

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CONTORNOS DE BACIAS OBTIDAS AUTOMATICAMENTE A PARTIR DOS DADOS SRTM-90M E OS OBTIDOS MANUALMENTE ATRAVÉS DE CARTAS TOPOGRÁFICAS

Dalton Lúcio Brasil Pereira Filho¹; Vaneza Andrea Lima de Freitas²; Irani dos Santos³ & Heinz Dieter Füll⁴

RESUMO - A grande variabilidade espacial dos dados hidrológicos e a dificuldade de sua espacialização vêm sendo contornadas com o uso de técnicas de geoprocessamento e de novas tecnologias de aquisição de dados. O crescente desenvolvimento do geoprocessamento aplicado à hidrologia cria demanda por informações cartográficas de qualidade e prontamente disponíveis. Notadamente, dados altimétricos são básicos em estudos hidrológicos e nem sempre estão disponíveis em meio digital e com a qualidade necessária, principalmente em países em desenvolvimento. Em 2000 o projeto SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) desenvolveu um Modelo Digital de Elevação (MDE) global com precisão vertical absoluta informada de 16m, sendo disponibilizado gratuitamente, podendo ser utilizado como informação altimétrica. Este artigo faz uma comparação de áreas de drenagem delimitadas automaticamente usando MDE gerado a partir das informações do SRTM com áreas delimitadas manualmente a partir de cartas topográficas na escala de 1:50.000 ou 1:100.000. Foram realizadas análises entre os limites traçados por esses métodos através de três parâmetros indicadores da qualidade dos contornos obtidos: área erroneamente delimitada, área erroneamente não delimitada pelo modelo SRTM e a interseção das áreas delimitadas por ambas os métodos; todos em termos percentuais.

ABSTRACT - The large spatial variability of hydrologic data and the difficulty of its correct evaluation in space has been tackled using geoprocessing and new data acquiring technology. Development of geographic information techniques in hydrology created demand for the availability of high quality cartographic information. Altimetric data area a basic need in hydrologic studies. However, mainly in developing countries often they are not available in digital media with the required quality. In 2000 the project SRTM (*Radar Topographic Mission*) developed a global digital elevation model (DEM) with vertical accuracy of 16m. This model is available for free and can be used as altimetric information. This paper compares drainage areas estimated from SRTM and traditional method using topographic maps of 1:50.000 and 1:100.000 scales. For this comparison three quality indicators have been used: excess area evaluated, area not evaluated by the SRTM and intersection of basin contours obtained by both methods.

Palavras-chave: Modelos digitais de elevação, bacias hidrográficas, geoprocessamento.

¹ Engenheiro Civil, Mestrando do curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Ambientais – UFPR, Rua Alberto Folloni, 717, 80540-000 Curitiba-PR. E-mail: dibrasil@bol.com.br

² Engenheira Civil, Msc. da SECTMA/PE, Rua Vital de Oliveira 32, 50030-370, Recife-PE. E-mail: vanezalf@yahoo.com.br

³ Geógrafo, Msc. Pesquisador do LACTEC / CEHPAR, Caixa Postal 1309, CEP 80011-970, Curitiba, Paraná, Email: irani@lactec.org.br

⁴ Departamento de Hidráulica e Saneamento/UFPR, Caixa Postal 1309, CEP 80011-970, Curitiba, Paraná, e-mail: heinzfill@yahoo.com

INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com o gerenciamento e planejamento dos usos dos recursos hídricos tem contribuído para a busca de metodologias e ferramentas que possam auxiliar o conhecimento das variáveis que envolvem todo o processo do ciclo hidrológico. A grande variabilidade espacial dessas informações e a dificuldade de sua espacialização vêm sendo contornadas com o uso das técnicas de geoprocessamento e de novas tecnologias de aquisição de dados.

O desenvolvimento do geoprocessamento aplicado à hidrologia cria demanda por informações cartográficas de qualidade e prontamente disponíveis. Notadamente, dados altimétricos são básicos em estudos hidrológicos e nem sempre estão disponíveis em meio digital e com qualidade necessária, principalmente em países em desenvolvimento.

Em 2000 a NASA em cooperação com a Agência Espacial Italiana e o Centro Aeroespacial Alemão desenvolveu o projeto SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) cujo produto final foi um Modelo Digital de Elevação (MDE) global com uma precisão vertical absoluta de aproximadamente 16m e que está disponibilizado gratuitamente através da internet.

