

## Análise morfológica de rede de drenagem extraída de MDE-SRTM

Luis Felipe Soares Cherem<sup>1</sup>  
Antônio Pereira Magalhães Jr.<sup>1</sup>  
Sérgio Donizete Faria<sup>1</sup>

<sup>1</sup> PPG em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais – UFMG  
Av. Antônio Carlos, 6627. CEP. 31.270-901 - Belo Horizonte – MG, Brasil  
luis.cherem@gmail.com; {magalhaesufmg, fariamaracai}@yahoo.com.br

**Abstract.** Digital elevation models (DEMs) obtained from space systems (e.g. SRTM and ASTER) have been widely applied to extract digital drainage network. This database is very important to areas which have no topographic maps and also to areas in which these maps have different scales or they were produced under different drainage network interpretation methodology. To overcome this problem, different digital image processing methodologies have been developed, like extraction based on hydrologic processes or gray-scale image attributes. The network generated under these methodologies support varied applications, like environmental analyses and hydrologic ones. Depending on the application, some methodologies generate misshaped networks that would cause incorrect results if applied with no concern. One of these applications is the morphologic analyses. The goal of these analyses is to understand the relief configuration and evolution. This paper presents a morphologic analysis of the drainage network extracted from a SRTM-DEM for the upper basin of Velhas River, Minas Gerais state, comparing it to the network extracted from topographic map (1:50.000) to assess if SRTM-drainage network should be used to understand the study-area geomorphology. This is made by visual comparison and applying morphometric parameters. Results indicate limits on using SRTM data for detailed morphologic analyses. Fluvial hierarchy and channel sinuosity show the difference between SRTM and topographic map drainage networks. Instead, the drainage and river densities show reduced variation.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, SRTM, drainage network, sensoriamento remoto, processamento de imagens, rede de drenagem.

### 1. Introdução

Os modelos digitais de elevação (MDE), especialmente os obtidos por imageamento orbital (SRTM e ASTER, e.g.) tem sido amplamente utilizados na extração da rede de drenagem. Essa utilização das bases de dados altimétricos obtidos por sensoriamento remoto visa suprir a escassez de cartas topográficas em escala compatível à análise realizada, bem como fornecer uma rede de drenagem integrada e homogênea para áreas representadas por cartas topográficas que apresentam rede de drenagem interpretada por metodologias distintas. A rede de drenagem (RD) pode ser derivada dos MDEs por meio de diferentes metodologias, tais como: análise de imagem utilizando morfologia matemática (Candeias, 1996), análise hidrológica simplificada (Tarboton et al., 1991; Dutra et al., 2005) e análise hidrológica (Vogt et al., 2003; Ruzkiczay-Rudiger, 2007).

Cada uma das metodologias de derivação da rede de drenagem é adequada a determinadas configurações da base de dados. A metodologia mais simples é a apresentada por Tarboton et al. (1991), que se caracteriza pela geração inicial de uma base de fluxo acumulado (*accumulate flow*) e subsequente classificação binária dessa base a partir de um limiar correspondente a área mínima necessária para gerar um canal de drenagem. A área mínima pode ser calculada por amostragem das áreas de contribuição dos canais de primeira ordem (cabeceira de drenagem) da base cartográfica, quando o MDE é baixa resolução espacial e a área de estudo é de maior escala geográfica, ou pela amostragem em campo, quando o MDE é de maior resolução espacial e a área de estudo é de menor escala geográfica.

Vogt et al. (2003) e Ruzkiczay-Rudiger (2007) apresentam duas metodologias distintas que utilizam aspectos ambientais (pedológicos, climáticos, geológicos e fitográficos) na

definição de seus limiares. Essas metodologias demandam a pré-existência das bases de dados relativos a cada um dos aspectos ambientais em mesma escala para toda a área de estudo. Devido ao fato da base de dados demandada para a aplicação dessas metodologias não ser compatível com a disponibilidade de dados em escala regional para todo o país (1:100.000) e a necessidade de existirem bases de rede de drenagem que tenham a mesma característica, a metodologia de Tarboton et al. (1991) é a mais adequada.

