

Caracterização morfométrica: estudo de caso da bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos, Paraíba, Brasil

A análise morfométrica é largamente utilizada na obtenção de informações sobre a dinâmica e comportamento de um ambiente natural, sendo de grande importância nos estudos geomorfológicos e ambientais. Este trabalho foi realizado objetivando-se determinar as características morfométricas da bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos, Paraíba/Brasil. Foi usado sistema de informações geográficas (SIG) por intermédio do software QGIS 2.14.11, permitindo assim realizar o georreferenciamento e as análises espaciais de bases vetoriais e matriciais. Um arcabouço de índices morfométricos foram calculados, constatando de forma significativa as potencialidades dessas tecnologias. A área da bacia foi de 718,51 km² e perímetro de 182,9 km. Entre os resultados pode-se destacar que a bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos possui baixa suscetibilidade de enchentes, parâmetros com características de uma bacia alongada e uma drenagem regular.

Palavras-chave: Parâmetros; Paisagem; Hidrografia.

Morphometric characterization: a case study of the watershed from Riacho dos Grossos, Paraíba, Brazil

The morphometric analysis is widely used in research on the dynamics and behavior of a natural environment and thus it is of great value for geomorphological and environmental studies. This work had how objective to determine the morphometric characteristics of the hydrographic basin from Riacho dos Grossos, Paraíba/Brazil. The tool used was the SIG for intermediate of the software QGIS 2.14.11, while also to realize the georeferencing and spatial analysis of vector and matrix bases. A range of morphometric indices was calculated, indicating the potential of these technologies. The calculated area was 718.51 km² and 182.9 km of perimeter. Among the results of the study it can be highlighted that the hydrographic basin from Riacho dos Grossos presented a low susceptibility flood, with the parameters of an elongated basin and a regular drainage.

Keywords: Parameters, Landscape, Hydrography.

Topic: **Hidrogeografia**

Received: **10/02/2019**

Approved: **25/03/2019**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Gleyton Lopes Barboza Lacerda
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0941837243510458>
gleytonlb@gmail.com

Lílian de Queiroz Firmino
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6018151776912255>
naaili_2008@hotmail.com

Ana Cecília Novaes de Sá
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4565532080624116>
ananovaees1@gmail.com

Olávio Rocha Neto
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9750143696204633>
olavorochaneto12@gmail.com

Viviane Farias Silva 
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5011520274887172>
<http://orcid.org/0000-0002-5891-0328>
flordeformosur@hotmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2019.002.0030

Referencing this:

LACERDA, G. L. B.; FIRMINO, L. Q.; SÁ, A. C. N.; ROCHA NETO, O.; SILVA, V. F.. Caracterização morfométrica: estudo de caso da bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos, Paraíba, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.2, p.362-376, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.002.0030>

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica ou de drenagem pode ser definida como uma região delimitada por divisores de água, inserida em um espaço territorial, onde os diversos cursos d'água inteiramente distribuídos na bacia, sejam eles intermitentes ou perenes, escoam para um ponto menos elevado, ou seja, para o exutório (SILVEIRA, 2009). Utilizar a bacia hidrográfica como base para unidade de planejamento e gestão possibilita uma melhor percepção sobre as potencialidades e fragilidades de um ambiente por meio do diagnóstico ambiental (RUFO et al., 2014). De acordo com Lopes (2018) a bacia hidrográfica é considerada como a maneira mais eficaz para gerenciamento de uso dos recursos naturais, por seus limites serem com estabilidade tornando acessível o monitoramento das modificações no uso e ocupação dos recursos hídricos.

A adequada avaliação dos recursos hídricos, utilizando o monitoramento dos dados relativos a uma microbacia, por exemplo, possibilita o planejamento adequado de ocupação do solo em relação ao seu potencial e de suas limitações, sendo possível o uso racional e equilibrado com a natureza, fomentando a sustentabilidade (CAMPOS et al., 2012). Com o crescimento da demanda hídrica com modificações na vazão dos cursos dos rios, diminuição de regiões de infiltração de precipitações e elevada taxa de escoamento superficial são fatores que influenciam na qualidade dos recursos hídricos, dessa maneira o gerenciamento dos recursos hídricos têm uma das fases fundamentais para impulsionar a conservação em quantidade e qualidade dos recursos das bacias hidrográficas, englobando intervenções que regulamentam o uso, controle e proteção dos recursos hídricos levando em consideração a legislação pertinente, assim como na avaliação de bacias hidrográficas duas características relevantes como, o tamanho da bacia e o limite territorial deve ser levados em consideração (LOPES, 2018).

As dimensões de uma bacia hidrográfica, segundo Lopes (2018) é considerada como instrumento de gestão dos recursos hídricos é evidenciada na ocasião de estudar os parâmetros, em que bacias hidrográficas com menores dimensões são mais simples a gestão e a tomada de decisões estratégicas, buscando o uso sustentável com a participação popular conseguindo visualizar as problemáticas e as formas de amenizar e recuperar as áreas degradadas. Magesh et al. (2013) e Moghaddam et al. (2015) relatam que através da declividade da bacia hidrográfica é possível identificar se a legislação está sendo executada, a forma de manejo e a gestão dos recursos hídricos. Bacias hidrográficas com altas declividades têm maior potencial de perda de solo, como afirmam Magesh et al. (2013).

A delimitação e caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é amplamente aplicada para diversas análises ambientais, sendo considerada uma captação natural da água de precipitação fazendo todo o escoamento produzido ser direcionado para um mesmo ponto (ANDRADE, 2009). Santos et al. (2012) expõem que as características físicas de uma bacia hidrográfica têm função relevante na análise do ciclo hidrológico. Nesta perspectiva, muitas pesquisas foram desenvolvidas buscando entender a dinâmica da bacia hidrográfica e do meio ambiente, em relação as suas características morfométricas e auxiliando na gestão dos recursos hídricos. Oliveira et al. (2010) realizando a caracterização morfométrica de bacias hidrográficas em SIG, constataram que este parâmetro é essencial para a gestão das águas, outros autores

como Elesbon et al. (2011) e Sreedevi et al. (2013), ainda afirmam que estes estudos têm algumas vantagens como redução de custos e tempo com uso de ferramentas SIG.

