

## **Análise Morfométrica da Bacia do Rio Vieira, Montes Claros – MG**

<sup>1</sup>André Medeiros Rocha  
<sup>2</sup>Gabriela Rodrigues Morais  
<sup>3</sup>Marcos Esdras Leite

Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES<sup>1</sup>  
39401-089 – Montes Claros – MG, Brasil  
andremedeiros197@hotmail.com

Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES<sup>2</sup>  
39401-089 – Montes Claros – MG, Brasil  
gaby\_moraes10@hotmail.com

Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES<sup>3</sup>  
39401-089 – Montes Claros – MG, Brasil  
marcosesdras@ig.com.br

**Abstract.** The geomorphology constitutes a scientific branch who aims to study the relief forms, with special focus in the analysis of its genesis and evolution. About that, basing in the main theories (as Penck and Davis theories) over the existence of variety of relief forms, Guerra and Guerra (2011) state that the simultaneous or alternating action of the internal and external forces over the surface are responsible for its irregularities. In other way, this set of forms presented by relief since its genesis until present day describe its development or evolution cycle. In relation to those information above and with special attention on the geomorphological studies of drainage basins, Horton (1945) attests his worrying about the lack of tools for adequate investigation in the relief development, judging that the researches so far were based fundamentally in qualitative aspects. So, in order to fix such questions, he indicates the use of quantitative tools for more incise studies over the relief development. Thus, from the morphometric studies presented by Horton (1945), Strahler (1952) and Christofolletti (1980), the present paper aims to make a morphometric analysis of Vieira river drainage basin. The Digital Elevation Model (DEM) from SRTM mission, in this context, will be used as a mechanism to obtain the drainage streams needed to perform the calculation of indices.

**Palavras-chave:** Drainage Basin, DEM, Quantitative Indices, Land Surface. Bacia hidrográfica, MDE, Índices quantitativos, Superfície Terrestre.

### **Introdução**

Os estudos geomorfológicos constituem ramo científico que se propõe a análise das formas do relevo, com foco em especial a sua gênese e evolução. Sobre isso, baseando em escritos de Guerra e Guerra (2011), o referido autor expõe as premissas que justificam a variedade de formas e modelados que a superfície apresenta. As mais contundentes e incisivas (como as teorias penckianas e davisianas) que encabeçam as pesquisas na geomorfologia afirmam a existência de forças ou fenômenos, sejam eles exógenos ou endógenos, de ocorrência simultânea ou alternada que agem sobre a superfície e conseqüentemente provocam seus desnivelamentos. As variadas formas pela qual o relevo terrestre passa desde a sua gênese a sua fisionomia atual descrevem etapas que cronologicamente delineiam seu ciclo desenvolvimento ou evolutivo.

Com relação às informações apresentadas, e com foco em especial ao estudo geomorfológico de bacias de drenagem, Horton (1945) atesta sua preocupação sobre a falta de ferramentas para adequada investigação do desenvolvimento das formas do relevo, julgando as pesquisas em tal área fundamentadas até então principalmente em aspectos qualitativos. Sobre isso, o referido autor sugere a utilização de ferramentas de cunho quantitativo para investigação e estudo mais incisivo dos níveis de desenvolvimento do relevo. Nesse ponto, Florenzano (2008) menciona tais ferramentas mencionadas por Horton (1945) como

constituindo a Morfometria, ramo da Morfologia a qual utiliza de um conjunto de variáveis e índices quantitativos para análise do relevo.

Assim sendo, os estudos morfométricos ocorrem, tendo por base a utilização de produtos principalmente de origem cartográfica. Acerca disso, Guerra e Guerra (2011) e Florenzano (2008) confirmam a estreita relação existente entre a cartografia e geomorfologia, elevando o binômio cartografia geomorfológica a qual atua, sobretudo na representação espacial e gráfica do objeto de estudo da geomorfologia, as formas do relevo. No entanto, em virtude do mapeamento topográfico no Brasil não cobrir totalmente o território brasileiro em escalas maiores que 1:250.000, e dessa forma havendo a falta de elementos necessários a análise morfométrica para grandes escalas, Valeriano et al. (2006) e Grohmann, Riccomini e Steiner (2008) sugerem a utilização de dados altimétricos de radar do Modelo Digital de Elevação - MDE oriundos da missão *Shuttle Radar Topographic Mission* – SRTM para mapeamento morfométricos e que embora sejam disponibilizados pela NASA em resolução espacial de 90m (compatível as folhas da CIM de 1:250.000) podem ser reamostradas através de métodos geoestatísticos para obtenção de escalas maiores.