Entretanto, mesmo a rede de drenagem gerada a partir de SRTM (RD-SRTM)RDSRTM sendo a melhor opção, sua utilização deve ser feita com parcimônia, sendo necessárias análises morfológicas e hidrológicas sobre essas bases.

A rede de drenagem corresponde à toda a água superficial presente em uma determinada região, isto é, representa todos os corpos d'água fluviais, lacustres e marinhos, abrangendo todos os cursos d'água, lagos, lagoas e represas, bem como enseadas, baías e linha costeira. É dada atenção aos corpos d'água fluviais – o tipo de corpo d'água mais expressivo no território brasileiro – representados pelos canais fluviais, os quais são morfologicamente caracterizados por sua hierarquia, sinuosidade e declividade, além de apresentar características quanto ao seu arranjo espacial, como a relação entre os canais de determinada ordem e os canais de ordem superior (Horton, 1945; Strahler, 1952).

Nesse contexto, é apresentada uma análise comparativa da rede de drenagem gerada a partir de uma imagem SRTM, utilizando a metodologia apresentada em Tarboton et al. (1991), com a rede de drenagem obtida da carta topográfica – escala 1:50.000. A área de estudo é a bacia do alto Rio das Velhas, região central do estado de Minas Gerais, conforme indicado na Figura 1. Essa região está representada em sete folhas da carta topográfica – escala 1:50.000, tendo a hidrografia representada no mesmo nível de detalhe. Essa característica faz com que essa região seja uma área de estudo adequada para a avaliação morfológica da rede de drenagem gerada a partir do MDE-SRTM, de resolução espacial igual a 90 metros.

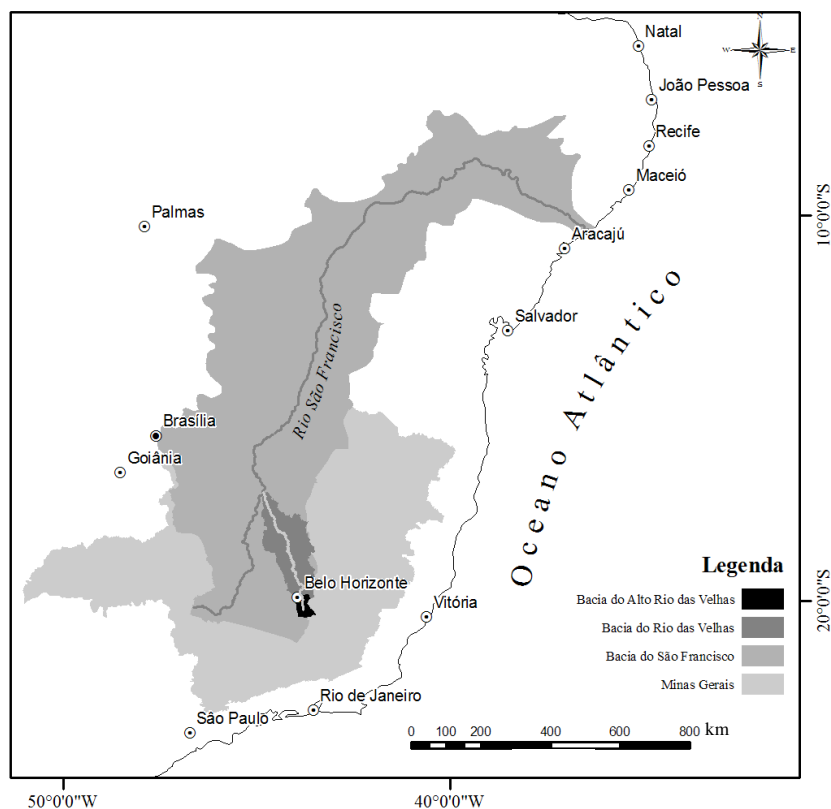


Figura 1. Localização da área de estudo em escala nacional.

## 2. Metodologia de Trabalho

A análise morfológica da rede de drenagem gerada a partir de SRTM (RD-SRTM) pode ser metodologicamente dividida nas seguintes etapas: a) correção topológica e articulação da rede de drenagem da carta topográfica; b) processamento digital do MDE-SRTM para obtenção da rede de drenagem segundo proposta de Tarboton (1991); c) hierarquização das duas bases de redes de drenagem; d) cálculo dos parâmetros morfométricos selecionados; e) comparação visual e quantitativa.

