

## Comparação entre Modelos Digitais de Elevação para a caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas - RS

Kássia Regina Bazzo<sup>1</sup>  
Sara Helena Raupp Gomes<sup>1</sup>  
Hugo Alexandre Soares Guedes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Federal de Pelotas – UFPel/CENG  
Rua Benjamin Constant, 987, 96015-020, Pelotas, RS – Brasil  
{bazzokassia, sara.raupp}@gmail.com  
hugo.guedes@ufpel.edu.br

**Abstract.** The main purpose of this study was to determine a comparison between distinct DEM (Digital Elevation Models), obtained from data of ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) and topographical map from IBGE, in a scale of 1:50.000, produced in the Geographical Information System (GIS), seeking a morphometric characterization of watersheds. It was taken as basis the Pelotas Arroyo and the morphometrics characterization were extracted after some processes to obtain the hydrologically consistent digital elevation model (HCDEM). Root Mean Square Error (RMSE) was the statistic index applied to evaluate the quality of HCDEMs. The morphometric parameters obtained from these two different data sets got percentage differences less than 15%, except for perimeter and maximum slope (16,2 and 23,8%, respectively). The HCDEM from ASTER super estimate the height, if compared with CARTA (IBGE map) and, analyzing the quality of watershed, the RMSE found is 9,82 and 2,42 meters, respectively. When the HCDEMs' quality was analyzed for flat areas, the RMSE involved had a small variation, if compared with the full area. In general, it was observed a good agreement between HCDEMs generated from remote sensing data and IBGE maps. Furthermore, the DEM processing, with specific software, is essential and efficient to determine the morphometrics characterization of hydrographic basins.

**Palavras-chave:** digital elevation models, hydrographic basin, geographical information system, modelos digitais de elevação, bacia hidrográfica, sistema de informação geográfica

### 1. Introdução

A caracterização física da bacia hidrográfica e do sistema de drenagem constitui uma das etapas iniciais na maioria dos estudos hidrológicos. Incluem-se nesta caracterização tarefas como a delimitação da bacia, determinação da área de contribuição em pontos de interesse, identificação dos principais cursos d'água e obtenção de características como comprimento, declividade e perfil longitudinal dos rios (Buarque et al. 2009).

Para tal procedimento, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) surgem como alternativa acessível e com uma vasta gama de ferramentas que permitem a obtenção de tais características através de processamento de dados digitais de elevação do terreno. Dentre esses dados, para subsidiar estudos em diversas áreas da pesquisa ambiental, destacam-se os Modelos Digitais de Elevação (MDE), definido por Burrough (1986) como qualquer representação digital de uma variação contínua do relevo no espaço.

Os MDEs podem ser obtidos por dados de sensoriamento remoto ou podem ser gerados a partir de uma fonte de dados mapeada. No Brasil, a fonte de dados mais comum para a geração dos MDEs são as curvas de nível e, de forma complementar, a hidrografia e os pontos de elevação cotados obtidos por cartas topográficas, principalmente aquelas elaboradas pelo

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); Entretanto a escassez dos dados em determinados locais faz com que as informações oriundas de imagens e sensores remotos sejam cada vez mais utilizadas para a geração desses modelos. (Chagas et al 2010; Guedes e Silva 2012).

O MDE deve representar o relevo de forma fidedigna e assegurar a convergência do escoamento superficial para a rede de drenagem mapeada, garantindo, assim, a sua consistência hidrológica (Baena et al, 2004). Tem-se, portanto, a necessidade de utilizar um Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC) (Elesbon et al., 2011).

De acordo com Chaplot et al. (2006), a qualidade de MDEs é fundamental para o sucesso dos estudos, principalmente em se tratando de modelagem hidrológica, sendo que vários fatores afetam a qualidade dos MDEs, como a tecnologia aplicada para coleta de dados, estrutura espacial da altitude e a técnica de interpolação empregada. Os interpoladores são ferramentas matemáticas que atribuem valores relativos a alguma variável em pontos inseridos em um campo de valores já existente, transformando dados discretos em contínuos (Castro et al., 2010).