A finalidade deste trabalho foi contribuir para os estudos hidrológicos através da avaliação de áreas de drenagem delimitadas automaticamente usando os Modelos Digitais de Elevação (MDE's) gerados a partir das informações do SRTM90m e as áreas delimitadas manualmente a partir de cartas topográficas na escala de 1:50.000 ou 1:100.000. Três parâmetros indicadores da qualidade dos contornos obtidos foram analisados: área erroneamente delimitada, área erroneamente não delimitada e a interseção das áreas delimitadas por ambos os métodos.

METODOLOGIA

Obtenção dos contornos das bacias com base em cartas topográficas

As cartas topográficas relacionadas na Tabela 1 foram inseridas no software Arcview versão 3.2, onde serviram de base para a delimitação manual das áreas de drenagem das bacias listadas na Tabela 2. Uma vez delimitadas as bacias em formato vetorial, foi efetuada a transformação destes vetores para o formato matricial tendo o cuidado para que as características geométricas (tamanho da célula e localização espacial) dos dados do *grid* SRTM fossem herdadas pelos novos *grids*.

Tabela 1: Relação das cartas utilizadas

Bacia	Cartas (MI)	Escala	Nome
I	2857-3	1:50.000	Mandirituba
	2854	1:100.000	Rebouças
II	2853-2	1:50.000	Inácio Martins
	2853-4	1:50.000	Pátio Velho
III	2865	1:100.000	União da Vitória
	2853-4	1:50.000	Pátio Velho
	2854	1:100.000	Rebouças
IV	2866	1:100.000	Irineópolis
	2865	1:100.000	União da Vitória
V	2864	1:100.000	Palmas
	2865	1:100.000	União da Vitória

Tabela 2: Relação das bacias analisadas

Bacia	Código	Estação Fluviométrica	Rio	Área (km ²)	Lat	Lon
I	65136000	Areia Branca	rio Caí	75.14	-25.8833	-49.4333
II	65720000	Fazenda Leão	rio Potinga	269.11	-25.7667	-51.1333
III	65415000	Palmital do Meio (ex Fazenda Maracanã)	rio Palmital	345.44	-26.0306	-51.1419
IV	65365000	Porto Vitória	rio Espingarda	181.67	-26.1772	-51.5197
V	***	Localidade escolhida aleatoriamente	rio da Jararaca	72.17	-26.1686	-51.5229

Obtenção dos contornos das bacias com base nos dados do projeto SRTM

Os dados do projeto SRTM foram obtidos do sítio <http://srtm.csi.cgiar.org> – acessado em maio de 2005 e se apresentam no formato matricial com células de 90m de lado. Os dados de altitude estão armazenados como valor do tipo inteiro. Eventualmente algumas células, devido a existência de laminais d'água ou por outras causas, podem apresentar valores *nodate* (-9999 no exemplo da Figura 1a), indicando a não existência de dados de altitude naquela célula. A delimitação das bacias de forma automática é baseada nas direções de fluxo obtidas do MDE sob a condição deste não apresentar inconsistências nos caminhos de fluxo geradas por depressões ou inexistência de dados. Os procedimentos para a obtenção do MDE sem essas inconsistências são simples e descritos a seguir:

- Substituição dos valores *nodate* pelo valor igual a 1 (Figura 1b);
- Busca e correção dos pontos onde o fluxo superficial encontra-se interrompido por depressões;

A ferramenta que obtém o MDE sem depressões não consiste as células com valores com *nodate*, na eventual ocorrência do valor *nodate* é necessária a prévia substituição pelo valor unitário, tarefa executada para todas as células através de rotinas computacionais desenvolvidas em

Pascal; a segunda etapa foi efetuada através da opção *Filling Sinks* da extensão Hydrotools 1.0 associada ao Arcview 3.2. Este comando pesquisa por todo o MDE células, isoladas ou contíguas, que tenham todas as células vizinhas com altitude superior à célula ou à região em análise (depressões - Figura 1b) atribuindo a estas células o menor valor de altitude encontrada entre as vizinhas não pertencentes a depressão (Figura 1c). Ainda da extensão Hydrotools 1.0 a opção *Flow Direction* foi aplicada aos MDE's consistidos (no exemplo, Figura 1c), obtendo assim os *grids* de direções de fluxo do método D8 (a direção de fluxo corresponde a uma escolha entre oito direções possíveis) como é mostrado graficamente e numericamente nas Figura 1d e Figura 1e, segundo a convenção de direções de fluxo observada na Figura 1f, onde a célula central assume o valor de direção de fluxo da célula de destino. Os arquivos de direção de fluxo foram posteriormente convertidos para o formato texto ASCII a fim de serem utilizados pelas rotinas computacionais, desenvolvidas em Delphi, de delimitação das áreas de drenagem.