A rede de drenagem da carta topográfica, vetorizada pelo Projeto GEOMINAS (PRODEMGE, 2008), deve ser articulada para possibilitar a integração dos canais representados em mais de uma folha. Em seguida, a base vetorial da rede de drenagem da carta topográfica (RD-TOPO) deve ser hierarquizada segundo classificação de Strahler (1952).

O MDE-SRTM deve ser hidrológicamente corrigido, sendo preenchidas as depressões na rede de drenagem (*sinks*) presentes ao longo das calhas fluviais, que correspondem a erros da própria imagem. Em seguida, deve ser aplicada a metodologia apresentada por Tarboton (1991), sendo o limiar de geração de canal igual a 64.800 m<sup>2</sup>, ou 8 pixels. A drenagem matricial deve ser convertida vetorial e, por fim hierarquizada segundo classificação de Strahler (1952).

A seguir, devem ser delimitadas todas as sub-bacias hidrográficas de terceira, quarta, quinta e sexta ordem, que integram a bacia do alto Rio das Velhas em ambas bases, sendo a delimitação no MDE automática e na base topográfica, manual.

Após a composição das duas bases de dados, são extraídos os seguintes parâmetros morfométricos, compilados em Christofoletti (1999): relação de bifurcação (*Rb*), relação de gradiente médio de canais (*Rg*), relação de comprimento médio de canais (*Rl*), relação de área de bacias (*Ra*), índice de sinuosidade (*Is*), densidade de drenagem (*Dd*) e densidade hidrográfica (*Dh*). Por fim, é realizada a análise morfológica sobre esses parâmetros, além de serem feitos apontamentos sobre aspectos visuais dessas bases.

## 3. Resultados e Discussão

A bacia do alto Rio das Velhas é uma bacia de sétima ordem hierárquica, característica verificada em ambas as bases. Entretanto, a hierarquia de alguns canais afluentes é diferente entre a RD-SRTM e a RD-TOPO, conforme ilustrado na Figura 2.

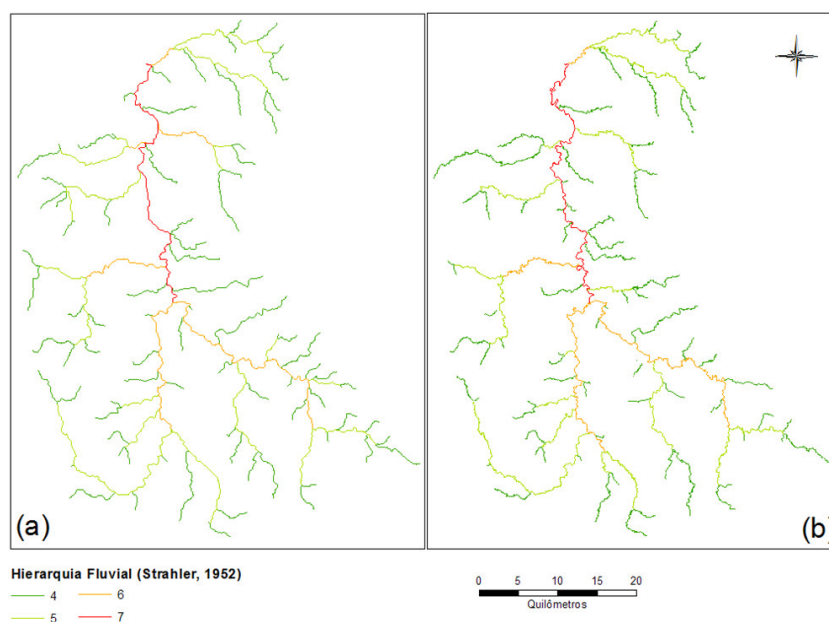


Figura 2. Hierarquização da rede de drenagem para: (a) RD-SRTM; e (b) RD-TOPO.

