

Avaliação da drenagem numérica derivada de modelos digitais de elevação interpolados a partir de imagens SRTM

Alice Azevedo Scudeller¹
Eliana de Souza²
Elpídio Inácio Fernandes Filho³
Antônio Ribeiro de Oliveira Neto⁴

¹ Universidade Federal de Viçosa - UFV
Av. P.H. Rolfs s/n. CEP 36571 000. Viçosa, MG
ascudeller@gmail.com

² Universidade Federal de Viçosa - UFV
Av. P.H. Rolfs s/n. CEP 36571 000. Viçosa, MG
elianadsouza@yahoo.com.br

³ Universidade Federal de Viçosa - UFV
Av. P.H. Rolfs s/n. CEP 36571 000. Viçosa, MG
elpidio@ufv.br

⁴ Universidade Federal de Viçosa - UFV
Av. P.H. Rolfs s/n. CEP 36571 000. Viçosa, MG
antonio.ribeiro@ufv.br

Abstract. The drainage density index is used in many landscape studies. This parameter is usually obtained from the survey charts mapped by the government agency IBGE. The use of data from this agency involves processes of union and edition, although for some areas the maps are not yet available in digital format. Recently with the availability of the SRTM radar images the drainage network has been derived from digital elevation models obtained from these images, the mapping is done subjectively by comparison with a reference map. The method is accomplished by attempts to obtain a drainage network closer to that of reference. Thus, this work was carried out in the Rio Doce basin in the state of Minas Gerais, Brasil. The work aimed to evaluate the numerical drainage derived from digital elevation models obtained from SRTM radar image and compare the drainage with that obtained by conventional topographic mapping for different geomorphological units, also attempt to evaluate the drainage density obtained from two scales of topographic mapping contained basin of the same, another objective of this work was adjust an equation to determine the number of contributing cells to derive the numerical drainage closer to the one of reference.

Palavras-chave: Rede de drenagem, bacia Hidrográfica, índice morfométrico, modelo digital de elevação, Drainage network, watershed, morphometric index, digital elevation model

1. Introdução

O padrão da drenagem, determinado pelo arranjo dos rios e de seus afluentes representa o grau de dissecação da paisagem realizado pelos cursos d'água sob influencia das variações climáticas, forma do relevo e pela geologia da área. A densidade de drenagem, definida como a relação entre o comprimento total de canais pela área de uma bacia hidrográfica permite fazer inferências sobre o comportamento do solo em processos como a infiltração e a erosão, sendo, portanto, um parâmetro morfométrico que permite entender dinâmica de processos localizados e regional do ambiente.

O mapeamento da rede de drenagem comumente feito a partir de foto-interpretação de fotografias aéreas ou imagens de radar é trabalhoso, principalmente quando necessita retornar as cartas para verificar algumas redes de drenagem do terreno, e em diversas vezes o analista pode suprimir informações por motivos cartográficos e metodológicos empregados na

elaboração manual do mapa, além disso, em alguns momentos, na união das cartas, as drenagens não coincidirem.

Os avanços nos recursos do sensoriamento remoto para a aquisição de dados levou a uma oferta de informações do relevo a exemplo das imagens de radar da missão topográfica (SRTM) e gratuitamente disponibilizada para quase todo o globo.

Desde janeiro de 2002, quando colocadas disponível ao público, essas imagens vêm sendo avaliadas para aplicação em diversos estudos como para a obtenção de parâmetros morfométricos em estudos hidrológicos. Nos estudos a rede hidrográfica derivada dos modelos é utilizada como um indicador da qualidade das imagens, assim como dos métodos de interpolação utilizados. Medeiros, et al. (2009) avaliaram os modelos do SRTM para derivar vários parâmetros da bacia, como delimitar a bacia. Grohmann e Steiner, (2007) compararam a rede de drenagem derivada de modelos interpolados por diferentes algoritmos. Taramelli et al, (2007) avaliaram o efeito de diferentes resolução do modelos de elevação para na drenagem deles derivadas.