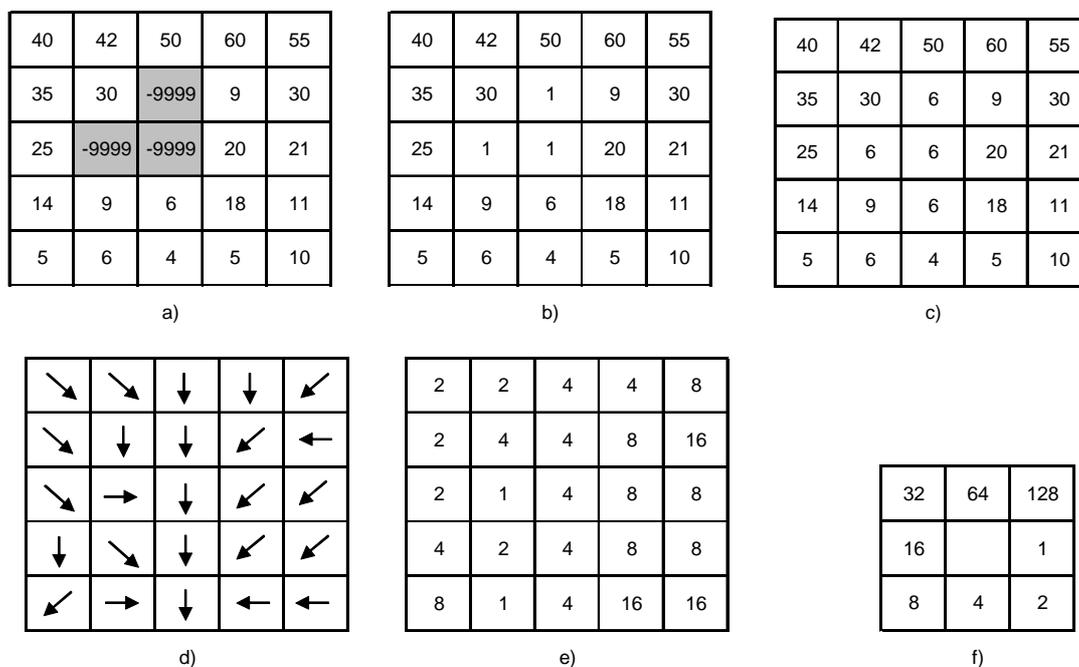


Figura 1: Exemplo de consistência do MDE e direções de fluxo

A delimitação da área pelo programa computacional é realizada informando àquele a exutória e o arquivo de direções de fluxo. O procedimento adotado para o traçado da bacia é simplesmente percorrer todo o *grid* averiguando cada célula quanto à contribuição ou não para a exutória.

Crítérios de avaliação entre as áreas delimitadas pelas cartas topográficas e pelo MDE

Para a avaliação quantitativa e qualitativa dos contornos obtidos usando o MDE, assumiu-se como verdadeiros aqueles contornos obtidos a partir das cartas topográficas. Escolheu-se avaliar três indicadores:

- Percentual das áreas erroneamente delimitadas (áreas incluídas);
- Percentual das áreas erroneamente não delimitadas (áreas excluídas);
- Percentual da área comum delimitadas por ambos os métodos (interseção).

A justificativa para a adoção dessa metodologia ao invés da simples comparação das áreas totais das bacias esta assentada na possibilidade de compensações entre as áreas incluídas e excluídas falsearem os resultados.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

A área em estudo está inserida dentro da bacia hidrográfica do Iguazu, localizada entre as latitudes Sul 24°57' e 26°51' e as longitudes Oeste 48°57' e 54°36 e, cujo rio principal possui uma extensão aproximada de 1.100 km. O rio Iguazu drena uma área aproximada de 67.480 km² e apresenta desnível superior a 800m entre sua nascente, na cabeceira ocidental da Serra do Mar e sua foz no rio Paraná. A bacia atravessa, de leste a oeste, as regiões dos planaltos de Curitiba, de Ponta Grossa e o de Guarapuava, também chamados respectivamente de Primeiro, Segundo e Terceiro Planalto Paranaense.

Para a realização deste trabalho foram escolhidos 5 pontos (I, II, III, IV e V), apresentados na Figura 2, referentes à 4 bacias de contribuição de postos fluviométricos selecionados e 1 ponto escolhido aleatoriamente e cujas áreas se situam entre 72 e 345 km². A relação destas bacias é apresentada na Tabela 2.