Essa diferença indica a variação do arranjo estrutural dos canais fluviais entre as duas bases, especialmente para a porção sudeste (SE) da bacia, onde os canais gerados pela metodologia de Tarboton et al. (1991) – RD-SRTM – são de maior ordem hierárquica que a RD-TOPO. Além disso, outra diferença visível entre as duas bases é a sinuosidade dos canais, que é maior para a RD-TOPO. Esses problemas na geração da rede de drenagem a partir dos dados SRTM são resultados de problemas do próprio MDE, no qual a composição do relevo é diferente das cartas topográficas. Isso faz com que algumas áreas de cabeceiras, ao invés de pertencerem a sua bacia, pertençam a outras bacias, conforme apresentado na Figura 3.

Outro problema visível na RD-SRTM é a geração de canais de primeira ordem em áreas que correspondem a represas, lagos e lagoas. Essa distorção é ocasionada pela maneira na qual a metodologia de preenchimento de depressões na rede de drenagem (*sinks*) trata essas áreas. As áreas de corpos d'água que têm sua dimensão superior a um *pixel* são entendidas como depressões absolutas, o que gera descontinuidades ao longo da rede de drenagem. Quando esses corpos d'água têm dimensão superior a  $3 \times 3$  *pixels* é gerada uma rede de drenagem com canais paralelos a um canal principal, conforme ilustrado na Figura 4.

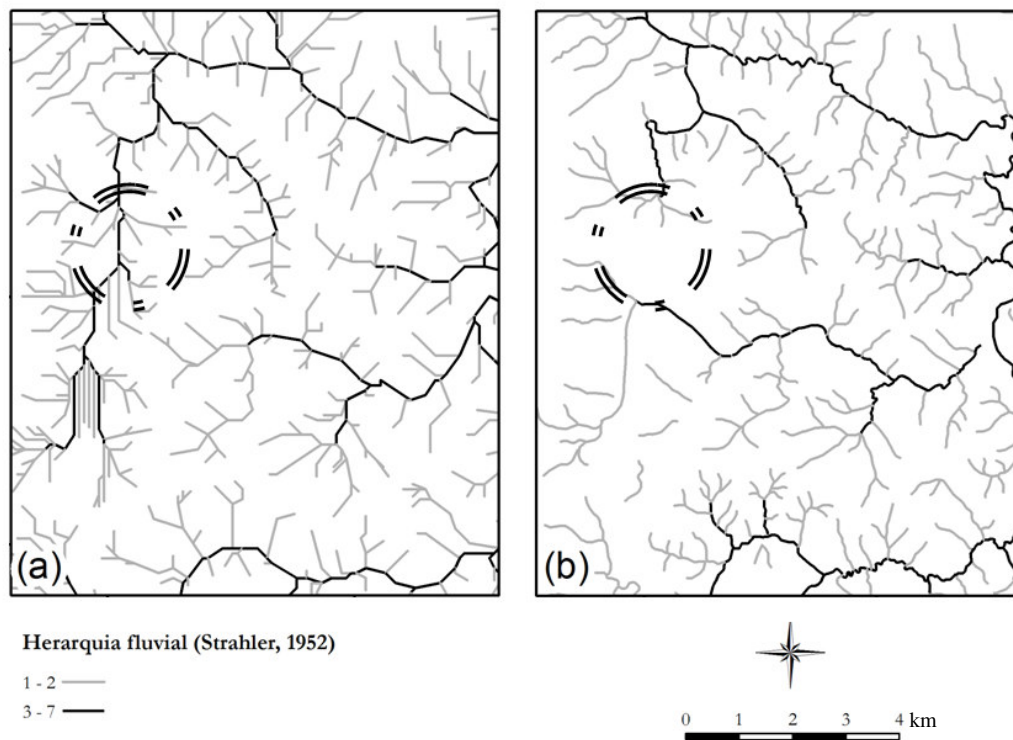


Figura 3. Problemas topológicos com destaque para a diferença no arranjo da rede de drenagem: (a) RD-SRTM; e (b) RD-TOPO.