A escolha da técnica de interpolação entre os dados de amostragem inicial de pontos de altitude deve ser feita com cautela. Existem muitas técnicas de interpolação, que desempenham diferentes precisões dependentes do contexto inserido, mas a maioria delas tem por objetivo a minimização do erro quadrático médio, ou seja, o desvio padrão das diferenças de altitude (Algarni e Hassan, 2001).

A escolha do melhor interpolador depende diretamente da intenção de uso, do tipo do terreno que se queira representar e da disponibilidade dos dados de entrada (Fernandes e Menezes, 2005). Ao se tratar de bacias hidrográficas com áreas planas, os dados de elevação disponíveis nem sempre são suficientes para representar adequadamente o terreno e permitir uma caracterização confiável. Dessa forma, há a necessidade de comparar os diferentes MDEs gerados por diferentes dados de entrada. Nesse sentido, um dos objetivos deste trabalho é analisar a melhor metodologia para obtenção de MDEs para estudos de bacias hidrográficas em áreas planas, onde as diferenças da superfície real e planimétricas são pouco significativas.

Desta maneira, o presente estudo tem como objetivo a comparação de diferentes MDEs, gerados através de dados do ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) e de carta topográfica do IBGE, com uma escala de 1:50.000, para a obtenção de características morfométricas da bacia hidrográfica do arroio Pelotas, localizada no município de Pelotas, Rio Grande do Sul.

## 2. Metodologia de Trabalho

A Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas (BHAP), localizada entre as coordenadas geográficas 31°23'36" a 31°48'49" Sul e 52°12'24" a 52°38'27" Oeste, no estado do Rio Grande do Sul, abrange parte dos municípios de Pelotas, Canguçu, Morro Redondo e Arroio do Padre (Figura 1). Seu principal canal fluvial, o Arroio Pelotas, tem aproximadamente 85 km de extensão e subdivide-se em quatro principais tributários, os arroios Andrade, Cadeia, Caneleiras e Quilombo. A bacia é caracterizada por possuir áreas bastante planas próximo ao exutório e declivosas próximo a cabeceira.