Neste contexto o objetivo do presente trabalho foi avaliar drenagem numérica derivada de modelos digital de elevação obtido de imagem de radar da missão SRTM e comparar a drenagem obtida com aquela extraída de mapeamento topográfico convencional e diferentes unidades geomorfológica na Bacia do Rio Doce, MG. Os objetivos específicos foram: 1) analisar a densidade de drenagem obtida por duas escalas de mapeamento (1:50.000 e 1:100.000) para uma mesma unidade geomorfológica, 2) analisar a densidade de drenagem para diferentes resoluções do modelo digital de elevação (30, 40 e 90 metros) e 3) ajustar uma equação para determinar o número de células de contribuição necessária para derivar a drenagem numérica tendo como referencia a densidade de drenagem das cartas do IBGE.

3. Material e métodos

3.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde a sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, localizadas no Estado de Minas Gerais. As bacias selecionadas foram delimitadas para cursos d'água de quarta ordem conforme Strahler (1980), de modo que estas estivessem representassem diferentes unidades geomorfologias características da Bacia do Rio Doce. A região é composta por unidades de depressões, planaltos, encostas, cristas e colinas.

3.2 Base de dados

Foram utilizados mapas de hidrografia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em escala de 1:50.000 e 1:100.000, mapa de unidades geomorfológicas mapeado pela UFV (2010) e modelo de elevação de elevação elaborado com imagens de radar adquiridas pela missão SRTM, com 90 metros de resolução. As cartas topográficas foram adquiridas no site do IBGE. As imagens de radar disponíveis no site do Grupo Consultivo de Pesquisa Agrícola Internacional-Consórcio de Informação Geográfica (CGIAR-CSI) referentes às quadriculas de posição Y e X: A) 28-16, B) 28-17 e C) 29-16 cobriram a Bacia do Rio Doce.

3.3 Metodologia

Utilizou o sistema de informação geográfico ArcGis 9.3 para processamento e análise dos dados. Para interpolação dos dados foi utilizado o algoritmo *Topo to Raster* devido este ser apropriado para a criação de modelos hidrológicos conforme ESRI (2009). As imagens SRTM obtidas em coordenadas geográficas foram convertidas para coordenadas métricas. Após a aquisição de imagens SRTM, os procedimentos executados para a obtenção do MDE foram: mosaico das imagens, eliminação de erros sistemáticos definidos por células sem valor, e depressões espúrias, delimitação da bacia do Rio Doce e sub-bacias hidrográficas,

conversão dos valores da imagem para pontos, interpolação dos modelos de elevação e derivação da drenagem numérica.

As bacias de análise foram selecionadas a partir da sobreposição entre os mapas das bacias e o mapa de unidades geomorfológicas para a análise da densidade de drenagem obtida por modelos digital com a densidade obtida por cartas do IBGE em diferentes unidades geomorfológica e diferentes resolução do modelo interpolado. A seleção foi feita de forma aleatória, escolhendo bacias em diferente geomorfologia desde que estivessem completamente contidas nas unidades geomofologica.

Outras bacias foram selecionadas por sobreposição dos mapas de bacias e mapa índice de divisão das cartas do IBGE em escalas de mapeamento para a comparação de escala de mapeamento em uma mesma unidades geomorfológica em áreas mapeadas em escala de 1:50.000 e 1:100.000.

3.3.1 Eliminação de erros sistemáticos da imagem SRTM

Os valores negativos contidos na imagem, caracterizados como ruídos e ocorre por falhas no sistema de aquisição das imagens pelo radar, localizados geralmente em regiões próxima a espelhos d'água e/ou áreas de relevo montanhoso/escarpado. A correção de tais erros é necessária para gerar o modelo digital de terreno hidrológicamente consistente, e foi realizada utilizando um filtro de preenchimento, o qual substitui os valores negativos pelo valor médio das células em um raio de 3 células do mapa. A operação de filtragem foi implementada em formulas e aplicada utilizando a calculadora de mapas *raster calculato* da barra de tarefas *Spatial Analyst* do ArcGis. A primeira operação aplicada utilizou a formula da Equação 1 a qual faz com que todas as células com valor negativo tornem-se nulas (no data).