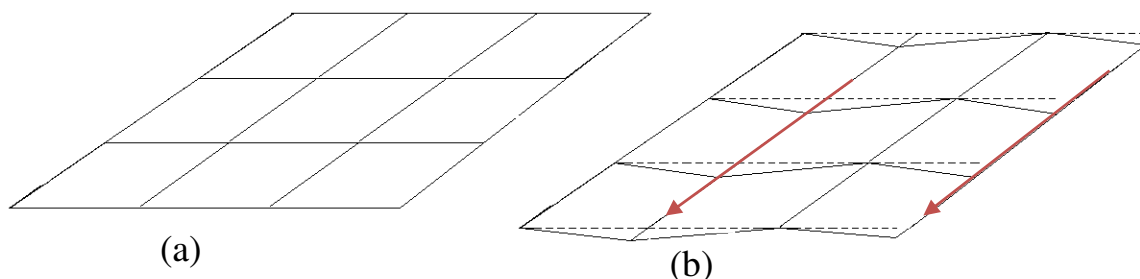


Figura 4. Comparação da direção de fluxo em área de corpos d'água maiores que  $3 \times 3$  pixels em MDE-SRTM: (a) original; e (b) com preenchimento de depressões.

Outro problema verificado é a perda do detalhamento morfológico dos canais fluviais. Essa inconsistência se deve ao fato dos vetores da rede de drenagem gerada a partir de MDE corresponderem a segmentos retilíneos. Assim, a sinuosidade dos canais fluviais não é representada para os canais de baixa ordem hierárquica, especialmente aqueles no intervalo de segunda a sexta ordem, conforme ilustrado na Figura 5. A sinuosidade dos canais é representada em canais de ordem sete e superiores. Entretanto, canais dessa ordem correspondem a menos de 5% dos canais da bacia do alto Rio das Velhas. Caso a análise fosse realizada para a bacia do Rio das Velhas inteira, esses canais seriam mais representativos.