Logo, diante das possibilidades de estudos de cunho morfométrico existentes, o presente artigo objetivou realizar a análise do relevo da bacia do rio Vieira (figura 1), a partir dos indicadores morfométricos indicados e sugeridos por Christofolletti (1980), tendo ainda por base os trabalhos de Horton (1945) e Strahler (1952). Para efeito de atingir o objetivo proposto, a pesquisa utilizará fundamentalmente de dados altimétricos provenientes da missão SRTM.

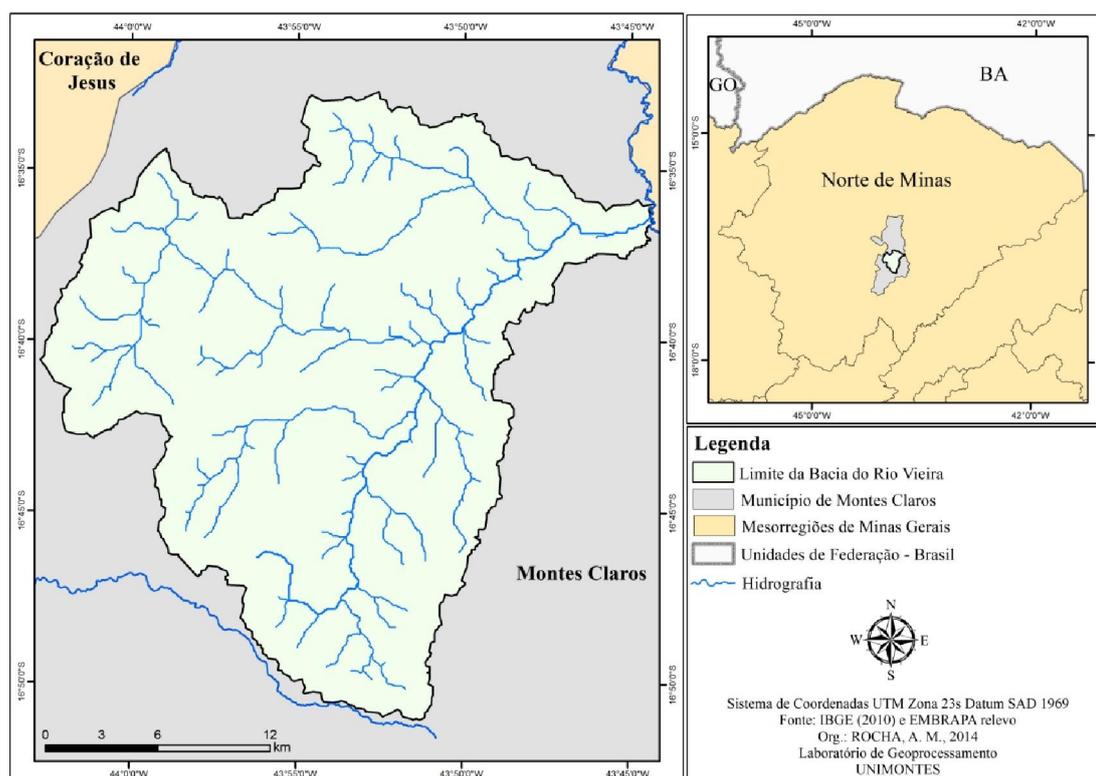


Figura 1: Localização da Bacia do Rio Vieira

### Metodologia

Considerado o objetivo proposto, a presente pesquisa utilizou como base para extração e validação da rede de drenagem e cálculo dos parâmetros morfométricos o Modelo Digital de Elevação (MDE) da missão SRTM de resolução espacial de 90m disponível pela EMPRAPA

relevo e o mapa municipal de Montes Claros de escala 1:100.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2010). A manipulação dos dados e demais procedimentos operacionais como tabulações ocorreu nos softwares *ArcGIS* 10.2 e Microsoft Office Excel 2007, podendo ser divididos nas seguintes etapas 1<sup>a</sup>. Delimitação da bacia hidrográfica; 2<sup>a</sup>. Extração dos canais de Drenagem; e 3<sup>a</sup>. Cálculo das variáveis morfométricas.