$$\text{Datanull} = \text{setnull}([\text{MDE_RioDoce}] \leq 0, [\text{MDE_RioDoce}]) \quad (1)$$

Em que: Datanull é o nome do grid gerado, no qual as células com valor zero (NODATA) recebem passam a ser identificadas como tendo o valor nulo, ao invés de zero, “setnull” é a condição para ser realizado tal procedimento. “MDE_RioDoce” é o nome do modelo de análise obtido pelo mosaico das imagens, ≤ 0 representa a seleção de todas as células com valor menor/igual a zero.

As células com valor *NO DATA* foram preenchidas com o valor da média dos valores das 3 células mais próximas, considerando um círculo com centro na célula a ser preenchida. Para tanto utilizou a calculadora “*Raster Calculator*” com a formula (Equação 2). Esse procedimento foi repetido até que todas as células sejam preenchidas com o novo valor, ou seja, até que o modelo não apresente células com valores *NO DATA*.

$$\text{Prench01} = \text{con}(\text{isnull}([\text{datanull}]), \text{focalmean}([\text{datanull}], \text{circle}, 3, \text{DATA}), [\text{datanull}]) \quad (2)$$

Em que: Prench01 é o nome do grid gerado, “com” é a condição para o preenchimento das células, “focalmean” é o filtro de média utilizada, “datanull” identifica o valor das células a serem preenchidas.

O modelo obtido após a os processamentos de correções dos valores das células com valor zero ou negativo foi submetido a operação de preenchimento de depressões espúrias, as quais ocorrem durante o processamento e consistem em células com valores inconsistente, maior ou menor do que aquele dos seus vizinhos, e deve, ser corrigidos para obter modelos consistente para fins hidrológicos. Para tanto utilizou o comando de preenchimento *Fill* disponível na caixa de ferramentas *Arctoolbox*, em *Spatial Analyst Tools/Hidrology*. Após essa etapa obteve um modelo digital de elevação geograficamente consistente, a partir do qual foram derivados os mapas de bacia e o das sub-bacias.

3.3.2 Obtenção da drenagem numérica e delimitação da bacia e sub-bacias

Para a obtenção dos limites da bacia e suas sub-bacias utilizou os comandos disponíveis na barra de ferramenta *Spatial Analyst Tools/Hidrology* do módulo *Arctoolbox* do ArcGis.

A partir do modelo de elevação corrigido foram derivados os mapas de direção do escoamento *Flow direction*, e deste o mapa de fluxo acumulado *flow Accumulation*. O mapa de direção de escoamento apresenta para cada célula do mapa uma das oito direções possíveis a partir de cada uma das células do mapa, e dele derivou o mapa de fluxo acumulado da drenagem. O fluxo de escoamento apresenta para cada célula do mapa o número de células que contribuem para o acúmulo de água e por consequência, as células que formam a rede de drenagem, definida pelas células que recebem o maior valor de contribuição de acúmulo a partir de um valor mínimo determinado. Esse valor foi determinado por comparação visual, tendo como referencia a rede hidrográfica mapeada pelo IBGE. Por tentativas o mapa foi reclassificado até obter o valor de 50 células como apropriado para forma a drenagem numérica mais próxima aquela de referencia. Na barra de ferramentas *Spatial Analyst* utilizou a calculadora de mapas *Raster Calculator* com a formula da Equação 3 para converter a rede de drenagem para um mapa.

$$\text{Dren50} = \text{con}([\text{FlowAcc_srtm}] \geq 50, 1) \quad (3)$$

Em que: “Dren50” é o nome do arquivo a ser gerado, cuja drenagem é composta por células que recebem a contribuição de 50 células. E “con” é a condição para seleção de células que acumulam o fluxo vindo de mais de 50 células.