Os procedimentos de geoprocessamento é uma das ferramentas utilizada na caracterização morfométrica devido à forma diversificada e ágil na produção de resultados (FONSECA et al., 2013). Segundo Bezerra et al. (2011) o uso de geoferramentas tem sido importante na coleta de informações ambientais, no intuito de garantir o gerenciamento e gestão integrada dos recursos naturais. O desenvolvimento tecnológico em geoprocessamento, como SIG e Modelo Digital de Elevação (MDE) auxilia na realização de pesquisas para analisar bacias hidrográficas de maneira rápida e eficiente, com resultados significativos e precisos, conforme Fraga et al. (2014).

Gerber et al. (2018) descrevendo as características morfométricas de bacias hidrográficas perceberam que estas análises permitiram verificar a susceptibilidade de ocorrência de enchente, sendo importante associar esta variável com informações hidrometeorológicas. Nesta perspectiva, a compreensão dos recursos hídricos para o manejo e uso, através da análise das bacias hidrográficas engloba as ações antrópicas, econômicas e socioambientais, tornando-se um quesito primordial em pesquisas de sustentabilidade, afirmam Rocha et al. (2014). Nesse contexto, a presente pesquisa foi realizada objetivando-se determinar as características morfométricas da bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos – Paraíba, Brasil.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada na bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos, localizada no Estado da Paraíba (Figura 1), região Nordeste do Brasil no sertão Paraibano, entre as latitudes $6^{\circ}39'16,29''S$ e $6^{\circ}59'35,92''S$ e as longitudes de $37^{\circ}44'12,72''W$ e $37^{\circ}27'57,58''W$, abrangendo os seguintes municípios: Condado, Malta, Vista Serrana, e parte de Paulista, Pombal e São Bentinho. Segundo o IBGE, esses municípios possuem juntos uma população estimada em 65.840 mil habitantes.

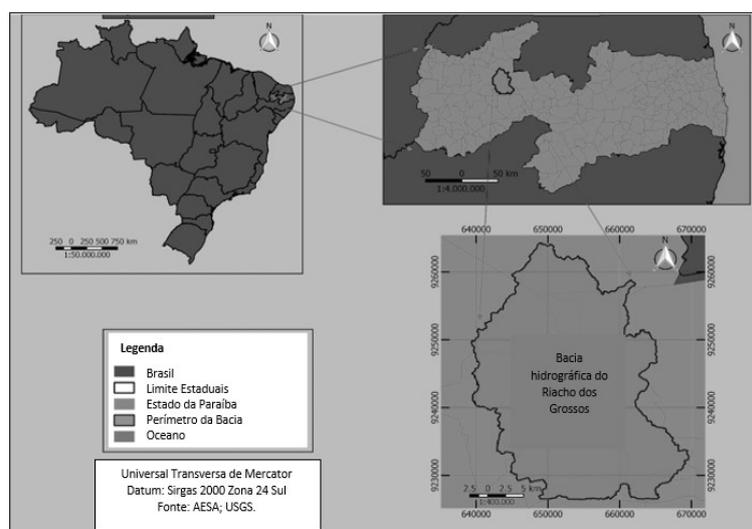


Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos (Paraíba, Brasil).

Estruturação do banco de dados

O tratamento das bases matriciais e vetoriais ocorreu seguindo a estruturação de um banco de dados georreferenciados, onde estes foram reprojatados para o sistema de coordenadas planas, ou seja, para o Sirgas 2000 Zona 24 Sul. Os dados vetoriais foram retirados gratuitamente do site da Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba (AESA). As bases matriciais – MDE com resolução espacial 30x30 – foram adquiridas gratuitamente no site *Earth Explorer* pertencente ao Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).

Delimitação da bacia

A delimitação da Bacia Hidrográfica do Riacho dos Grossos foi feita através de procedimentos básicos e específicos do *software QGIS* aplicados no MDE (Modelo Digital de Elevação). Para criação do limite da bacia em estudo foram utilizados os geoalgoritmos *r.watershed*, *r.water.outlet* e *r.to.vect*, ambos comandos executados pela ferramenta *GRASS GIS 7*. As delimitações automáticas de bacias hidrográficas têm melhores resultados quando comparado a métodos manuais, com uma menor subjetividade mesmo quando utilizado diferentes tipos de materiais de apoio ou softwares, isso foi detalhado no trabalho de Merkel et al. (2008).

Caracterização morfométrica

As principais características morfométricas da bacia hidrográfica, em suas linhas básicas, seguiram aos conceitos de Villela et al. (1975), Horton (1945), Schumm (1956), Strahler (1952), Christofolletti (1980), entre outros. As determinações de alguns outros parâmetros/índices foram feitas a partir de procedimentos básicos do QGIS, destacando-se a calculadora de campo e a régua da interface do *QGIS*.

Características geométricas

As principais medidas da bacia hidrográfica, sendo assim representadas e calculadas pelas fórmulas, sendo elas descritas abaixo.

$$\bar{L} = \frac{A}{L} \quad \text{Eq (1)}$$

$$Kf = \frac{A}{L^2}; Kf = \frac{\bar{L}}{L} \quad \text{Eq (2)}$$

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{Eq (3)}$$

$$Fc = \frac{A}{L_a^2} \quad \text{Eq (4)}$$

$$Ic = 12,57 \frac{A}{P^2} \quad \text{Eq (5)}$$

$$R_e = 1,128 \left[\frac{A^{0,5}}{L_a} \right] \quad \text{Eq (6)}$$

Em que:

A = área da bacia, km²;

P = perímetro da bacia, km;

La = comprimento axial da bacia hidrográfica, km;

\bar{L} = largura média da bacia, km Eq (1);

Kf = fator de forma, adimensional Eq (2);
 Kc = coeficiente de compacidade, adimens. Eq(3);
 FC = índice de conformação, adimensional Eq (4);
 IC = índice de circularidade, adimensional Eq (5); e
 Re = razão de alongação, adimensional Eq (6)

Características hidrológicas

Relaciona-se as principais condições métricas da rede hidrográfica da bacia, desse modo serão calculados pelas fórmulas abaixo. As metodologias adotadas foram basicamente a Strahler (1952) e a de Villela et al. (1975).