Para efeito de delimitação da bacia do rio Vieira (1<sup>a</sup> etapa), a presente pesquisa inicialmente aplicou a metodologia indicada por Valeriano (2002) para reamostragem do dado SRTM para resolução espacial de 30m. Por conseguinte, a extração da bacia de drenagem seguiu a metodologia presente no trabalho de Jensen e Domingue (1988). Nesse método, o MDE-base é inicialmente submetido a um processo de correção hidrológica, em que as depressões ou células com fluxo de direção indefinido (*sinks*) são preenchidas para efeito de correção da drenagem. Logo, o MDE (nessa etapa, chamado *Depressionless MDE*) é utilizado para geração do Fluxo de Direção (*Flow Direction*), no qual cada célula será associado a uma das 8 possíveis orientações que o escoamento pode ser direcionado. Por conseguinte, utilizando o produto anterior, o Fluxo de Acumulação (*Flow Accumulation*) é gerado e então cada célula da matriz é associada a quantidade de células que confluem ou convergem para ela. Nesse momento, é identificado o ponto de menor altitude da bacia (*Pour Point*) que corresponde por sua vez à célula de maior fluxo acumulado. A delimitação da bacia, por fim, é realizada a partir da ferramenta *watershed* no qual, considerando-se o fluxo de direção de cada pixel.

Na 2<sup>a</sup> etapa, é realizada a identificação dos canais pertinentes a rede de drenagem e devido o limiar para definição do fluxo de acumulação que melhor represente a rede de drenagem da bacia de estudo não ser bem conhecida, o presente estudo utilizou como parâmetro para identificação dos canais o mapa municipal de Montes Claros de escala 1:100.000, de tal forma que buscou-se ao final um limiar que seja mais compatível com a rede de drenagem do mapa-base. Sendo assim, obteve-se um fluxo acumulado de 2.120 células, correspondendo ao limiar para definição dos canais. Tal metodologia, aliás, é discutida em Cherem (2008) e utilizada em Ruszkiczay-Rudiger (2007). A preocupação na definição de tal limiar reside no fato de aplicação da análise morfométrica proposta por Christofolletti (1980) ser direcionada para canais de escoamento fluvial, isto é, canais que estejam nitidamente delineados na superfície. Nesse ponto, deve-se frisar que a inclusão de quaisquer canais na análise pode resultar em resultados morfométricos que não descrevem com fidelidade o relevo da área.

Após definição da rede de drenagem, procedeu-se com os cálculos das seguintes variáveis morfométricas: Hierarquia Fluvial (*Hf*), Relação de Bifurcação (*Rb*), Comprimento Médio dos Canais (*Lm*), Relação do Comprimento Médio dos Canais (*Rlm*), Relação do Gradiente dos Canais (*Rgc*), Índice de Sinuosidade (*Is*), Índice de Circularidade (*Ic*), Densidade de Drenagem (*Dd*), Coeficiente de Manutenção (*Cm*), Relação de Relevo (*Rl*), Índice de Rugosidade (*Ir*), Amplitude Hipsométrica ( $\Delta H$ ), Altitude Máxima ( $H_{máx}$ ) e Mínima ( $H_{mín}$ ), Hipsometria (*H*) e Declividade (*D*). Para efeito de discussão dos resultados, a presente pesquisa utilizará principalmente como base conceitual os trabalhos de Strahler (1952), Horton (1945), Christofolletti (1980) e Lana, Castro e Alves (2001).