A rede de drenagem foi hierarquizada segundo a ordem do canal conforme método proposto por Strahler (1980). E em seguida foi delimitada a bacia utilizando o comando “*basin*” e com o comando “*watershede*” gerou as sub-bacias para as subordens dos canais.

3.3.3 Densidade de drenagem para diferente resolução do modelo digital de elevação

Foram derivadas as redes de drenagem dos modelos interpolados para a resolução de 30, 40 e 60 metros, para comparação com a drenagem obtida das cartas do IBGE e do modelo obtido com a resolução de 90 metros sem interpolar. Para ajustar a equação de densidade de drenagem foram derivadas redes de drenagem com diferente quantidade de células no mapa de fluxo de escoamento acumulado (20, 30, 40, 50 e células de contribuição).

O cumprimento da drenagem obtida para cada mapa obtido foi calculou e a densidade de drenagem determinada. Os valores obtidos foram utilizados para ajustar uma equação de regressão relacionando a densidade de drenagem e a área de contribuição utilizada para gerar cada uma. A partir da equação ajustada foi utilizada a densidade de drenagem determinada pelo mapeamento topográfico do IBGE para definir o número de células de contribuição necessário para gerar a drenagem numérica com densidade mais próxima daquela obtida com a rede de drenagem do IBGE. Os mapas obtidos com os valores estimados pela equação foram comparados visualmente com o mapa de referencia.

3.3.4 Seleção de bacias para análise de escala de mapeamento hidrográfico

Para verificar a influencia da escala de mapeamento na densidade de drenagem selecionou bacias em uma mesma unidade geomorfológica, eliminando a influencia do relevo dos resultados. Foram selecionadas cinco unidades geomorfológica com duas bacias em cada unidade, uma em área de mapeamento de 1:50.000 e a outra em área de 1:100.000. As bacias selecionadas para análise localizam em geomorfologia classificada como depressão, de planaltos dissecados e de maciço montanhoso (UFV, 2010).

4. Resultados e Discussão

4.1. Ajuste de equação para determinar a densidade de drenagem para diferentes unidades geomorfológica e resolução dos modelos de elevação

Os valores de densidade de drenagem obtidos para os modelos interpolados foram ajustados ao modelo de regressão logarítmico. Na equação obtida, todas com coeficiente de determinação (R^2) superior a 0,95, utilizou o valor de densidade de drenagem dado pela carta do IBGE para predizer o número de células de contribuição necessário para formar a rede de drenagem mais próxima à densidade de referência, dada pela hidrográfica do IBGE.

Os resultados obtidos a partir da equação ajustada para o número de células de contribuição e o comprimento dos canais gerados com a drenagem estão apresentados na Tabela 1. Em todas as bacias o número de células para formar a drenagem pela equação ajustada aumentou com o aumento da resolução do modelo. Isso se deve ao aumento na área de contribuição em função do tamanho da célula do modelo.

Tabela 1 – Número de células de contribuição de fluxo de escoamento acumulado determinado pela equação pra a formar a densidade de drenagem das bacias em diferentes unidades geomorfológicas pelos modelos de 90 metros e interpolados para resolução de 30, 40 metros.

Bacias	Nº de células	Comp km	Nº de células	Comp km	Nº de células	Comp km	Comp km
	Resolução 30		Resolução 40		Resolução 90		IBGE
1	78,6	97,5	62,7	83,4	21,28	56,0	76,1
2	97,2	280	83,3	245,7	43,08	178,5	187,9
3	54,1	155,6	36,1	140,4	4,28	48,0	153,7
4	47,1	474,6	28,9	461,5	3,80	178,0	469,7