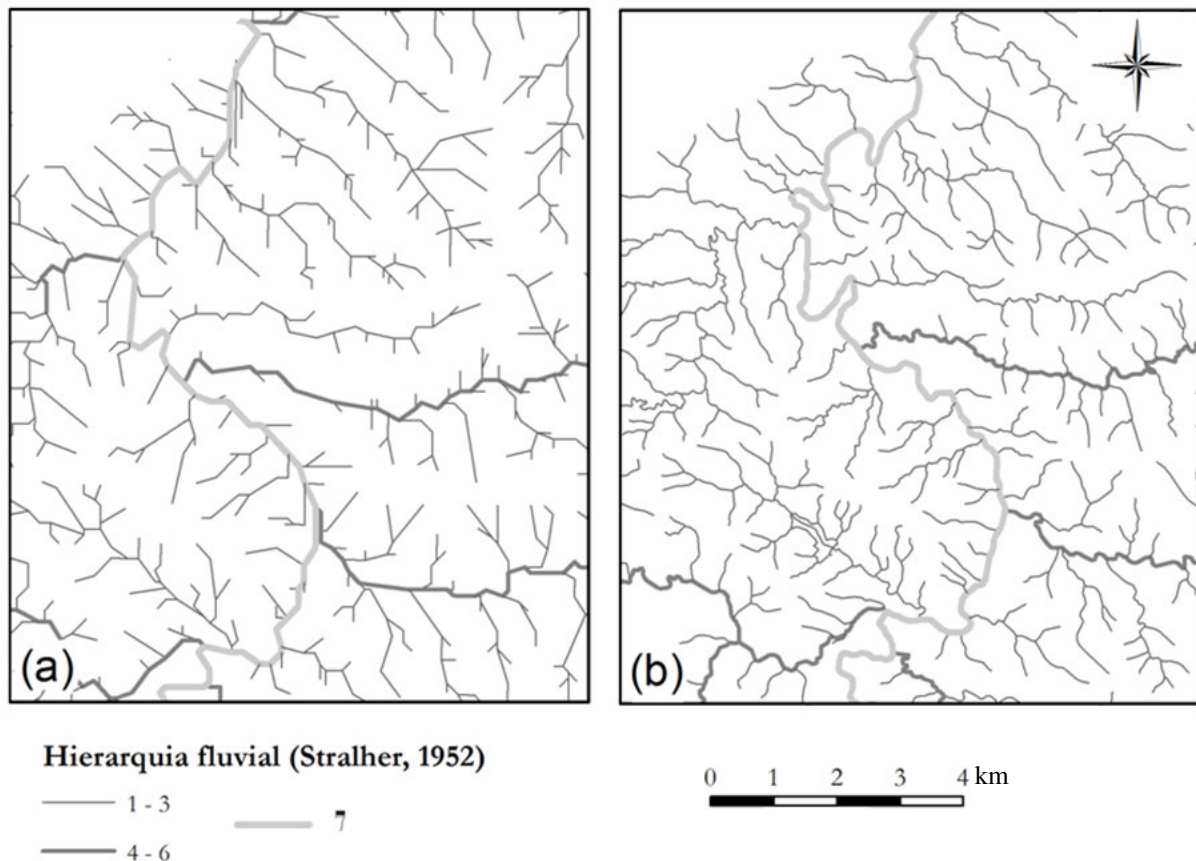


Figura 5. Comparação da sinuosidade dos canais no trecho próximo à foz do alto Rio das Velhas: (a) RD-TOPO; e (b) RD-SRTM.

A heterogeneidade visual observada entre as duas redes de drenagem é confirmada pela comparação entre os parâmetros morfométricos extraídos para cada um dos conjuntos de dados correspondentes. Os valores esperados para a relação de bifurcação ( $Rb$ ), a relação do comprimento médio dos canais de cada ordem ( $Rl$ ) e a relação entre as áreas médias das bacias de cada ordem ( $Ra$ ) deveriam ser iguais para representar com consistência o comportamento padrão de uma bacia hidrográfica conforme apresentado por Horton (1945). Entretanto, em todos esses parâmetros, apenas os gerados a partir dos dados obtidos da RD-TOPO apresentaram o comportamento esperado, variando pouco em torno da média, conforme ilustrado na Figura 6.

O índice  $Rb$  (relação de bifurcação) calculado para as bases de dados demonstra que a composição da RD-SRTM não apresenta uma distribuição constante, sendo que os valores calculados se distanciam da média (4,57), enquanto os  $Rb$  calculados para a RD-TOPO mantêm-se próximos da média (4,23), conforme ilustrado na Figura 6. Esse comportamento também é observado para a relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem ( $Rl$ ) nas duas bases de dados da rede de drenagem. Os valores dos  $Rl$  extraídos da RD-TOPO

foram os únicos que não se distanciaram da média (2,25), sendo que os valores da RD-SRTM distanciaram significativamente da média (2,27), conforme ilustrado na Figura 6. O  $Ra$  (relação de área de bacias) apresentou um comportamento também anômalo, com destaque para o  $Ra$  entre áreas médias das bacias de sexta e sétima ordem, o qual apresenta valores que se distanciam das médias (5,4). Esses valores demonstram, em conjunto, que a composição hierárquica da rede de drenagem extraída do MDE-SRTM não é idêntica à rede obtida da carta topográfica. O que significa que a RD-TOPO da bacia do alto Rio das Velhas é diferente da RD-SRTM da mesma área.

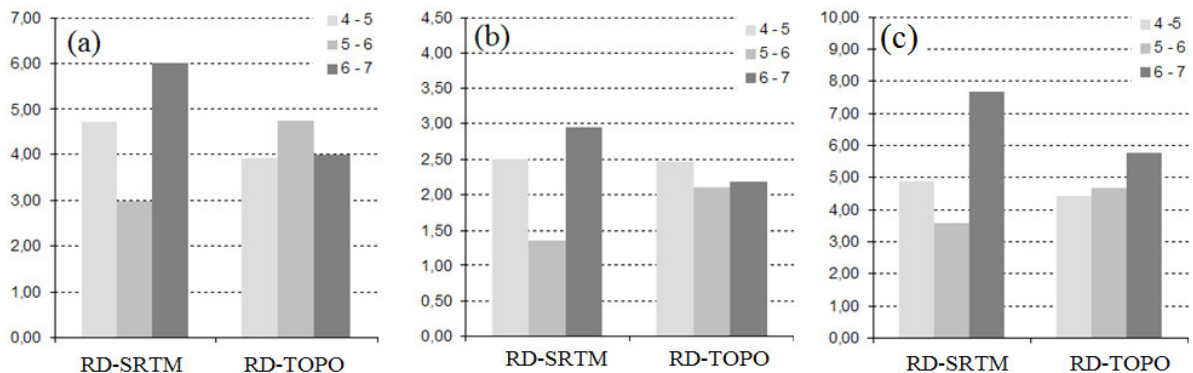


Figura 6. Gráficos comparativos parâmetros morfométricos: (a)  $Rb$ , (b)  $Rl$  e (c)  $Ra$  para RD-SRTM e RD-TOPO.