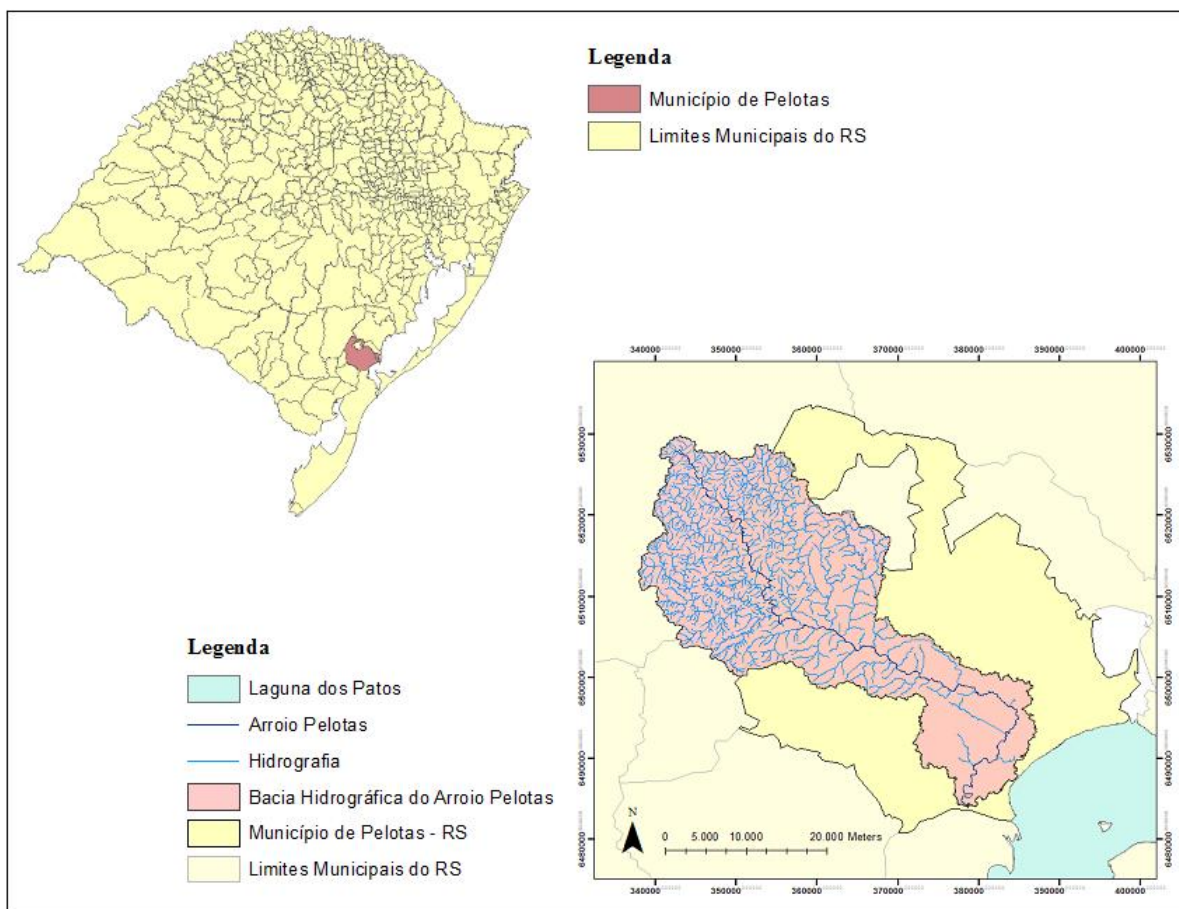


Figura 1.: Localização da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas

Para o MDE proveniente de sensor remoto, foi utilizada a base da missão ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), disponibilizada gratuitamente junto à plataforma ASTER GDEM, no endereço eletrônico <<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/index.jsp>>. A cena empregada no estudo foi a ASTGTM\_S31\_W052\_dem (MDEHC\_ASTER) com resolução espacial de 30 metros.

Para a geração do MDE proveniente das cartas topográficas do IBGE (MDEHC\_CARTA) foram utilizados como dados de entrada as curvas de nível, os pontos cotados e a hidrografia local em escala 1:50.000. Primeiramente, foi feita uma análise visual para corrigir, quando necessário, a direção do escoamento superficial conforme as curvas de nível, para garantir que os arcos da hidrografia estejam todos corretamente orientados e conectados (Marques et al., 2009). Em seguida, para gerar a imagem foi utilizado neste estudo o interpolador “Topo to Raster”. Optou-se por gerar uma imagem com a mesma resolução espacial do MDE obtido por sensor remoto, visto que o objetivo do trabalho é a comparação das características morfométricas extraídas de cada imagem.

Tanto o MDE\_ASTER quanto o MDE\_CARTA passaram pelos procedimentos apresentados na Figura 2 para torná-los hidrograficamente condicionados (MDEHC). Para este e todos os processos seguintes, foi utilizado o software ArcGIS Desktop 10.0 do ESRI e sua extensão denominada ArcHydro.

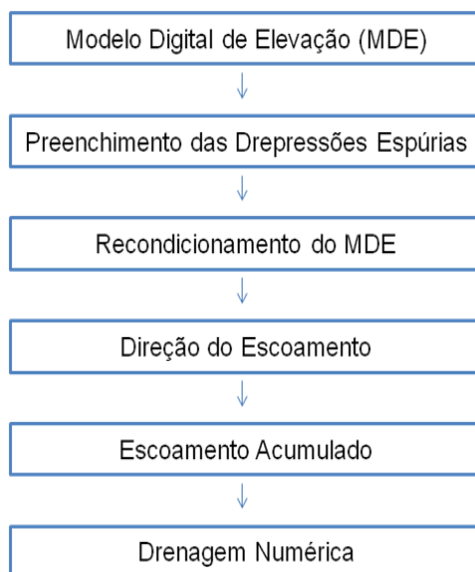


Figura 2.: Fluxograma utilizado no processamento e condicionamento do MDE por meio da extensão ArcHydro

O valor do escoamento acumulado necessário para gerar a rede de drenagem numérica com aproximadamente o mesmo nível de detalhe da rede de drenagem mapeada, foi obtido por meio de tentativa e erro, chegando-se a um valor de 2000 células.