O número de célula estimado pela equação foi utilizado para derivar as redes de drenagem para cada uma das bacias e fazer a comparação entre a densidade de canais obtida para os dois modelos interpolados mais o modelo sem interpolação, bem como a análise visual de comparação com as drenagens entre-se e com a drenagem de referência, utilizada para estimar o comprimento dos canais.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados de densidades de drenagem para quatro bacias. A densidade de drenagem da Bacia 4 foi superior as demais tanto na carta do IBGE quanto nas resolução de 30 e 40 metros, na resolução de 90 apresentou valor ligeiramente inferior ao da bacia com maior valor. Os resultados dessa bacia, caracterizada por planalto dissecado reflete a influencia do relevo e do clima na dissecação do terreno e formação de maior numero de canais de drenagem. Com segundo maior valor de densidade de drenagem aparece a Bacia 3, formada por relevo de cristas, escarpas e encostas, situada no Quadrilátero Ferrífero, onde as chuvas são menos intensa do que na áreas da Bacia 4, a atuação do clima no relevo formando a rede de drenagem é desfavorecida, o que pode ser comprovado pela extensão da rede de drenagem.

Os menores valores de densidade de drenagem dado pela carta do IBGE e pela drenagem numérica para as bacias de número 1 e 2, mostra os reflete por um lado, a escala de mapeamento, que no caso do IBGE é 1:100, 000 e por outro, devido a unidade de relevo que estão situadas, colinas rebaixadas e maciço montanhoso, respectivamente. Esse segundo fator de influencia na formação dos cursos d'água observado pelos valores de densidade numérica.

A rede de drenagem obtida do modelo interpolado para 40 m foi o que obteve melhor resultado para todas as sub-bacias estudadas, com valor de densidade de drenagem mais próximo a aquela obtida pelo mapa topográfico (Tabela 2).

Tabela 2 - Densidade de drenagem (DD) obtida para cartas topográficas do IBGE em duas escala de mapeamento para bacias selecionadas em uma mesma unidade geomorfológica.

Unidade geomorfológica da bacia	DD IBGE	DD MDE 30m	DD MDE 40m	DD MDE 90m	Escala Carta IBGE
1 - Colinas Rebaixadas da Depressão Interplanáltica do Médio Rio Doce	1,48	1,90	1,63	1,09	100
2 - Maciço Montanhoso de Manhauçu – Caratinga	1,10	1,66	1,45	1,06	100
3 - Cristas, Escarpas e Encostas do Quadrilátero Ferrífero	2,28	2,41	2,18	0,74	50
4 - Planaltos Dissecados do alto Rio Doce	2,47	2,49	2,43	0,94	50

Os resultados visuais das redes de drenagem obtida pelos modelos interpolados para 30 e 40 metros, e modelo de 90 metros são apresentados na Figura 1 para uma das bacias analisadas. A drenagem apresentada foi obtida pela equação ajustado e é comparada com a drenagem do IBGE. Visualmente as diferenças entre a drenagem obtida sem interpolação, com resolução de 90 m (Figura 1 C), e aquelas dos modelos interpolados (Figura 1, A e B) foram mais pronunciadas nas áreas mais planas (Figura 1). A drenagem com 90 m apresentou muitos artefatos, e canais de drenagem distorcidos, sendo a menos coincidente com a drenagem de referência, do mapeamento topográfico. Na comparação entre a drenagem de 30 e 40 m a de 40 mostrou-se mais indicada, pois, com a resolução de 30 alguns canais de drenagem foram suprimidos.