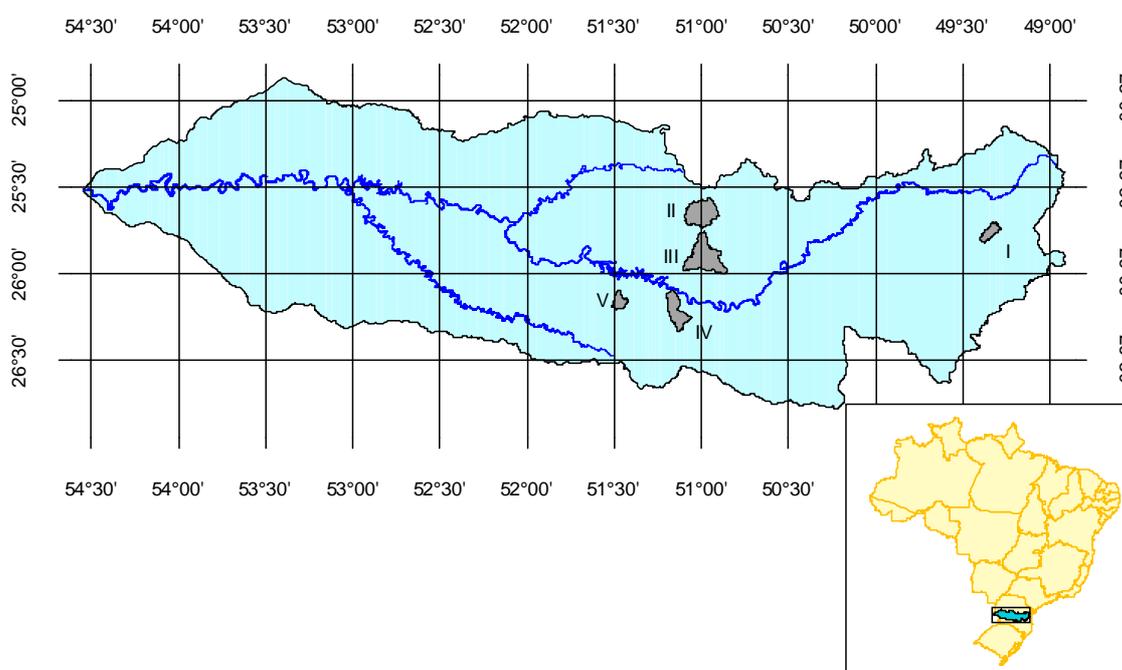


Figura 2 :Mapa de localização da área de estudo

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os limites das bacias, gerados automaticamente, a partir dos dados do SRTM90m, se apresentaram bastantes consistentes quando comparados com os limites traçados a partir das cartas cartográficas na escala de 1:50.000 e na de 1:100.000. Esses resultados estão apresentados nas Tabela 3 e 4 de forma a visualizar todas as estatísticas e os erros gerados no processo.

Analisando esses resultados verifica-se que o erro cometido tanto nas *áreas erroneamente delimitada com pelo MDE* quanto nas *áreas erroneamente não delimitadas pelo MDE* não atingem o patamar dos 3%, como apresentados nas colunas *c* e *f* da Tabela 3. De uma forma mais geral verifica-se, conforme a coluna *m* da Tabela 4, que a interseção entre os limites traçados pelas duas metodologias são sempre superiores a 97% e que a área total delimitada erroneamente não ultrapassa o valor de 4,1%. Caso a análise fosse realizada observando o erro no valor da área total (coluna *s*) a bacia IV seria apontada como sendo a que obteve melhor resultado, apresentando erro de apenas 0.04%. No entanto ao observar a coluna *i* verifica-se que a bacia *m* tem maior paridade entre as duas formas de obtenção dos contornos, sendo esta, portanto, a bacia mais bem representada pelo MDE. Esta constatação justifica a metodologia empregada neste trabalho para a análise dos resultados.

Logo a seguir são apresentados os gráficos com a plotagem dos erros gerado *versus* a área de drenagem (Figura 3) e o com a dispersão das áreas delimitadas das cartas topográficas *versus* as áreas delimitadas pelo modelo MDE (Figura 4).