$$D_d = \frac{\sum L_c}{A} \quad \text{Eq (7)}$$

$$D_h = \frac{N}{A} \quad \text{Eq (8)}$$

$$\text{Sin} = \frac{L_r}{L} \quad \text{Eq (9)}$$

$$I_s = \frac{L_r - L}{L} \quad \text{Eq (10)}$$

$$C_m = \frac{1}{D_d} 1000 \quad \text{Eq (11)}$$

$$E_{ps} = \frac{1}{2D_d} 100 \quad \text{Eq (12)}$$

Em que:

N = número de cursos d'água;

L_r = comprimento do rio principal, km;

L = comprimento do eixo, km;

$\sum L_c$ = somatório do comprimento dos cursos d'água, km;

D_d = densidade de drenagem, km.km⁻² Eq (7);

D_h = densidade hidrográfica, cursos.km⁻² Eq (8);

Sin = sinuosidade do curso d'água, km.km⁻¹ Eq (9);

I_s = índice de sinuosidade, % Eq (10);

C_m = coeficiente de manutenção, m².m⁻¹ Eq (11);

E_{ps} = extensão do percurso superficial, m Eq (12);

A = área da bacia, km²;

L_r = comprimento do curso d'água principal, km; e

L = comprimento do eixo/talvegue, km.

Características do Relevo

Essas características estão relacionadas as principais medidas das particularidades da topografia, sendo assim calculadas pelas fórmulas descritas posteriormente:

$$H_d = \Delta_a \cdot D_d \quad \text{Eq (13)}$$

$$R_r = \frac{\Delta_a}{L_r} \quad \text{Eq (14)}$$

$$G_c = \frac{\Delta_r}{L_r} \quad \text{Eq (15)}$$

Em que:

H_d = índice de rugosidade, adimensional Eq (13);

R_r = razão de relevo, m.m⁻¹ Eq (14);

G_c = gradiente do canal principal, % Eq (15);

Δ_a = amplitude altimétrica da bacia, m;

Δ_r = amplitude altimétrica do curso d'água principal, m;

D_d = densidade de drenagem, km.km⁻²;

L_r = comprimento do curso d'água principal, km; e

L_a = comprimento axial da bacia hidrográfica, km.

Mapa hipsométrico e curva hipsométrica

O mapa hipsométrico foi produzido através de procedimentos básicos no QGIS. De início os dados nulos do MDE foram corrigidos pelo geoolgoritmo *r.fillnull*. Os valores de mínimo e máximo foram redefinidos para 157 m e 643 m de altitude respectivamente. A reclassificação para agrupamento das classes de altimetria é feita através do geoolgoritmo *r.recode*, que reclassifica o *raster* de acordo com regras categóricas. Foram definidos seis (6) faixas de altitude variando de 100 e 100 metros, distribuídas dos 157 aos 643 metros de altitude e as regras categóricas também foram definidas, sendo: 1,2,3,4,5 e 6. Logo após foi executado o comando e a imagem foi reclassificada. O procedimento final de ajuste de cores e definição das faixas de altitude ocorreu na aba estilo inclusa nas propriedades da camada.

Para criação da curva hipsométrica através do cálculo da distribuição de altitude se utilizou múltiplas funcionalidades da planilha eletrônica Excel, onde os intervalos de classe da altitude foram definidos de 54 em 54 metros. O cálculo da área entre os intervalos de classe das altitudes foi feito através de comandos da ferramenta GRASS GIS 7. O procedimento para cálculo das áreas iniciou-se pela reclassificação do MDE pelo geoolgoritmo *r.recode* adotando dez (10) intervalos de classe com suas respectivas regras categóricas Já reclassificada, a imagem foi vetorizada com uso do geoolgoritmo *r.to.vect*. Desse modo foi possível calcular as áreas entre os intervalos de classe das altitudes com auxílio da calculadora de campo fornecida pela tabela de atributos da camada vetorial gerada.

Modelo Tridimensional do Relevo

O intuito dessa representação nesse estudo foi demonstrar principalmente os limites e as elevações mais acentuadas da bacia. O modelo 3D foi elaborado com utilização do MDE da bacia com auxílio do complemento *Qgis2threejs* do *software* QGIS.

Mapa das Declividades e Curva das Declividades

O mapa de declividade foi confeccionado de uma forma bem semelhante ao mapa hipsométrico a partir de procedimentos básicos no QGIS. A etapa se inicia com a transformação do MDE em plano de informação de declividade (*slope*), para isso utilizou-se o geoolgoritmo *r.slop.aspect* escolhendo o formato de saída em porcentagem(%). Os valores de mínimo e máximo foram redefinidos para 0 % e 142,608 % respectivamente. A reclassificação para agrupamento das classes de declividade é feita através do geoolgoritmo *r.recode*, que reclassifica o *raster* de acordo com regras categóricas. As declividades foram reclassificadas conforme a classificação proposta pela EMBRAPA (1979), onde são definidas seis (6) faixas de declividades ao mesmo tempo que as regras categóricas são definidas, sendo elas: 1,2,3,4,5 e 6. Em seguida foi executado o comando e a imagem foi reclassificada.

Para melhor representar as declividades na área da bacia, foi construída uma curva de distribuição das declividades em seus trechos, sendo utilizado o mapa de declividade para extrair as informações

necessárias para sua confecção. Os dados são agrupados por classes e relacionados com as respectivas áreas. No cálculo da distribuição de altitude foi utilizado múltiplas funcionalidades da planilha eletrônica Excel, onde os intervalos de classe das declividades foram definidos. O cálculo da área entre os intervalos de classe das declividades foi feito através de comandos da ferramenta *GRASS GIS 7*. O procedimento para cálculo das áreas iniciou-se pela reclassificação do *Slope* da bacia criado pelo geolgoritmo *r.recode* adotando dez (10) intervalos de classe com suas respectivas regras categóricas. Já reclassificada, a imagem foi vetorizada com uso do geolgoritmo *r.to.vect*. Desse modo foi possível calcular as áreas entre os intervalos de classe das declividades com auxílio da calculadora de campo fornecida pela tabela de atributos da camada vetorial.