## Resultados

Com relação aos parâmetros calculados, inicialmente será analisado os aspectos morfométricos que dizem respeito principalmente a rede de drenagem da bacia do rio Vieira (tabela 1). Assim, tendo por embasamento a classificação hierárquica de Strahler (1952) e o fluxo de acumulação adotado como limiar para definição da rede hidrográfica, a bacia de estudo revelou-se como de 4<sup>a</sup> ordem, sendo formada no total por 169 segmentos de canais fluviais com extensão de 293,54km. Com relação a tal informação, Horton (1945) afirma que

a ordem dos canais apresenta utilidade limitada e por isso utilizada para comparações simples do nível de desenvolvimento de bacias hidrográficas de tamanhos similares. Afirmarções de caráter mais concreto do nível de desenvolvimento da rede de drenagem exigem a consideração de outras variáveis. Assim, a relação de bifurcação da bacia de estudo indicou um valor médio de 2,05, o que conforme os estudos de Horton (1945), valores relativamente baixo como o acima são característicos de relevos aplainados ou relativamente ondulados, enquanto que valores altos são pertinentes a áreas inclinadas ou dissecadas. Strahler (1952), a exemplo, encontrou valores para áreas de relevo rebaixado igual a 3,55, ao passo que Horton (1945) chegou ao mínimo de 2,27 para superfícies aplainadas do Esopus Creek.

Paralelamente ao exposto, a Relação do Comprimento médio dos canais ( $Rlm$ ) apresentou comportamento de forma diferente do enunciado pela 2ª lei de Horton (1945) no qual os comprimentos dos canais das ordens inferiores para as superiores tenderiam a seguir uma série geométrica direta e, no entanto, o comprimento dos canais aparenta diminuir com o aumento da ordem. Assim, os valores alcançados (tabela 1) deixam transparecer que embora os canais de 1ª ordem possuam menor nível de desenvolvimento hidrológico, os mesmos apresentaram-se mais extensos que os canais de 4ª ordem a qual sugerem por outro lado maior desenvolvimento.

A variável Relação do Gradiente de Canais ( $Rgc$ ), por sua vez, revelou de forma antecipada o aspecto relativamente aplainado da superfície da bacia do rio Vieira, a qual possui em média canais com declive de 2,9%. A tabela 1 abaixo permite averiguar mesmo os canais de 1ª ordem a qual alcançam em determinados pontos inclinação de 40% possuem média de declividade igual a 3,5%, evidenciando que a rede de drenagem constitui-se relativamente plana e por isso tende a apresentar baixa velocidade no escoamento fluvial e atividade erosiva pouco intensa. Tais características tornam-se mais evidentes à medida que se aproxima dos canais de 4ª ordem.

Em continuidade, o Índice de Sinuosidade ( $Is$ ) foi calculado e o canal principal da bacia do rio Vieira apresentou valor de 1,6, o que conforme Lana, Alves e Castro (2001), tal valor remete a canais transicionais, regulares ou irregulares. No entanto, cabe ressaltar que a rede de drenagem extraída do MDE tende a apresentar certo nível de retilização dos canais e por isso embora o valor do  $Is$  seja 1,6, espera-se que o nível de meandramento do canal seja superior ao calculado. Como exemplo, o referido índice para o mesmo rio extraído da carta de 1:100.000 (IBGE) a qual mais aproxima do delineamento real do rio em relação ao MDE revelou valor de 1,8, indicando dessa forma maior sinuosidade.

Os aspectos relativos Bacia do rio Vieira e possíveis componentes serão analisados a seguir a partir do  $Ic$ ,  $Dd$  e  $Cm$ . Dessa forma, os cálculos morfométricos da bacia de estudo indicaram que a mesma apresenta área de 580,1km<sup>2</sup>, perímetro de 142,5km e comprimento<sup>1</sup> de 33,4km. Aliado a tais valores, o índice de circularidade encontrado foi de 0,35, a qual conforme Lana, Alves e Castro (2001), tal informação permite concluir que a forma da bacia distancia da área de um círculo, sendo dessa forma alongada e pouco propensa a ocorrência de cheias.

