solo e, por consequência, a vazão máxima no canal. A Tabela 4 apresenta os valores dos coeficientes de escoamento superficial médio (C) para a bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho para os períodos de retorno de 2, 5, 10 e 25 anos, obtidos pela média ponderada dos valores apresentados por Mello e Silva (2013) para os diferentes tipos de cobertura do solo e declividade.

Os valores médios dos coeficientes C foram obtidos pela ponderação das áreas referentes às diferentes coberturas do solo. Observa-se, na referida tabela, que não houve alterações nos valores de C em função das alterações nas áreas referentes às diferentes coberturas do solo na área da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho entre os anos de 2003 e 2013. Embora a área urbana e de solo exposto tenham sofrido um aumento de

4,71% o que, provavelmente, proporciona um aumento no coeficiente de escoamento médio da bacia, verifica-se que os valores não se alteraram em resposta ao decréscimo nas áreas de pastagem e cultivadas (12,75%) e ao aumento das áreas vegetadas (4,32%).

Empregando a relação intensidade-duração-frequência para Lavras (Equação 1), para o tempo de duração (td) igual ao tempo de concentração obtido pela equação de Giandotti de 264,32 min e os períodos de retorno de 2, 5 10 e 25 anos, estimou-se as intensidades da chuva apresentadas na Tabela 5, permitindo assim, a

determinação das vazões de pico. Para tal, empregou-se o coeficiente de retardamento estimado por Euclides e Piccolo (1985), igual a 0,259. Observa-se na Tabela 5 que, para os anos de 2003 e 2013, não se verificou variações nas vazões de pico geradas na bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho em função da constância dos coeficientes médios do escoamento superficial para os diferentes períodos de retorno. Porém, avaliando a contribuição das coberturas de solo que sofreram as maiores alterações com relação às áreas de ocupação dentro da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho (área

Tabela 4: Coeficiente de escoamento pelo uso e ocupação do solo na microbacia do Ribeirão Vermelho, Lavras, MG

Cobertura do solo – 2003	%	TR				Cobertura do solo – 2013	%	TR			
		2	5	10	25			2	5	10	25
		Valores de C						Valores de C			
Mata Secundária	14,98	0,31	0,34	0,36	0,40	Mata Secundária	19,30	0,31	0,34	0,36	0,40
Área Agricultada	27,57	0,35	0,38	0,41	0,44	Área Agricultada	16,70	0,35	0,38	0,41	0,44
Pastagem	34,48	0,33	0,36	0,38	0,42	Pastagem	32,60	0,33	0,36	0,38	0,42
Solo Exposto	5,22	0,37	0,40	0,43	0,46	Solo Exposto	6,20	0,37	0,4	0,43	0,46
Área Urbana	17,67	0,73	0,77	0,81	0,86	Área Urbana	21,40	0,73	0,77	0,81	0,86
C médio		0,41	0,44	0,46	0,50	C médio		0,41	0,44	0,46	0,50

urbana, mata secundária e agricultura), verifica-se que aumentos nas vazões geradas com o aumento das áreas urbanizadas e de matas secundárias e uma redução nas áreas utilizadas com agricultura.

Embora o aumento da área urbana tenha sido inferior ao da mata secundária e à diminuição da área agricultada, sua contribuição no aumento da vazão de pico é maior, uma vez que o coeficiente de escoamento associado a este uso do solo é da ordem de 0,73, enquanto o aumento da mata secundária está associado a um coeficiente de 0,31 e a diminuição da área agricultada a 0,35. Neste sentido, percebe-se que a manutenção da vazão de pico na bacia hidrográficoado Ribeirão Vermelho entre 2003 e 2013 ocorre em função destas relações praticamente se anularem.

Como já abordado anteriormente, a configuração espacial da paisagem, expressa pelos mapas de uso e cobertura da terra, decorre das ações naturais e antrópicas sobre esta. Assim sendo, a dinâmica da paisagem envolve, basicamente, a evolução espacial do sistema ao longo do tempo. Desta forma, a adoção de métodos conservacionistas do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho deve observar a grande influência das atividades agrárias e de urbanização. O planejamento da ocupação e o manejo agrícola deste território devem priorizar o uso sustentável do solo. Segundo Corseuil e Campos (2007) o uso do solo deve ser planejado conforme a declividade das diferentes áreas de uma bacia hidrográfica, pois sem esse planejamento, pode-se favorecer o processo erosivo e as perdas de solo.