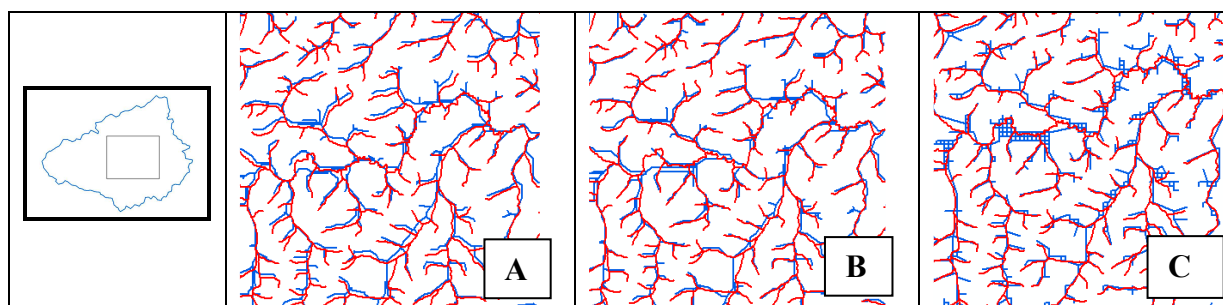


Figura 1 – Rede de drenagem obtida para diferentes resoluções dos modelos de elevação: A) 30, B) 40 e C) 90 metros de resolução. Número de células de fluxo de escoamento acumulado determinado pela equação de ajustada para a densidade de drenagem de referencia.

A análise em bacias com diferentes unidades geomorfológicas mostra a influência direta do relevo no resultado do mapeamento da rede de drenagem, com variações principalmente quando o relevo apresenta-se mais ou menos dissecado. Na Figura 2 são apresentadas as quatro bacias analisadas a comparação visual entre a drenagem de referência e a drenagem obtida pela equação de regressão para o melhor resultado obtido, qual seja, modelo interpolado com 40 metros de resolução.

A principal melhoria obtida no mapeamento da drenagem com a interpolação foi a redução de artefatos quando o canal apresentava-se provavelmente com maior espessura e em casos de muita ramificação dos canais. Numericamente a melhoria foi em relação ao comprimento dos canais, que se aproximou mais da drenagem de referência, gerando assim resultados próximos para a densidade de drenagem usualmente considerada como referência.

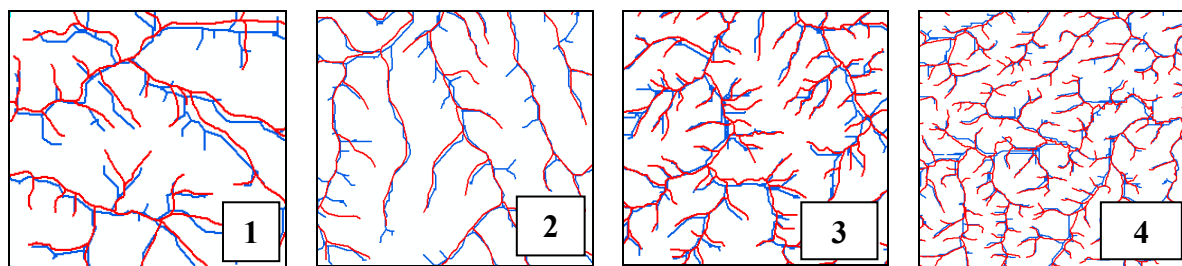


Figura 2 - Comparação entre as drenagens do IBGE em vermelho e, em azul, derivadas do modelo interpolado para 40 m e ajustada pela equação de regressão.

4.2. Avaliação da densidade de drenagem para duas escalas de mapeamento

Os resultados comparativo entre os valores de densidade de drenagem gerados para cartas em escala de 1:50 e 1:100 mil e para a densidade numérica são apresentados na Tabela 3. Observa-se que a densidade de drenagem é menor para a menor escala, pois com menor detalhe de mapeamento a quantidade de canais e os seus comprimentos são relativamente menores e por consequência a densidade.

Esses resultados mostram que o emprego da base de dados das imagens SRTM em estudos que consideram a densidade de drenagem é viável, pois não necessitam considerar as diferentes escalas de mapeamento, já que as imagens foram adquiridas com mesmo nível de detalhe e, não necessita processamento adicional para estudos comparativos entre diferentes áreas. Os valores de densidade de drenagem MDE interpolado para 40 metros obtida a partir das imagens SRTM apresentaram valores semelhantes (Tabela 3), variando de 0,9 a 1 para as bacias em ambas as escalas de mapeamento, 50 e 100 mil. Os que pode ser observado pela razão entre a densidade de drenagem numérica (DD MDE) das bacias comparadas, onde os valores.