Por conseguinte, a Densidade de Drenagem ( $Dr$ ) da bacia do rio Vieira calculada foi de 0,50 km/km<sup>2</sup> e com relação a tal valor, Villela e Mattos (1975) afirma que densidades próximas a 0,5 são características de áreas pobremente drenadas. No entanto, o resultado alcançado deve ser visto como apontamento e por isso relativizado, visto que a rede de drenagem extraída no presente trabalho é compatível a escala de 1:100.000 e devido a isso apresenta certa generalização de elementos hidrográficos e como observado anteriormente, os canais oriundos da SRTM apresentam certo caráter retilinizado e isso pode naturalmente influir no comprimento médio dos canais. Tal preocupação baseia-se nas considerações

<sup>1</sup> O comprimento bacia foi calculado com base Christofolletti (1980), na qual uma das formas sugere que o  $Lb$  constitui a maior distância retilínea entre a foz e determinado ponto do perímetro.

apresentadas por Horton (1945) no qual afirma que para determinação da densidade de drenagem, os canais efêmeros e intermitentes precisam ser considerados, não apenas os perenes.

Com relação ao Coeficiente de Manutenção, o valor encontrado conforme tabela 1 foi de 1.975,99 m<sup>2</sup>/m (ou 1,97km<sup>2</sup>/km), significado que cada metro de canal fluvial exige uma área mínima de 1975m<sup>2</sup> para sua manutenção. De outro modo, interpretando o limiar do fluxo de acumulação, tem-se que cada pixel (de 900m<sup>2</sup>) da bacia apresenta minimamente área convergente de 1,90km<sup>2</sup>.

Desse ponto em diante, será realizado a análise hipsométrica da bacia do rio Vieira e para tanto a tabela 1 e a figura 2 serão utilizadas como auxílio. Conforme apresentado pela figura 1, a Bacia do rio Vieira possui amplitude altimétrica de 472m, sendo seu ponto de menor altitude localizado a 564m na confluência com o Rio Verde Grande e o ponto de maior altitude situado a 1.036m no setor sudeste da bacia, na micro-bacia do Córrego dos bois. No que se refere à distribuição das faixas altimétricas, a bacia do rio Vieira apresenta cerca de 83% de sua área localizada entre as altitudes de 600 a 900 m. Altitudes superiores a 900 m estão restritas a áreas de divisores topográficos situadas no limite da bacia e entre os afluentes de margem esquerda do rio principal. Por outro lado, altitudes inferiores a 600 m são encontrados somente nos trechos do rio Vieira localizados a jusante da confluência com seu afluente rio do Cedro. A declividade, por sua vez, confirmou que a bacia do rio Vieira apresenta quase 90% de sua área em declives inferiores 20% (ou 12°), com concentração na faixa entre 3 a 8%. As referidas fases do relevo conforme a EMBRAPA (2009) correspondem a áreas de topografia pouco movimentada e declives de suave a moderado. Por outro lado, os declives superiores a 20% estão localizados principalmente em áreas de vertentes ou relevo escapado da porção oeste da bacia, podendo em alguns casos chegar a inclinações de 77% (ou aprox. 33,8°). No entanto, tais declives representam somente 10,2% da área de estudo.

Com relação aos índices Relação de Relevo e Índice de Rugosidade, os mesmos apenas confirmam os aspectos hipsométricos anteriores. Em princípio, a Relação de Relevo encontrada foi de 14,11m/km, a qual considerando o comprimento máximo da bacia, um desnível de 11m ocorre a cada 1 km. Almeida (2011), como exemplo, encontrou para a bacia do Pacuí que apresenta relevo mais rebaixado que a do Vieira e forma mais alongada valor de 5m/km. Os dados apresentados assim permitem concluir que a Bacia do rio Vieira apresenta maior *Rr* em relação a bacia do rio Pacuí devido apresentar superfície levemente mais inclinada.

O Índice de Rugosidade encontrado para a bacia de estudo foi de 238,82 e conforme Christofolletti (1980) embora o índice constitua um valor adimensional, o mesmo reflete a estreita relação entre a densidade de drenagem e a amplitude altimétrica no qual valores elevados são alcançados quantos ambos os produtos da multiplicação são elevados e valores baixos ocorrem quando os referidos são pequenos. Assim, devido à densidade de drenagem da bacia ser relativamente baixa (valor 0,5km/km<sup>2</sup>), característica de superfícies pobremente drenadas e apresentar pouca variação da amplitude altimétrica<sup>2</sup>, o valor alcançado no *Ir* sugere um valor relativamente baixo.