Perfil Longitudinal do Rio Principal

O gráfico do perfil longitudinal do rio foi elaborado com utilização do MDE da bacia juntamente da camada vetorial do rio principal através do complemento *Terrain profile* do software QGIS. As declividades médias de álveo (*s1*, *s2* e *s3*) foram encontradas a partir de cálculos de rotina na planilha eletrônica Excel.

Mapa da ordenação dos rios e mapa da rede de drenagem

O procedimento para criação do mapa de ordenação dos rios utilizou geolgoritmos da ferramenta de processamento *SAGA 2.1.2*. Iniciou-se pelo preenchimento das depressões da imagem SRTM com o geolgoritmo *fillsinks* (wang&liu). Com a imagem corrigida (*filled*) foi possível extrair a rede de drenagem com suas devidas ordenações através do geolgoritmo *Channel network and drainage basins*. O limite escolhido na caixa *Threshhold* foi '5', sendo esse limite o que melhor se aproximou da realidade terrestre. A camada gerada é dada em formato de *raster*, assim foi necessário vetorizá-la com uso do geolgoritmo *r.to.vect*.

A rede de drenagem utilizada para confecção do mapa foi a mesma gerada anteriormente pelo *SAGA 2.1.2*. Com a camada vetorial da rede de drenagem foi possível obter alguns dados métricos importantes para o estudo, como: o número de cursos d'água da bacia, o comprimento total dos cursos d'água e o comprimento do rio principal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa hipsométrico disposto na Figura 2 representa o comportamento espacial das altitudes, ou seja, o modelo digital de elevação (MDE) da bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos - BHRG. A amplitude altimétrica da bacia é de 485 m, sendo a altitude mínima 158 m e a altitude máxima de 643 m. A análise da curva hipsométrica, Figura 3, nota-se que cerca de 59,04% da área da bacia (424,19 km²) está compreendida entre altitudes de 211 a 265 m e apenas 3,71% da área da bacia (26,79 km²) possui altitudes iguais ou superiores a 373 m. A altitude média é de 254 m e a altitude mediana é aproximadamente 244 m.

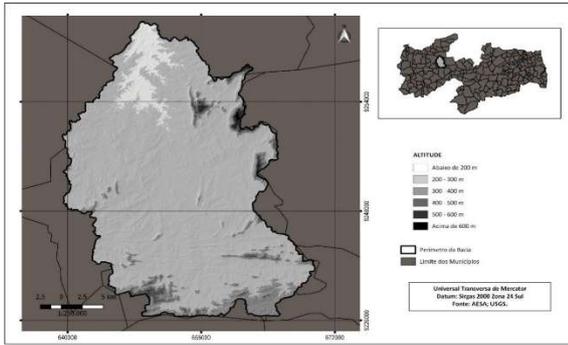


Figura 2: Mapa de altitudes da bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos.

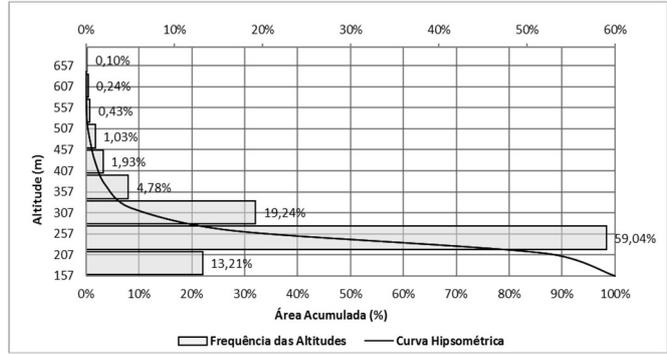


Figura 3: Gráfico de representação da curva hipsométrica.

Ressalta-se que o relevo exerce influência no perfil do solo, nas relações de precipitação e deflúvio devido à velocidade do escoamento superficial, nas taxas de infiltração, no tempo de concentração, dentre outras características relevantes. A representação do relevo em três dimensões (Figura 4), comparada com o mapa de altimetria (Figura 2) indica que se trata de um relevo de baixas depressões e elevações pouco acentuadas característico de um terreno plano a ondulado (declividades entre 0% e 20%) que compreende cerca de 92% da área da bacia (660,72 km²).

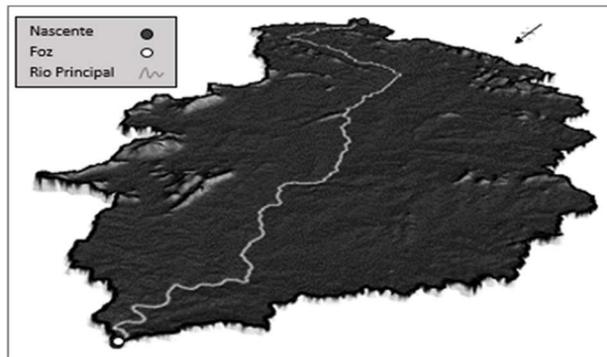


Figura 4: Modelo tridimensional do terreno da bacia.

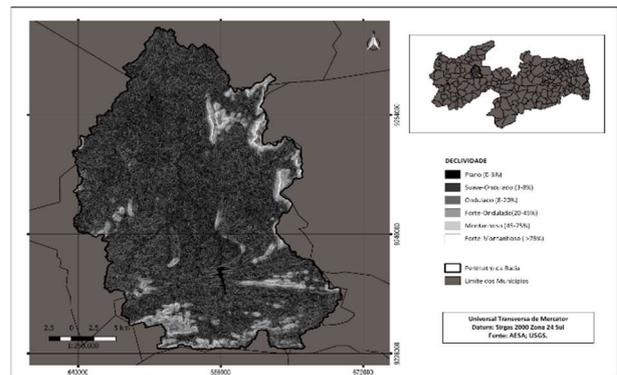


Figura 5: Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos.