Uma vez gerado o MDEHC da área de drenagem em estudo, foi possível obter as características morfométricas da bacia hidrográfica. Cabe ressaltar que os dados relacionados ao relevo da bacia foram obtidos a partir dos MDE com as depressões preenchidas. Foram extraídas as seguintes características: Depressões espúrias; Área de drenagem (A); Perímetro (P); Comprimento do rio principal (Lt); Área total de drenagem (Li); Densidade de drenagem (Dd); Ordenação dos cursos d'água (STRAHLER); Fator de forma (Kf); Coeficiente de compacidade (Kc); Declividades (I); Declividade do rio principal (It).

### 2.1. Avaliação da qualidade dos MDEs

Os MDEHCs foram avaliados quanto a sua qualidade utilizando o índice estatístico Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ), conforme Equação 1. Foram pegos como pontos de controle todos os Pontos Cotados mapeados do IBGE contidos em cada bacia gerada, totalizando em 424 para o MDEHC\_CARTA e 434 para o ASTER.

$$REMQ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}} \quad (1)$$

em que  $d$  é a diferença de elevação entre os MDEs avaliados e os pontos de controle e  $n$  é o número de pontos de elevação testados.

Para um MDEHC, segundo Chagas et al (2010), o REMQ se refere ao grau de diferença entre os valores interpolados e os valores de elevação mais prováveis, de modo que o termo elevação verdadeira não deve ser utilizado já que, normalmente, este é considerado desconhecido.

### 3. Resultados e Discussões

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados estatísticos relacionados ao relevo encontrados para o MDEHC\_CARTA e MDEHC\_ASTER.

Tabela 1.: Resultados da análise da qualidade para os diferentes MDEHCs estudados\*

MDEHC	Diferença de Elevação d (m)				REMQR
	Mínima	Máxima	Média	Desvio Padrão	
CARTA	0	42,5	0,54	2,36	2,424
ASTER	0	68	7,32	6,57	9,847

\*valores obtidos em comparação aos pontos de controle

Em relação ao REMQR, o MDEHC\_CARTA apresentou valor igual a 2,424, que quando comparado à literatura pode-se dizer que é baixo (Chagas et al., 2010; Guedes e Silva, 2012). Isso justifica-se pelo fato de que foi utilizado como dado de entrada, dentre outros, os Pontos Cotados mapeados do IBGE, sendo alguns os pontos de controle utilizados. O MDEHC\_ASTER apresentou valor de 9,847 metros para o REMQR, sendo, de acordo com a literatura, adequado para tal sensor. Guedes e Silva (2012), comparando um MDE do sensor ASTER com MDE gerado pelo mesmo interpolador e dados de entrada desse estudo, encontrou valores de REMQR de 18 e 4 m respectivamente. Tais valores são mais elevados dos aqui estudados e isto pode ser justificado por estes autores terem utilizado aproximadamente 3 vezes mais pontos cotados como pontos de controle.

O MDEHC\_CARTA apresentou uma máxima diferença de elevação de 42,5 metros, sendo bastante elevada em comparação com a média encontrada, demonstrando que, na grande maioria dos pontos a diferença de elevação é menor que 1 metro. Já o MDEHC\_ASTER apresentou uma diferença média de 7,32 m e máxima de 68 m, sendo de certa forma favorável ao se comparar com outros autores. Guedes e Silva (2012) chegaram a uma diferença máxima de 17 metros para o MDE interpolado e 41 m para o MDE do sensor ASTER.

Os resultados encontrados neste estudo para o MDEHC\_ASTER discorda dos obtidos por Chagas et al (2010), cujo valor encontrado para o REMQR do MDEHC ASTER é de 37 m. Este valor, segundo o trabalho, pode ter sido interferido negativamente devido a área estudada apresentar encostas extremamente íngremes adjacentes a áreas planas.