<sup>2</sup> O parâmetro utilizado para julgar a Amplitude Altimétrica baseia-se principalmente nos resultados de declividade da bacia, uma vez que o fato da bacia apresentar relevo com declives predominantemente inferiores a 8% permite concluir que a variação altimétrica não é muito elevada.

Tabela 1. Parâmetros Morfométricos da Bacia do Rio Vieira

Hf (Strahler, 1952)	Nº de Segmentos	Comprimento Médio dos Canais	Comprimento Total dos Canais	Declividade Média dos Canais	
<b>1ª Ordem</b>	85	1,75 km	148,56 km	3,55%	
<b>2ª Ordem</b>	43	1,68 km	72,18 km	2,97%	
<b>3ª Ordem</b>	30	1,86 km	55,70 km	2,23%	
<b>4ª Ordem</b>	11	1,55 km	17,09 km	0,74%	
<b>Total</b>	169				
<i>Rb</i> - 1ª/2ª	1,98	<i>Rgc</i> - 1ª/2ª	1,20	<i>Rlm</i> - 4ª/3ª	0,84
<i>Rb</i> - 2ª/3ª	1,43	<i>Rgc</i> - 2ª/3ª	1,33	<i>Rlm</i> - 3ª/2ª	1,11
<i>Rb</i> - 3ª/4ª	2,73	<i>Rgc</i> - 2ª/3ª	3,01	<i>Rlm</i> - 2ª/1ª	0,96
<i>Is</i>	1,6	<i>Cm</i>	1.976,35 m²/m	<i>C</i> bacia	33,43 km
<i>Ic</i>	0,359	<i>A</i> bacia	580,14 km²	<i>Rr</i>	14,11m/km
<i>Dd</i>	0,506 km/km²	<i>P</i> bacia	142,58 km	<i>Ir</i>	238,82