O mapa das declividades, Figura 5, representa o comportamento espacial das declividades, ou seja, o modelo digital das declividades (MDT ou *slope*) da BHRG com uma declividade mínima de 0% e máxima de 142,6%. Pela análise da curva de distribuição das declividades (Figura 6 e Tabela 1) observa-se que a maior parte da BHRG possui característica de relevo ondulado (classes de declividade entre 8 e 20%), sendo cerca de 38% (273,03 km²) do relevo e 34% (244,29 km²) classificado como suave - ondulado (classes de declividades entre 3 e 8%).

Constata-se que aproximadamente 98% da área da bacia (704,14 km²) possui classes de declividades igual ou abaixo de 45%. Como as áreas com declividade acima de 45% – que representa 14,37 km² da área total da bacia – são consideradas áreas de preservação, se faz necessário o uso de medidas de controle e prevenção para evitar danos ambientais. A declividade média encontrada foi de 10,2%, sendo assim condizente com o relevo ondulado predominante da bacia, e a declividade mediana encontrada foi aproximadamente 7%, dessa forma afirma-se que as classes de declividade entre 3 e 20% (suave-ondulado a ondulado) são bem distribuídas em toda bacia (Tabela 1 e Figura 6).

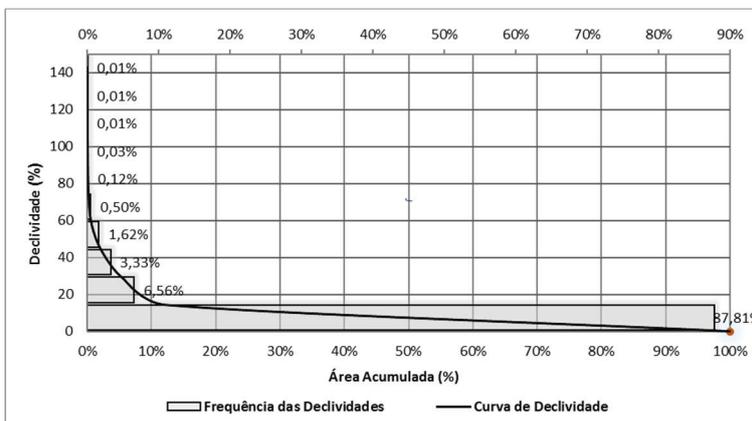


Figura 6: Gráfico de representação da curva de distribuição das declividades.

A declividade influencia a relação entre a precipitação e o deflúvio da bacia hidrográfica, devido ao aumento da velocidade do escoamento superficial, reduzindo a possibilidade da infiltração da água no solo. A declividade média de 10,2 % é considerada baixa, desse modo, verifica-se baixa influência do relevo no processo de velocidade do escoamento superficial na bacia estudada. No entanto, existem áreas em que a declividade é mais acentuada, conforme verificado na Figura 5 as maiores declividades estão concentradas na região nordeste, sul e sudoeste da bacia. O escoamento superficial, segundo Machini et al. (2015) afeta diretamente regiões com alta declividade, decorrente a velocidade de fluxo da água.

Tabela 1: Classes de declividade e suas respectivas áreas.

Declividade (%)	Relevo	Área (km ²)	Área (%)
0 – 3	Plano	143,71	20
3 – 8	Suave – Ondulado	244,29	34
8 – 20	Ondulado	273,03	38
20 – 45	Forte – Ondulado	43,11	6
45 – 75	Montanhoso	0,86	0,12
> 75	Forte – Montanhoso	13,51	1,88
Total	-	718,51 km ²	100%

Mesmo apresentando uma forte declividade num trecho que se inicia no extremo da bacia e percorre aproximadamente 23 km da extensão do rio principal, ressalva-se que, a declividade média de álveo não pode ser avaliada isoladamente, observa-se todo o percurso. A brusca suavização e o aplainamento do terreno são indícios de escoamento lento na maior parte da bacia, a magnitude dos picos de enchentes ou menor oportunidade de infiltração e suscetibilidade à erosão dos solos dependem da rapidez com que escoamento superficial se manifesta (COUTINHO et al., 2011).

Alves et al. (2011) avaliaram em seu estudo a influência de feições geológicas na morfologia da bacia do Rio do Tanque (MG) e afirmaram que a geologia pode ser um fator de forte influência no escoamento. Com base nesses resultados implica-se dizer que os cursos d’água da bacia possuem baixa declividade. A altitude máxima encontrada na BHRG foi de 338 m e a altitude mínima foi de 160 m. A amplitude altimétrica do rio principal é de 178 m. Avaliando os três valores de declividade média de álveo, S1 (0,00269 m.m⁻¹), S2 (0,00214 m.m⁻¹) e S3 (0,00208 m.m⁻¹), são indicativos de pequenas variações da declividade no trajeto do curso principal, Figura 7. Desse modo, para se realizar estudos hidrológicos aconselha-se utilizar a declividade média de álveo S3, pois é o valor que melhor simula o comportamento do rio a uma declividade constante,

entendendo que os valores de S1 e S2 não representam de forma confiável o real desenvolvimento do curso d'água principal. A representação do perfil longitudinal (Figura 7) demonstrou indícios de pequenas ou médias extensões de aplainamento e brusca suavização ao longo do percurso do rio.

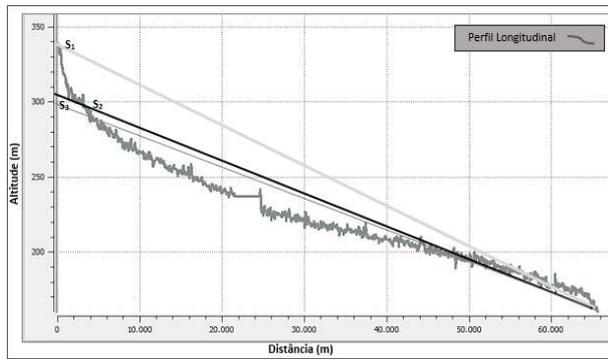


Figura 7: Perfil Longitudinal do rio principal.