Tabela 5: Vazão de pico na microbacia do Ribeirão Vermelho, Lavras, MG e contribuição do uso do solo

Tempo de Retorno		2	5	10	25
Chuva intensa		15,46	18,21	20,62	24,29
	Área (km ²)				
Vazão de pico total em 2003 (m ³ s ⁻¹)	56,2	25,3	32,14	38,62	49,28
Vazão de pico total em 2013 (m ³ s ⁻¹)	56,2	25,3	32,09	38,48	49,10
Contribuição da área urbana em 2003 (m ³ s ⁻¹)	17,67	8,06	10,01	11,92	14,92
Contribuição da área urbana em 2013 (m ³ s ⁻¹)	21,4	9,74	12,10	14,41	18,03
Contribuição da mata secundária em 2003 (m ³ s ⁻¹)	14,98	2,90	3,75	4,49	5,88
Contribuição da mata secundária em 2013 (m ³ s ⁻¹)	19,3	3,73	4,82	5,77	7,56
Contribuição da área agricultada em 2003 (m ³ s ⁻¹)	27,57	6,03	7,71	9,42	11,91
Contribuição da área agricultada em 2013 (m ³ s ⁻¹)	16,7	3,64	4,66	5,69	7,19

Conclusão

Foi realizada a avaliação fisiográfica da micro bacia do Ribeirão Vermelho, análise espaço temporal das mudanças do uso e ocupação do solo, relacionando com regime de vazão máxima.

O formato alongado da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho tende a proporcionar um maior tempo de concentração na fase canal devido à menor sinuosidade e extensão do curso d'água principal, evidenciando menor risco de cheias em condições normais de pluviosidade anual.

Observou-se um predomínio de declive ondulado, caracterizando o relevo e drenagem deficiente.

A avaliação das mudanças do uso e ocupação do solo de 2003 e 2013 retrata um aumento da área urbana, em contrapartida houve um aumento de mata secundária. Estas alterações não contribuíram, portanto, para modificar a vazão de pico no exutório da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho, o que não descarta a necessidade de preservação dos remanescentes na bacia.

Referências Bibliográficas

AHER, P. D.; ADINARAYANA, J.; GORANTIWAR, S. D. Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: a remote sensing and GIS approach. **Journal of Hydrology**, v.511, p. 850-860, 2014.

ALI, S. A.; KHAN, N. Evaluation of morphometric parameters – a remote sensing and GIS Based Approach. **Open Journal of Modern Hydrology**, v.3, p.20-27, 2013.

ALPINO, S. O.; PEREIRA, F. C. S.; LEÃO, O. M. R. Parâmetros morfométricos do alto curso da bacia do Rio Macaé (RJ): Subsídios ao entendimento da dinâmica geomorfológica. **Revista Tamoios**, v.4, p.1-23, 2007.

ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Influência das feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, v.33, n.2, p.117-124, 2003.

BESKOW, S. MELLO, C. R. COELHO G. SILVA, A. M. VIOLA, M. R. Estimativa do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica com base em modelagem dinâmica e distribuída. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.169-178, 2009.

CALIL, P. M.; OLIVEIRA, L. F. C.; KLIEMANN, H. J.; OLIVEIRA, V. A. Caracterização geomorfológica e do uso do solo da Bacia Hidrográfica do Alto Meia Ponte, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.4, p.433-442, 2012.

CARVALHO, F. A.; LACERDA, M. P. C. Monitoring environmental impact of land use: Evaluating an agricultural area of Distrito Federal, Brazil. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v.36, p.25-29, 2006.

CASTRO, P.; LOPES, J. D. S. **Recuperação e conservação de nascentes**. Viçosa, MG: CPT, 2001. 84p.

CHAVES, A. A. A.; LACERDA, M. P. C.; KATO, E.; GOEDERT, W. J.; RAMOS, M. L. G. Uso das terras da parte norte da bacia do rio Descoberto, Distrito Federal, Brasil. **Bragantia**, v.69, p.711-718, 2010.

- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980, 186p.
- CORSEUIL, C. W.; CAMPOS, C. Geoprocessamento aplicado na determinação das classes de declividade e uso de terras da microbacia do Arroio Ajuricaba - Marechal Cândido Rondon - PR. **Engenharia Agrícola**, v.22, n.1, p.33-41, 2007.
- EUCLYDES, H. P.; PICOLLO, M. J. **Aplicação de um critério de semelhança hidrológica pela distribuição de probabilidade de vazão de pico de cheia da microregião do circuito das águas – Sul de Minas Gerais**. Milano, Instituto de Idraulica e Construzioni Idrauliche del Politecnico de Milano – Itália, 1985.
- FELTRAN FILHO, A.; LIMA, E. F. Considerações morfométricas da bacia do rio Uberabinha – Minas Gerais. **Sociedade & Natureza**, v.19, n.1, p.65-80, 2007.
- GRANELL-PÉREZ, M. C. **Trabalhando Geografia com as cartas topográficas**. Ijuí: Ed. Unijuí, 128p. 2001.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v.56, p.275–370, 1945.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Brasília: Imprensa Nacional/Diário Oficial da União, nº 211, Seção 1, p.110, 2010.
- IQBAL, M.; SAJJAD, H. Watershed prioritization using morphometric and land use/land cover parameters of Dudhganga Catchment Kashmir Valley India using spatial technology. **Journal Geophys Remote Sensing**, v.3, p. 1-12, 2014.
- IQBAL, M.; SAJJAD, H., BHAT, F. A. Morphometric analysis of Shaliganga Sub Catchment, Kashmir Valley, India using geographical information system. **International Journal Engineering Trends and Technology**, v.4, p.10-21, 2013.
- IQBAL, M.; SAJJAD, H.; BHAT, F. A. Watershed level morphometric analysis of Dudhganga catchment, Kashmir Valley, India using geographical information system. **International Journal of Current Research**, v.4, p.410-416, 2012.
- KALANTARI Z. A.; LYONB, S. W.; FOLKESONA, L.; FRENCH, H. K.; STOLTE, J. D.; JANSSENE, P.; SASSNER, M. F. Quantifying the hydrological impact of simulated changes in land use on peak discharge in a small catchment. **Science of the Total Environment**, v.8, n.1 p.466–467, 2014.
- KAYNE, J. P.; GROFFMAN, P. M.; GRIMM, N. B.; BAKER, L. A.; POUYAT, R. V. A distinct urban biogeochemistry? **Trends in Ecology and Evolution**, v.21, n.4, p.192-199, 2006.
- LAGO, W. N. M.; LACERDA, M. P. C.; NEUMANN, R.B.; BORGES, T. D. Ocupação e adequação do uso das terras na microbacia do Ribeirão Extrema, Distrito Federal – Parte I. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.3, p.289-296. 2012.
- MELLO, C. R. LIMA, J. M. SILVA, A. M. Simulação do deflúvio e vazão de pico em microbacia hidrográfica com escoamento efêmero. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.4, p.410–419, 2007.
- MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. UFLA 455p., 2013.
- MIRANDA, E. E. de; (Coord.). Brasil em Relevô. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpem.br>>. Acesso em: 28 set. 2013.
- OLIVEIRA, L. F. C.; CALIL, P. M.; RODRIGUES, C.; LIEMANN, H. J.; OLIVEIRA, V. A. Potencial do uso dos solos da bacia hidrográfica do alto rio Meia Ponte, Goiás. **Ambi-Agua**, Taubaté, v.8, n.1, p.222-238, 2013.
- PRADO, H. **Manual de classificação de solos do Brasil**. 3ed. Jaboticabal: FUNEP, 194 p., 1996.
- PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a terra**. Tradução Rualdo Menegat, 4ed. Porto Alegre: Bookman, 656p., 2006.
- RATKE, R. F.; FRAZÃO, J. F.; CALIL, P. M.; CEDRO, D. A. B. Caracterização ambiental da microbacia do córrego Samambaia, Goiânia-GO, utilizando SIG. **Global Science and Technology**, v.6, n.1, p.1-11, 2013.
- RIEBSAME, W. E.; MEYER W. B.; TURNER II B. L. Modelling land use and cover as part of global environmental change. **Climate Change**, v.28, n.4, p.5-64, 1994.
- SANTOS, A. R.; EUGENIO, F. C. **ArcGIS 9.3 total: aplicações para dados espaciais**. 2. ed. Alegre, ES: CAUFES, v.1. 184 p., 2010.
- SCHUMM, S. A. Evaluation of drainage system and slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, v.67, p.597–646, 1956.
- SILVA, M. T. G; LACERDA, M. P. C.; CHAVES, A. A. A. Geotecnologia aplicada na avaliação do uso das terras da microbacia do ribeirão João Leite, Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39, p.330-337, 2009.
- SINGH, P. S.; THAKUR, J. K.; SINGH, U. C. Morphometric analysis of Morar River Basin, Madhya Pradesh, India, using

- remote sensing and GIS techniques. **Environmental Earth Sciences**, v.68, n.1, p.1967-1977, 2013.
- SINGH, S.; SINGH, M. C. Morphometric analysis of Kanhar river basin. **The National Geographical Journal of India**, v.1: p.31-43, 1997
- SOUZA, C. R. G. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. n.1, p.45-61, 2005.
- STRAHLER, A. N. **Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks**. In: Chow VT (ed) Handbook of applied hydrogeology. McGraw-Hill, New York, p.4-76, 1964.
- TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, v.20, p.137-157, 2007.
- TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeiradas Pombas, Guanhães-MG. **Revista Árvore**, v.30, p.849-857, 2006.
- TURNER, B. L. II.; CLARK, C.; KATES, R. W.; RICHARDS, J. F.; MATHEWS, J. T. **The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years**. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 732p., 1990.
- VITTALA, S.; GOVINDAIAH, S.; HONNE, G. H. Morphometric analysis of sub-watersheds in the Pavagada area of Tumkur district, South India using remote sensing and GIS techniques. **Journal of the Indian Society for Remote Sensing**, v.4, p.351-362, 2004.