A presença de depressões espúrias afeta a derivação das redes de drenagem, comprometendo as características morfométricas da bacia. Os valores encontrados de depressões espúrias para o MDE\_ASTER e MDE\_CARTA foram, respectivamente, 94559 e 5679, sendo o primeiro com aproximadamente 16 vezes mais depressões em relação ao segundo. Segundo Hengl et al (2004), o elevado número de depressões espúrias nos MDEs derivados de sensores remotos, pode ser atribuído a erros grosseiros oriundos do método de coleta de dados utilizados por esses sensores.

A Figura 3 apresenta a delimitação da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas a partir dos dois MDEHC estudados. Como pode ser observado, o MDEHC\_ASTER tem uma tendência à superestimar os valores das elevações quando em comparação com o MDEHC\_CARTA, obtendo-se uma diferença de aproximadamente 8 metros para as elevações máximas e mínimas e 4,7 metros para a elevação média. Resultados semelhantes foram encontrados por Chagas et al (2010) ao verificar o perfil de elevação de uma bacia constituída por áreas planas e áreas íngremes, na qual o MDEHC proveniente do sensor ASTER obteve maiores elevações em relação ao MDEHC CARTA, gerado por interpolação.

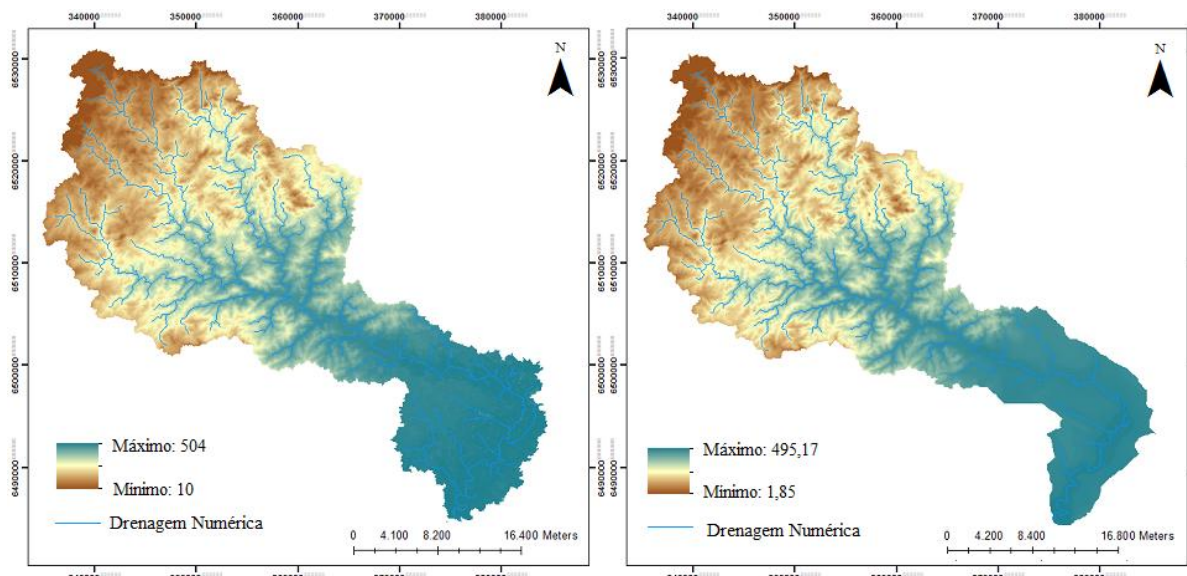


Figura 3.: MDEHCs gerados (a) MDEHC\_ASTER e (b) MDEHC\_CARTA

Analisando visualmente, pode-se perceber uma diferença significativa na delimitação da bacia entre os dois MDEHC estudados em relação às áreas com altitudes mais baixas, onde o MDEHC\_ASTER considera uma área de drenagem superior ao MDEHC\_CARTA. Estas áreas apresentam declividades bastante baixas, sendo consideradas planas. Devido a isto, para analisar a qualidade dos MDE HCgerados em relação as áreas planas, foram calculados os REMQ considerando como pontos de controle os Pontos Cotados mapeados do IBGE contidos nas áreas com declividade inferior a 3%. Com um total de 148 pontos, a Tabela 2 apresenta os resultados estatísticos da análise da qualidade dos MDEHCs para áreas planas.