Outro parâmetro com resultados que indicam a diferença morfológica entre as redes de drenagens das bases comparadas é o índice de sinuosidade ( $Is$ ), pois ele não analisa a estrutura da rede de drenagem, mas sim os atributos individualizados por canal. Esse parâmetro foi calculado para todos os canais de quarta, quinta, sexta e sétima ordem de todas as bases, totalizando 333 valores de  $Is$ . Observa-se que quanto maior a ordem dos canais maior é a diferença entre a sinuosidade observada nos RD-SRTM, conforme ilustrado na Figura 7. A sinuosidade média de todas as ordens hierárquicas da RD-SRTM, tem valor aproximado à sinuosidade média calculada para os canais de quarta ordem da RD-TOPO. Esse fato demonstra que a rede de drenagem extraída do MDE-SRTM não representa a sinuosidade real dos canais. Isso acontece devido ao fato dos dados SRTM com resolução espacial de 90 metros não captar os canais fluviais que tenham largura inferior a esse valor, ficando representados os vales ao invés do canal, conforme apresentado na Figura 8.

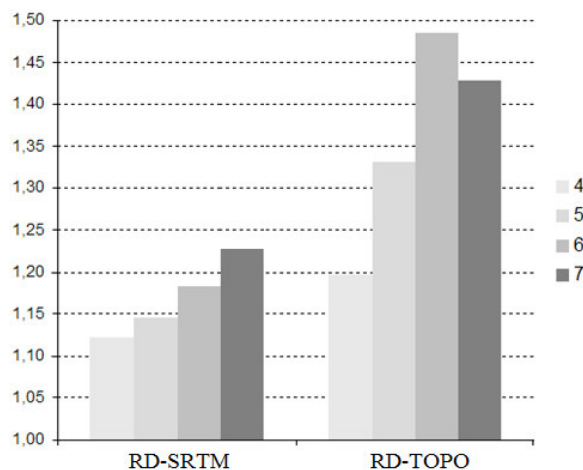


Figura 7. Índice de sinuosidade médio por ordem hierárquica para as redes de drenagem.

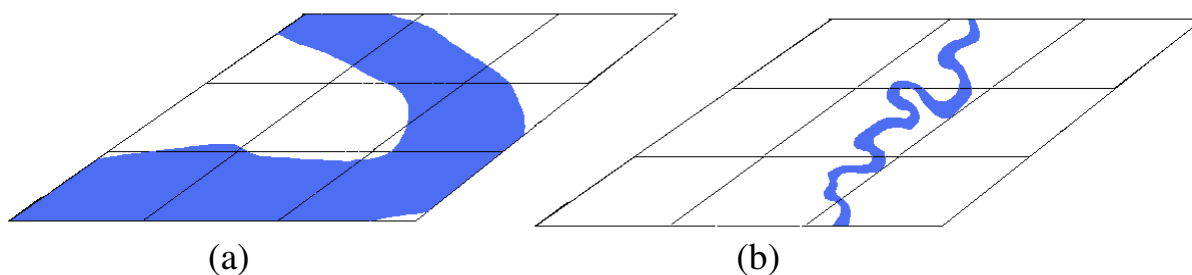


Figura 8. Diferença na representação da sinuosidade de canais em MDEs: (a) mais largos – de maior hierarquia; (b) canais mais estreitos – de menor hierarquia.

A variação dos parâmetros apresentados pode indicar um problema na geração da rede de drenagem e para avaliar essa possibilidade são usadas a densidade de drenagem ( $Dd$ ) e a densidade hidrográfica ou de canais ( $Dh$ ). Além do limiar utilizado (8 pixels) ser baseado na média amostral da área de contribuição necessária para a formação de fluxo superficial concentrado perene (canais de drenagem), foram testados outros dois valores (7 e 9 pixels). Esses testes indicam que o problema na composição da RD-SRTM não é proveniente da pequena variação nos valores testados para o limiar de geração de fluxo superficial, já que os valores de  $Dd$  e  $Dh$  são próximos aos calculados para a RD-TOPO, conforme apresentado nas Tabelas 1 e 2. Assim, a RD-SRTM apresenta quantidade e comprimento de canais próximos aos observados na RD-TOPO.