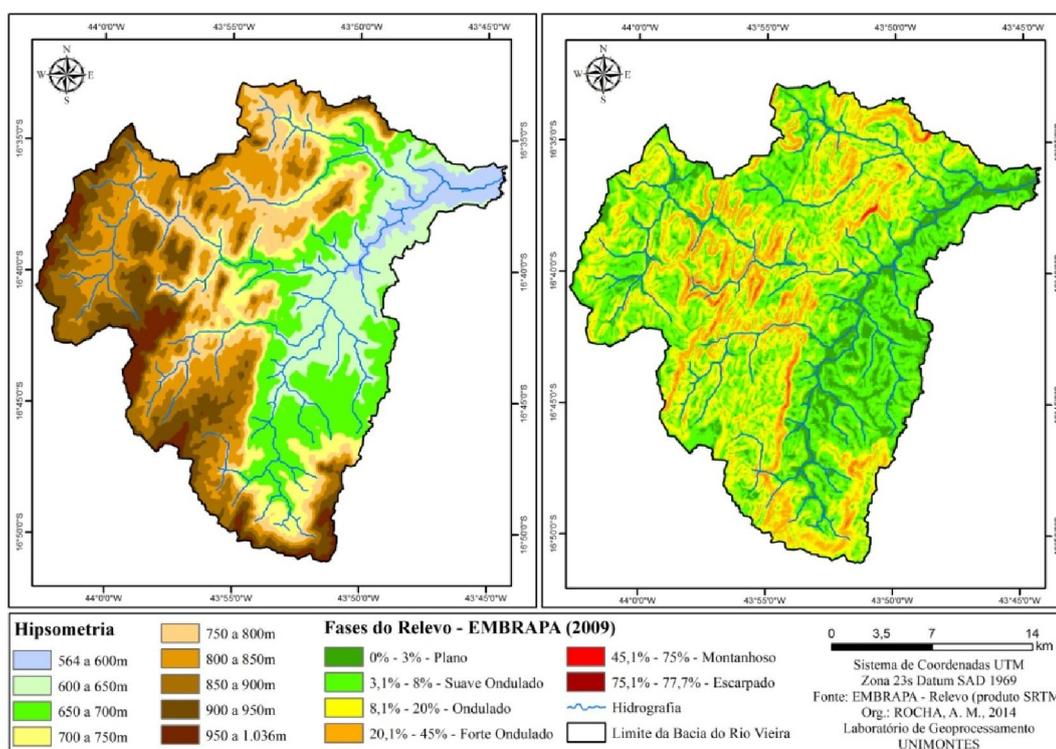


Figura 2: Hipsometria e Declividade da Bacia do Rio Vieira

### Considerações Finais

Diante da proposta elencada e materiais disponíveis, a análises morfométrica da bacia do rio Vieira indicaram-na como formada por topografia predominantemente plana no setor centro-nordeste e relevos suaves ondulados nos demais setores da bacia. Os dados ainda permitiram averiguar a existência de superfícies com inclinações superiores a 20%, constituindo principalmente áreas de vertentes de superfícies tabulares e interflúvios da porção oeste da bacia. De forma geral, além do relativo aplainamento do relevo da bacia do rio Vieira detectado, notificou-se através das demais variáveis resultados que apontam a referida bacia com amplitudes altimétricas pequenas, atividade erosiva pouco intensa e baixa velocidade no escoamento fluvial. Ademais, cabe ressaltar que os resultados atingidos se

fazem exclusivamente em função do material utilizado e que embora afirmado inicialmente que o MDE oriundo da missão SRTM mostre-se eficaz nas análises morfométricas, validações da rede de drenagem a partir de imagens de satélite e pesquisas de campo não são dispensáveis visto que conforme apontado em estudos de Strahler (1952) e Horton (1945), o delineamento fidedigno da rede de drenagem da bacia de estudo é fundamental para que o cálculo dos demais parâmetros morfométricos possa refletir as reais características geomorfológicas da bacia de drenagem.

### Referência

- ALMEIDA, J. W. L. **Geotecnologias aplicadas na análise morfométrica e uso do solo da bacia do Pacuí**. 2011. 73f. Monografia de Graduação. Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES: Montes Claros, 2003.
- CHEREM, L. F. **Análise morfométrica da bacia do Alto Rio das Velhas - MG**. 2008. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Modelagem de Sistemas Ambientais. Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais - IGC/UFMG, 111 p. Belo Horizonte, 2008.
- CHRISTOFOLETTI, A. Análise de Bacias Hidrográficas. In: CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. p. 103-127.
- EMBRAPA relevo. **Produto SRTM**. Disponível em:< <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/>>.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009.
- IBGE. **Mapa Municipal de Montes Claros**. Disponível em:<<http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/mapas-municipais>>.
- FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- GROHMANN, C. H.; RICCOMINI, C.; STEINER, S. S. Aplicações dos Modelos de Elevação SRTM em Geomorfologia. **Revista Geográfica Acadêmica**. v.2 n.2. p. 73-83. 2008.
- GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrographical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v.56, n.2, p.275-370, 1945.
- JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. Extracting topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. **Revista Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 54. n. 11. p. 1593-1600. 1988. Disponível em:< [http://m1.archiveorange.com/m/att/H2CPn/ArchiveOrange\\_BqIHJa44tNzoGVG7sjCxl900baoa.pdf](http://m1.archiveorange.com/m/att/H2CPn/ArchiveOrange_BqIHJa44tNzoGVG7sjCxl900baoa.pdf)>. Acesso em Dezembro de 2013
- LANA, C. E.; ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG - Brasil. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 54, n. 2, p. 121-126, 2001.
- RUSZKICZAY-RUDIGER, Z. **Tectonic and climatic forcing in Quaternary landscape evolution in the central Pannonian Basin: A quantitative geomorphological geochronological and structural analysis**. 2007. 149p. Tese (Doutorado em Ciências Naturais) Vrije University, Amsterdã, 2007.
- STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion al topography. **Geological Society of America Bulletin**, v.63, n.10, p.1117-1142, 1952.
- VALERIANO, M.M; KUPLICH, T.M.; STORINO, M.; AMARAL, B.D.; MENDES Jr., J.N.; LIMA, D.J. 2006. Modeling small watersheds in Brazilian Amazonia with shuttle radar topographic mission-90m data. **Computers & Geosciences**, v.32, p.1169-1181.
- VILELLA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill. 1975. 245p