Tabela 2.: Resultados da análise da qualidade para os diferentes MDEHCs estudados em áreas planas

MDE	Diferença de elevação d (m)				REMQ
	Mínima	Máxima	Média	Desvio Padrão	
CARTA	0	4,73	0,05	0,39	0,39
ASTER	0	23	6,53	4,9	8,21

Considerando-se apenas as áreas planas da bacia hidrográfica, o REMQ do MDEHC\_CARTA apresenta valor de 0,39 m, enquanto o MDEHC\_ASTER 8,21 m. Comparando estes valores com os encontrados para a área total, apresentados na Tabela 1, podemos concluir que não há grandes diferenças na qualidade dos MDEs estudados quando analisados apenas as áreas planas. A diferença de REMQ encontrado entre área total e plana no MDEHC\_CARTA é de 2,03 m, e para o MDEHC\_ASTER é de 1,63 metros.

Na Tabela 3 são apresentadas as características morfométricas extraídas da bacia hidrográfica estudada para os diferentes MDEHCs. Quanto à área de drenagem e ao perímetro, o ASTER apresentou maiores valores, com uma variação de 3,12% e 16,2% respectivamente em relação à CARTA. Como pode ser observado na Figura 3, essa diferença é mais expressiva nas áreas de baixas altitudes por apresentarem declividade menor que 3%, sendo bastante planas.

A partir dos valores encontrados para coeficiente de compacidade do MDEHC\_ASTER e MDEHC\_CARTA, (2,88 e 2,52, respectivamente) e fator de forma (0,27 e 0,26), pode-se concluir que a bacia dispõe de formato alongado, não sofrendo assim com inundações em eventos de precipitação normal. De acordo com Villela & Matos (1975), bacias mais propícias

a inundações próximo ao seu exutório são caracterizadas por valores de fator de forma e coeficiente de compacidade próximos à unidade, indicando sua circularidade.

Tabela 3.: Comparação das características extraídas da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas para os diferentes MDEs estudados

CARACTERÍSTICAS	ASTER	CARTA	Variação (%)
Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	900,42	873,13	-3,13
Perímetro (km)	308,82	265,74	-16,21
Comprimento do Rio Principal (km)	80,69	85,35	5,46
Comprimento total dos rios (km)	3301,06	3254,30	-1,44
Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )	3,67	3,73	1,64
Ordenação dos cursos d'água (STRAHLER)	6	6	-
Fator de Forma	0,27	0,26	-2,79
Coefficiente de Compacidade	2,88	2,52	-14,41
Declividade mínima (%)	0,00	0,00	0,00
Declividade máxima (%)	95,68	125,57	23,80
Declividade média (%)	10,99	10,15	-8,28
Declividade do rio principal (It)	4,40	4,06	-8,49

A densidade de drenagem obtida foi de 3,67 e 3,73 km/km<sup>2</sup> para os MDEHC ASTER e CARTA respectivamente. Segundo Villela e Mattos (1975), esse índice pode variar de 0,5 km/km<sup>2</sup> em bacias com drenagem pobre a 3,5 ou mais nas bacias excepcionalmente bem drenadas, indicando que a bacia em estudo apresenta condições de boa drenagem. O sistema de drenagem, de acordo com Strahler apresentou ramificação de 6 ordem para as duas drenagens numéricas geradas. Considera-se que quanto mais ramificada for a rede, mais eficiente será o sistema de drenagem.

Ambos MDEHC apresentaram declividade máxima superior a 75%, sendo considerada, segundo a classificação da Embrapa, como relevo forte montanhoso. Como a declividade média de ambos MDE estudados ficou próxima a 10,5%, segundo essa mesma classificação pode-se considerar que o relevo da bacia é, em média, ondulado.

#### 4. Conclusões

O processamento dos Modelos Digitais de Elevação para torná-los hidrograficamente condicionados, utilizando a extensão ArcHydro do software ArcGIS Desktop 10.0 é bastante eficiente e fundamental para determinar as características morfométricas de bacias hidrográficas.