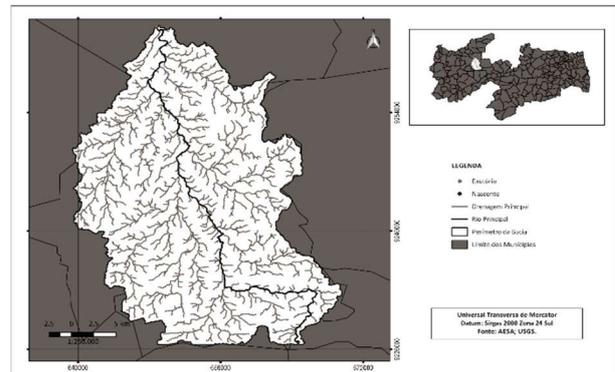


Figura 8: Mapa da Rede de Drenagem da bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos.

Na Figura 8 a rede de drenagem da BHRG, nota-se todos os cursos d'água da bacia e seu respectivo rio principal. Foram quantificadas 736 nascentes para área de drenagem estudada, classificando o tipo de escoamento global da área de drenagem como endorreica e o tipo do padrão de drenagem como dendrítico, seguindo os critérios de Christofolletti (1980). Observando a Figura 9 é possível verificar a hierarquização da bacia em estudo, sendo essa de ordem 6 conforme Strahler (1952). A rede de drenagem total da área é composta por 935 canais de escoamento e uma extensão total de 1010,33 km.

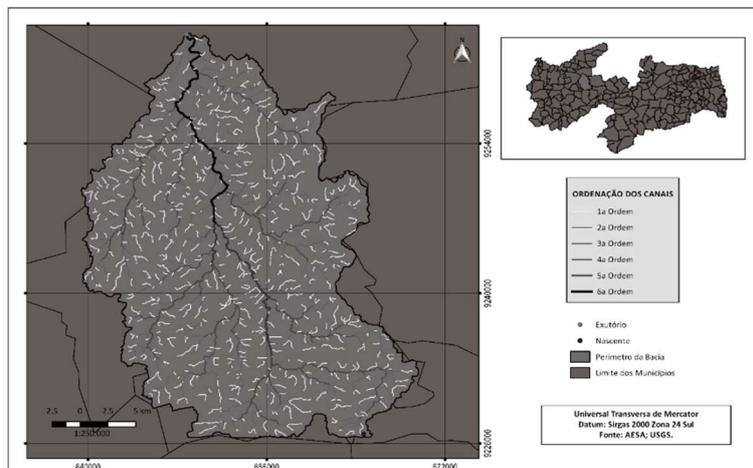


Figura 9: Mapa de ordenação dos cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Riacho dos Grossos.

Para o total de canais, 736, que equivalem 50,94% da rede de drenagem, 514,695 km de extensão da rede hidrográfica, são de 1ª ordem. Os canais de 2ª ordem totalizam 155, correspondem a 255,351 km de extensão, 25,27% da rede hidrográfica. Os de 3ª ordem são 34, equivalem a 121,159 km de extensão, cerca de 11,99% da rede hidrográfica. Para os de 4ª ordem tem 7 canais, registrando 71,941 km de extensão, sendo 7,12% da rede hidrográfica. Os canais de 5ª ordem resultam em 2, correspondendo a 21,790 km de extensão, assumindo 2,16% da rede hidrográfica. Por fim, os canais de 6ª ordem somam 1, com extensão de 25,394 km e assumem 2,52% da rede hidrográfica.

Analisando o sistema de ordenação de Strahler (1952) e Christofolleti (1980) afirmam que o resultado obtido na relação de bifurcação nunca pode ser inferior a 2. Tais valores, em sua maioria, devem variar entre 3 e 5. Na bacia essa relação variou de 2 a 4,8 e encontrou uma média de 3,92, resultados evidenciados na Tabela 2.

Tabela 2: Dados morfométricos a respeito das principais características da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos.

Ordem	Nº de canais	Extensão dos canais (km)	Extensão média dos canais(km)	Densidade de drenagem (km.km ⁻²)	Relação de bifurcação
1ª	736	514,695	0,699	0,716	---
2ª	155	255,351	1,647	0,356	4,75
3ª	34	121,159	3,563	0,169	4,56
4ª	7	71,941	10,277	0,100	4,8
5ª	2	21,790	10,895	0,030	3,5
6ª	1	25,394	25,394	0,035	2
Total	935	1010,330	---	1,406	Média = 3,922

Estudos semelhantes realizados por Lima et al. (2011) na bacia do Rio Preto/MG, constaram que a forma da bacia é alongada com densidade de drenagem de 2,37 km.km⁻², valor superior ao encontrado nesta pesquisa. A extensão média por canal variou entre 0,6 e 26 km, tendo esse resultado forte relação com a densidade hidrográfica da bacia. Pode-se afirmar que quanto maior for o número de canais por área menor será o comprimento dos canais e conseqüentemente seu comprimento médio (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Observando a Figura 10 pode-se afirmar que 51% do comprimento total dos cursos são de canais de 1ª ordem, o que corresponde a 514,695 km. Os canais de 1ª ordem apresentam uma extensão média de 0,699 km. A distribuição do comprimento total e as respectivas extensões médias para os demais canais da bacia é mostrada na Tabela 2 e na Figura 10. A extensão média total dos canais é de 1,08 km.

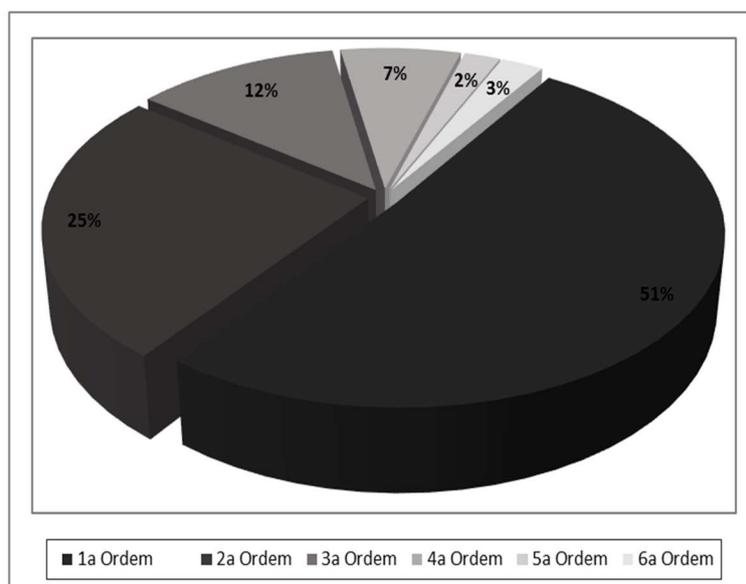


Figura 10: Gráfico de distribuição do comprimento total dos cursos d'água conforme cada ordem.