Tabela 3 - Densidade de drenagem (DD) de bacias localizadas em uma mesma unidade geomorfológica obtida para cartas topográficas do IBGE em duas escala de mapeamento.

DD IBGE 1:50.000	DD MDE	DD IBGE 1:100.000	DD MDE	Índice DD IBGE	Índice DD MDE	Unidade geomorfológica
2,63	1.7	2,15	1.7	0.8	1.0	Planaltos Dissecados do Rio Piracicaba.
2,09	1.8	1,33	1.9	0.6	0.9	Planaltos Dissecados do médio Rio Doce.
1,69	1.9	0,79	2.1	0.5	0.9	Depressão central e Terraços do Médio Rio Doce.
1,82	1.7	1,27	1.7	0.7	1.0	Planaltos Dissecados dos Rios Guanhões e Santo Antônio.
2,1	1.9	1,45	1.8	0.7	1.0	Maciço Montanhoso de Manhuaçu e Caratinga.

5. Conclusões

A obtenção da rede hidrográfica derivada das imagens de radar SRTM permite obter uma densidade de drenagem semelhante a aquela obtida pelo mapeamento topográfico das cartas do IBGE. O uso dessas imagens torna menos trabalhoso e demorado a aquisição de parâmetros morfométricos da bacia, como a densidade de drenagem para áreas de extensão regional como a da Bacia do Rio Doce.

Os resultados mostram a necessidade de compartimentar em sub-regiões áreas com morfologia do terreno heterogênea como apresentada nesse estudo, com a obtenção da hidrografia com menos artefatos nas áreas mais planas. A interpolação dos dados do SRTM de 90 metros para modelo com resolução de 40 metros mostrou que o mapeamento da rede de

drenagem torna-se mais coincidente com a drenagem do IBGE nas escalas de 1:50.000 e 1:100.000 do que a obtenção direta a partir da imagem com a resolução de aquisição.

A determinação do número de células de contribuição que forma a hidrografia para um dado padrão geomorfológico torna menos subjetivo o mapeamento da drenagem numérica em áreas de grandes extensões empregando critérios visuais e permite realizar a determinação para uma área piloto e usar para outras de mesma características.

Nesse trabalho não foram realizados processamento de correção dos artefatos da rede de drenagem, os quais contribuem para aumentar o comprimento total dos canais, e, com isso alterar os índices morfométricos obtidos em relação a esse parâmetro. Para trabalhos futuros sugere-se que a distribuição dos artefatos seja avaliadas e aplicadas operações para a remoção dos mesmos e feito a avaliação das mudanças nos valores do índice de densidade de drenagem dado pela presença dos artefatos que ocorrem localizados nas áreas de relevo mais suave.

Referencia Bibliográfica

CGIAR-CSI - **Grupo Consultivo de Pesquisa Agrícola Internacional-Consórcio de Informação Geográfica**. Disponível em: <<http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>>. Acesso em 4 de maio de 2010.

GROHMANN, C. H.; STEINER, S. S. SRTM resample with short distance-low nugget kriging. **International Journal of Geographical Information Science**. 2007, 12p.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm#TOPO> Acesso em: 20 de julho de 2010.

Medeiros, L. C. et al. Avaliação de modelos digitais de elevação para delimitação automática de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**. n 61/02, p.137-151, 2009.

Strahler, A.N. 1980. System theory in general geography. **Phys. Geogr.**, v.1, p.1-27.

Taramelli, A. et al. Comparison of srtm elevation data with cartographically derived dems in Italy. **Rev. Geogr. Acadêmica**. v.2 n. 8, p. 41-52, 2008.

UFV/SEMA/FEAM. Universidade Federal de Viçosa/Secretaria Estadual de Meio Ambiente/ Fundação Estadual de Meio Ambiente. **Levantamento de solos e aptidão agrícola das terras da Bacia do Rio Doce, Estado de MG**. Relatório e Mapa de Solo, escala 1:500.000. Viçosa: UFRV. 2010. 157p. (sd).