Em relação ao relevo, o MDEHC\_ASTER apresentou altitude máxima de 504 enquanto o MDEHC\_CARTA de 494,17 metros, demonstrando que o primeiro apresenta tendência de superestimar valores de altitudes. Quanto a análise da qualidade para a totalidade da área, os REMQ encontrados foram de 9,84 e 2,42 metros respectivamente. Ao analisar a qualidade dos MDEHCs para as áreas planas (declive menor que 3%), os REMQ envolvidos variaram pouco em relação a análise da área total.

A declividade média encontrada nos dois MDEHCs caracteriza a área como relevo ondulado, apresentando densidade de drenagem eficiente e rios de 6<sup>a</sup> ordem pelo método de Strahler. Quanto ao coeficiente de compacidade e fator de forma, ambos os resultados indicam que a bacia não possui tendência a inundações em eventos de precipitação normal.

O MDEHC\_ASTER apresentou baixas variações das características morfométricas em relação ao MDEHC\_CARTA, indicando que o uso de imagens de sensor remoto são adequadas para extrair informações relacionadas as bacias hidrográficas. A análise visual permite a conclusão de que a maior diferença entre as delimitações das bacias se encontram nas áreas planas de baixas altitudes, sendo indicado, portanto, um estudo de qualidade dos MDEHC mais rigoroso com a utilização de pontos de controle terrestres para o calculo do REMQ envolvido.

## Referências Bibliográficas

Algarni, D. A.; Hassan, I. E. Comparison of thin plate spline, polynomial, CI – function and Shepard’s interpolation techniques with GPS-derived DEM. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.3, n.2, p.155-161, 2001.

Baena, L. G. N.; Silva, D. D.; Pruski, F. F.; Calijuri, M. L. Regionalização de vazões com base em Modelos Digitais de Elevação para a Bacia do Rio Paraíba do Sul. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 24, n.3, p.612-624, 2004

Buarque, D. C.; Fan, F. M.; Paz, A. R.; Collischonn, W. Comparação de Métodos para Definir Direções de Escoamento a partir de Modelos Digitais de Elevação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.14, n.2, p.91-103, 2009.

Burrough, P. A. **Principles of Geographical Information System for Land Resources Assessment**. Monographs on Soil and Resources Survey N 12, New York: Oxford University Press, 1986, 193p.

Castro, F. S.; Pezzopane, J. E. P.; Cecílio, R. A.; Pezzopane, J. R. M.; Xavier, A. C. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.8, p.871-880, 2010.

Chagas, C. S.; Fernandes Filho, E. I.; Rocha, M. F.; Carvalho Júnior, W. de; Neto, N. C. S. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.2, p.218-226, 2010.

Chaplot, V.; Darboux, F.; Bourenane, H.; Leguédou, S.; Silvera, N.; Phachomphon, K. Accuracy of interpolation techniques for the derivation of digital elevation models in relation to landform types and data density. **Geomorphology**, v.77, p.126-141, 2006.

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

Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: **Reunião Técnica De Levantamento De Solos**, 10., 1979, Rio de Janeiro. Súmula... Rio de Janeiro, 1979. 83 p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

Fernandes, M. C.; Menezes, P. M. L.; Comparação entre métodos para geração de MDE para a obtenção de observação em superfície real no Maciço da Tijuca – RJ. **Revista Brasileira de Cartografia**, N 57/02, p.154-161, 2005.

Guedes, H. A. S.; Silva, D. D.da. Comparison between hydrographically conditioned digital elevation models in the morphometric characterization of watersheds. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.5, p.932-943, 2012

Hengl, T.; Gruber, S.; Shrestha, D. P. Reduction of errors in digital terrain parameters used in soil-landscape modeling. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.5, p.97-112, 2004.

Marques, F. A.; Silva, D. D. da; Ramos, M. M.; Pruski, F. F.. AQUORA - Sistema Multi-usuário para Gestão dos Recursos Hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, p. 51-69, 2009.

Villela, S. M.; Mattos, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.