Os principais índices de caracterização geométrica estão disponibilizados na Tabela 3. As medições encontradas para bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos foram de 718,51 km² para a área de drenagem,

182,9 km para o perímetro e 51,96 km para o comprimento axial. Para chegar aos resultados dessas medições citadas anteriormente a bacia foi primeiramente delimitada.

Os valores de 0,435 para o fator de forma e de 1,910 para o coeficiente de compacidade representam uma baixa suscetibilidade de enchentes na bacia em condições normais de precipitação, resultado também confirmado pelo baixo índice de conformação de 0,266 e pelo índice de circularidade de 0,269, conclusões também obtidas por Coutinho et al. (2011).

Desse modo, pelo baixo índice de circularidade (0,269) e a razão de alongação de 0,582 conclui-se que a bacia não possui forma circular, isto é, possui características de uma bacia alongada. Resultados semelhantes foram obtidos na microbacia do córrego Ipaneminha na região de Sorocaba/SP (PINHEIRO et al., 2011), destacando que quanto mais esses índices se distanciam da unidade e quanto mais próximos de zero for o Kf, menor será a susceptibilidade a enchentes.

Tabela 3: Índices morfométricos relacionados à geometria da bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos.

Características Geométricas	Valor
Área de Drenagem (A)	718,51 km
Perímetro (P)	182,9 km
Comprimento axial (La)	51,96 km
Largura média da bacia (L)	17,69 km
Fator de forma (Kf)	0,435
Coeficiente de compacidade (KC)	1,910
Índice de conformação (FC)	0,266
Índice de circularidade (IC)	0,269
Razão de Alongação (Re)	0,582

Os principais índices morfométricos de caracterização da hidrografia são apresentados na Tabela 4. A densidade de drenagem é um fator importante na indicação do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem de uma bacia, esses valores ajudam substancialmente o planejamento do manejo da bacia hidrográfica (CARDOSO et al., 2006). A eficiência da drenagem da bacia é representada por esse índice, onde se faz uma relação entre o somatório dos comprimentos dos canais - sejam eles perenes intermitentes ou temporários - e a área compreendida na bacia (ANTONELI et al., 2007). De acordo com Villela et al. (1975) a bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos possui uma drenagem regular, sendo o valor da Dd igual a 1,406 km km⁻².

A densidade hidrográfica encontrada foi de 1,3 canais/km², esse valor representa uma grande capacidade da bacia em gerar novos cursos d'água (LANA et al., 2001). A densidade hidrográfica pode ser um parâmetro influenciador e controlador do potencial de recarga hídrica de uma bacia, assim como a densidade de drenagem.

A sinuosidade do rio principal foi de 1,617. Este valor demonstra que o canal da bacia tende a ser transicional (varia entre 1 e 1,9). A sinuosidade dos canais da bacia é influenciada por um forte controle geológico e estrutural, podendo afirmar que a forma geométrica do canal está relacionada ao padrão geológico-estrutural de uma área. A sinuosidade do canal principal próximo a 1 indicam que os canais tendem a serem retilíneos, já os valores superiores a 2,0, indicam que os canais tendem a ser tortuosos e os valores intermediários indicam formas transacionais, regulares e irregulares (FREITAS, 1952).

O índice de sinuosidade é de grande importância para a análise hidrológica, pois ele determina se o canal é formado por reta ou possui elevada sinuosidade. O canal principal possui 38,17%, sendo considerado divagante, ou seja, possui áreas que tendem a ser irregulares ou regulares. O coeficiente de manutenção da bacia é alto ($711,237 \text{ m}^2 \text{ m}^{-1}$). Proposto por Schumm (1956), esse índice tem a finalidade de fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. Assim, o resultado obtido indica que são necessários 711, 237 m² de área para manter perene cada metro de canal na bacia.

O Eps representa a distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente (HORTON, 1945). A extensão do percurso superficial é de 35,6 m. Este valor revela que as águas das chuvas percorrem em média até 35,6 m do interflúvio até o canal mais próximo. Quanto maior for o resultado deste parâmetro, mais susceptível à erosão a bacia poderá estar no momento de uma precipitação.

Tabela 4: Índices morfométricos relacionados à hidrografia da bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos.

Características Geométricas	Valor
Número de cursos d'água	935
Comprimento dos cursos d'água (ΣL_c)	1010,33 km
Densidade de drenagem (Dd)	1,406 km.km ⁻²
Densidade hidrográfica (Dh)	1,3 cursos km ⁻²
Sinuosidade do canal principal (Sin)	1,617 km.km ⁻¹
Índice de sinuosidade (Is)	38,17%
Coeficiente de manutenção (Cm)	711,237 m ² .m ⁻¹
Extensão do percurso superficial (Eps)	35,6 m
Ordem da bacia	6
Número de nascentes	736

Os índices morfométricos referentes a caracterização do relevo da bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos são apresentados na Tabela 5. O índice de rugosidade (Hd) obtido foi de 685,78 o qual é considerado baixo, sendo um indicativo de vertentes pouco íngremes e não muito alongadas, sendo que pode-se atribuir a estes resultados o fato de baixas declividades e boa capacidade de recarga hídrica.

Tabela 5: Índices morfométricos relacionados à topografia da bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos.

Características de relevo	Valor
Índice de rugosidade (Hd)	685,78
Razão de relevo (Rr)	0,0074 m . m ⁻¹
Gradiente do canal principal (Gc)	0,27%
Declividade máxima	143,6%
Declividade mínima	0%
Declividade mediana	7%
Declividade média	10,2%
Altitude máxima	643 m
Altitude mínima	158 m
Altitude mediana	244 m

A razão de relevo (Rr) $0,0074 \text{ mm}^{-1}$ é considerada baixa de acordo com a proposta de Rossi et al. (1999). O gradiente de inclinação do canal principal da bacia (0,27%) mostra que área drenada por este sistema fluvial, naturalmente não sofre uma grande pressão erosiva. Esse resultado pode ser uma relevante evidência de um relevo que pouco favorece o escoamento superficial na bacia.