Tabela 1. Densidade de drenagem ( $\text{km}/\text{km}^2$ ) calculada por ordem hierárquica para a bacia do alto Rio das Velhas

Ordem dos Canais	$Dd$ -RD-SRTM ( $\text{km}/\text{km}^2$ )	$Dd$ -RD-TOPO ( $\text{km}/\text{km}^2$ )
4	0,163	0,155
5	0,87	0,97
6	0,39	0,43
7	0,23	0,19

Tabela 2. Densidade hidrográfica ( $\text{rio}/\text{km}^2$ ) calculada por ordem hierárquica e total para a bacia do alto Rio das Velhas

Ordem dos Canais	$Dh$ -RD-SRTM ( $\text{riokm}^2$ )	$Dh$ -RD-TOPO ( $\text{rio}/\text{km}^2$ )
4	0,038	0,033
5	0,008	0,008
6	0,003	0,002
7	0,000	0,000
Total	0,440	0,490

#### 4. Conclusões

A utilização da rede de drenagem gerada a partir de dados interferométricos, em especial os dados SRTM, deve ser feita com parcimônia, pois não são a melhor fonte de dados para realizar análises quantitativas da paisagem. Esses dados tendem a reduzir a sinuosidade dos canais fluviais de pequena e média ordem e, devido a problemas do próprio MDE original, compor redes de drenagens com arranjo espacial que se diferencia marcadamente do observado nas cartas topográficas. Assim, a utilização dos dados SRTM não pode implicar nem na melhoria de resolução por interpolação, nem na derivação de da rede de drenagem em escala de estudo de mais detalhe que 1:100.000. E para que a derivação da rede de drenagem seja realizada adquadamente, é necessário o desenvolvimento de um algoritmo que, ao invés de gerar vários canais paralelos, gere apenas um canal principal, quando a largura destes são maiores que três pixels. Procedendo dessa forma, esses dados podem, inclusive, ser utilizados em simulações hidrológicas.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão do apoio financeiro como bolsa de mestrado.

## Referências Bibliográficas

Candeias, A.L.B. Drainage Network Extraction from a SAREX'92 RADAR image. In: Simposio Brasileiro de Computacao Grafica e Processamento de Imagens (SIBGRAPI), 9, 1996, Caxambú. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. Artigos, p. 243-250. CD-ROM, On-line. Disponível em: <<http://mirror.impa.br/sibgrapi96/trabs/pdf/a07.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2008.

Christofoletti, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 186p, 1999.

Dutra, L.; Moura, A.C.M.; Freitas, C.R.; Freitas, C.; Guimarães, R.J.; Drummond, S.; Amaral, R.S.; Carvalho, O. Uso das imagens SRTM no mapeamento da rede de drenagem e no estudo da rugosidade do terreno em Minas Gerais e suas relações com a ocorrência de esquistossomose. IN Simpósio Nacional de Gerografia da Saúde, 2, 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro : FioCruz, 2005. p. 28-30

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.

PRODEMGE - Companhia de Tecnologia da Informação do Estado de Minas Gerais. Projeto GeoMINAS. Disponível em: < <http://www.geominas.mg.gov.br/>> Acessado em: 20 de out. de 2008.

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. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1871/10689>> Acessado em: 20 de mar. de 2008.

Strahler, A. N. Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion al topography. **Geological Society of America Bulletin**, v.63, n.10, p.1117-1142, 1952.

Tarboton, D. G.; Bras R. L.; Rodriguez-Iturbe; I. On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data. **Hydrological Processes**. 5: p. 81-100. 1991.

Vogt, J.V; Colombo, R.; Bertolo, F. Deriving networks and catchment boundaries: a new methodology combining digital elevation data and environmental characteristics. **Geomorphology**. v. 53, p. 281-298, 2003.