CONCLUSÕES

A bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos possui índices morfométricos de baixa suscetibilidade a enchentes e inundações em condições normais de precipitação, considerada uma bacia alongada; A rede de drenagem da bacia é regular, de ordem 6, dendrítica, indicando um elevado grau de ramificação, com boa capacidade da bacia em gerar novos cursos d'água e indícios de escoamento lento influenciado pela sinuosidade transitória do canal principal, pela baixa relação de relevo, pelo baixo gradiente de canal e a própria amplitude altimétrica da bacia; A área de estudo possui características de relevo suave-ondulado a ondulado que compreende cerca de 72%(517,32 km²) da área da bacia; A declividade média de 10,2% é considerada baixa, sendo um forte indicativo da pouca influência do relevo no processo de escoamento superficial na bacia; 98% da área da bacia (704,14 km²) possui classes de declividades igual ou abaixo de 45%, com baixas variações da declividade no percurso do canal principal.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A.. Influência de 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.1 17-124, 2003.

ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L.. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.8, n.21, p.46-58, 2007.

BEZERRA, M. V. C.; SILVA, B. B.; BEZERRA, B. G.. Avaliação dos efeitos atmosféricos no albedo e NDVI obtidos com imagens de satélite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.709-717, 2011.

CAMPOS, S.; SILVA, C. O.; GARCIA, Y. M.. Avaliação morfométrica da microbacia do ribeirão Benfica, PIQUETE (SP). **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v.7, n.2, p.407-421, 2012.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V.. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v.30, n.2, p.241-248, 2006.

CHRISTOFOLETTI, A.. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

COUTINHO, L. M.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. L.; ZANETTI, S. S.; GARCIA, G. O. G.. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio da Prata, Castelo, ES. **Irriga**, v.16, p.369-381, 2011.

ELESBON, A. A. A.; GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; OLIVEIRA, I. C.. Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Braço Norte do Rio São Mateus - Brasil. **Revista Escola de Minas**, v.64, p.281-288, 2011.

FREITAS, R. O.. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. **Boletim Paulista de Geografia**, v.11, p.53-57, 1952.

GERBER, D.; PERTILLE, C. T.; VIEIRA, F. S.; CORRÊA, B. J. S.; SOUZA, C. F.. Morphometric characterization Itajaí river watershed-Santa Catarina. **Acta Biologica Catarinense**, v.5, n.1, p.72-83, 2018.

HORTON, R. E.. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v.56, n.3, p.275-370, 1945.

LIMA, C. S.; CORRÊA, A. C. B.; NASCIMENTO, N. R.. Analysis of the morphometric parameters of the Rio Preto basin, Serra do Espinhaço (Minas Gerais, Brazil). **Geociências**, São Paulo, v.30, n.1, p.105-112, 2011.

LOPES, E. R. N.. **Zoneamento ecológico-econômico: diretrizes, parâmetros e técnicas para a gestão ambiental de bacias hidrográficas**. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Estadual Paulista, 2018.

MAGESH, N. S.; JITHESHLAL, K. V.; CHANDRASEKAR, N.; JINI, K. V.. Geographical information system-based morphometric analysis of Bharathapuzha river basin, Kerala, India. **Applied Water Sciences**, v.3, p.467-477, 2013.

MARCHINI, D.; LING, T.; ALVES, M.; CRESTANA, S.; SOUTO FILHO, S. N.; ARRUDA, O. G.. Matéria orgânica, infiltração e imagens tomográficas de latossolo em recuperação sob diferentes tipos de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.6, p.574-580, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/18071929/agriambi.v19n6p574-580>

MERKEL, W. H.; KAUSHIKA, R. M.; GORMAN, E.. NRCS Geo Hydro: A GIS interface for hydrologic modeling. **Computers & Geosciences**, v.34, p.918-930, 2008.

MOGHADDAM, D. D.; REZAEI, M.; POURGHASEMI, H. R.; POURTAGHIE, Z. S.; PRADHAN, B.. Groundwater spring potential mapping using bivariate statistical model and GIS in the Taleghan Watershed, Iran. **Arabian Journal Geosciences**, v.8, p.913-929, 2015.

OLIVEIRA, P. T. S.; SOBRINHO, T. A.; STEFFEN, J. L.; RODRIGUES, D. B. B.. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.819-825, 2010.

PINHEIRO, R. C.; TONELLO, K. C.; VALENTE, R. O. A.; MINGOTI, R.; SANTOS, I. P.. Ocupação e caracterização hidrológica da microbacia do córrego Ipaneminha, Sorocaba-SP. **Irriga**, v.16, p.234-245, 2011.

ROSSI, M.; PFEIFER, R. M.. Remoção de material erodido dos solos de pequenas bacias hidrográficas no Parque Estadual da Serra do Mar em Cubatão (SP). **Bragantia**, Campinas, v.58, n.1, p.141-156, 1999.

RUFO, R. L. T.; CRISTO, S. S. V.. Sensoriamento remoto aplicado na análise do uso e ocupação da bacia hidrográfica do Córrego Titira, Porto Nacional, Tocantins. **Revista Interface Porto Nacional**, n.7, p.47-60, 2014.

SANTOS, D. B.; VIDOTTO, M. L.; BERTINATTO, R.; MARCON, G. R. S.; FRIGO, E. P.. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio São José, Cascavel, PR. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.5, p.7-18, 2012.

SCHUMM, S. A.. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, n.67, p.597-646, 1956.

SILVEIRA, A. L. L.. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: SILVEIRA, A. L. L.. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed. UFRGS, 2009. p.35-51.

SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M.. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.8, p.819-825, 2010.

SREEDEVI, P. D.; SREEKANTH, P. D.; AHMED, S.; KHAN, H. H.. Drainage morphometry and its influence on hydrology in an semi-arid region: using SRTM data and GIS. **Environmental Earth Sciences**, v.70, p.839-848, 2013.

STRAHLER, A. N.. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. **Trans. Amer. Geophys. Union**, v.38, p.913-920, 1952.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A.. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.