Tabela 3: Comparação das áreas de drenagem (áreas excluídas ou incluídas)

Bacia	Área erroneamente delimitada pelo MDE			Área erroneamente não delimitada pelo MDE			Soma das áreas erradas		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>
	Nº Células	Area (km ²)	%	Nº Células	Area (km ²)	%	Nº Células	Area (km ²)	%
I	170	1.377	1.83	144	1.166	1.55	314	2.999	3.39
II	346	2.803	1.04	792	6.415	2.38	1138	7.457	3.43
III	459	3.718	1.08	846	6.853	1.98	1305	7.929	3.06
IV	388	3.143	1.73	379	3.070	1.69	767	4.800	3.42
V	189	1.531	2.12	176	1.426	1.98	365	3.547	4.10
Média	310.4	2.514	1.56	467.4	3.786	1.92	777.8	5.346	3.47

Tabela 4: Comparação das áreas de drenagem (interseção ou áreas totais)

Bacia	Interseção			Área total delimitada pelo MDE		Área total delimitada pelas cartas		Erro na estimativa da área	
	<i>j</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>q</i>	<i>r</i>	<i>s</i>
	Nº Células	Area (km ²)	%	Nº Células	Area (km ²)	Nº Células	Area (km ²)	Area (km ²)	%
I	9132	73.969	98.45	9302	75.346	9276	75.136	0.211	0.28
II	32432	262.699	97.62	32778	265.502	33224	269.114	-3.613	-1.34
III	41801	338.588	98.02	42260	342.306	42647	345.441	-3.135	-0.91
IV	22049	178.597	98.31	22437	181.740	22428	181.667	0.073	0.04
V	8734	70.745	98.02	8923	72.276	8910	72.171	0.105	0.15
Média	22830	184.919	98.08	23140	187.434	23297	188.70	-1.272	-0.36

A análise dos resultados apresentados nas Tabela 3 e 4 pode ter duas abordagens. A primeira análise é feita enfocando o valor numérico da área de drenagem, não considerando a sua disposição espacial, assim busca-se a minimização do erro total, representado pela coluna i. A segunda abordagem é quando existe a necessidade da maior precisão espacial na delimitação da bacia, para tanto é analisada a coluna m. No presente trabalho foram estudadas poucas bacias hidrográficas impossibilitando ter convicção acerca do comportamento dos erros em função da área de drenagem, porém, com base no gráfico apresentado na Figura 3, espera-se que os erros percentuais totais, apresentados na coluna i, decaiam com o aumento da área da bacia. Na Figura 4 é apresentado o gráfico de dispersão da área delimitada através do MDE versus a área delimitada através das cartas topográficas.

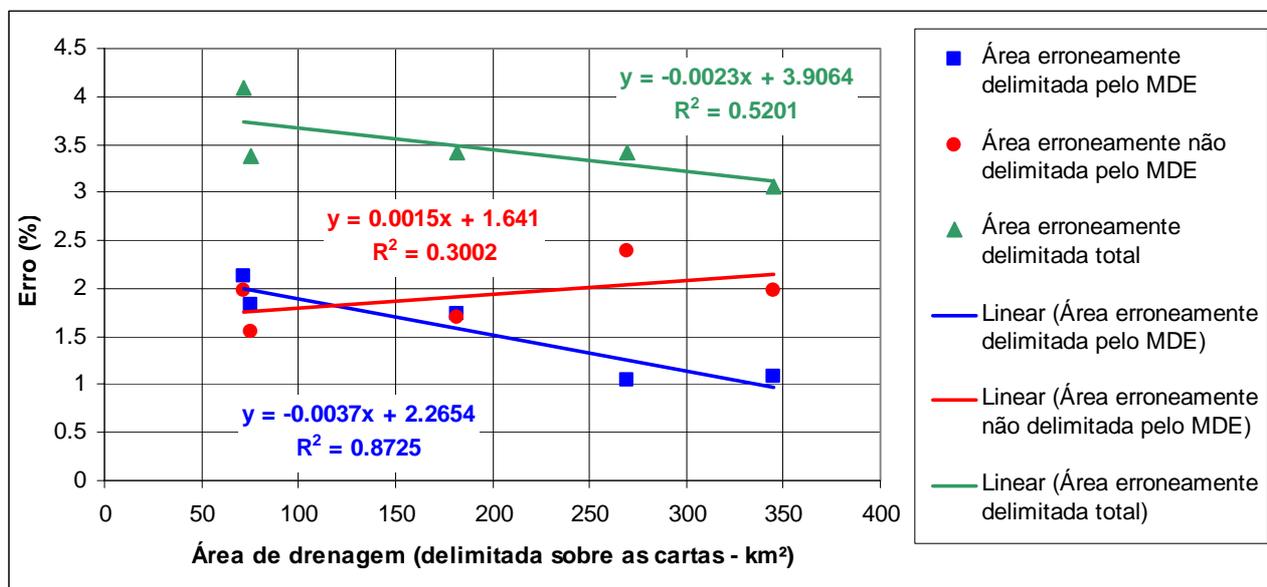


Figura 3: Erros versus Área de drenagem

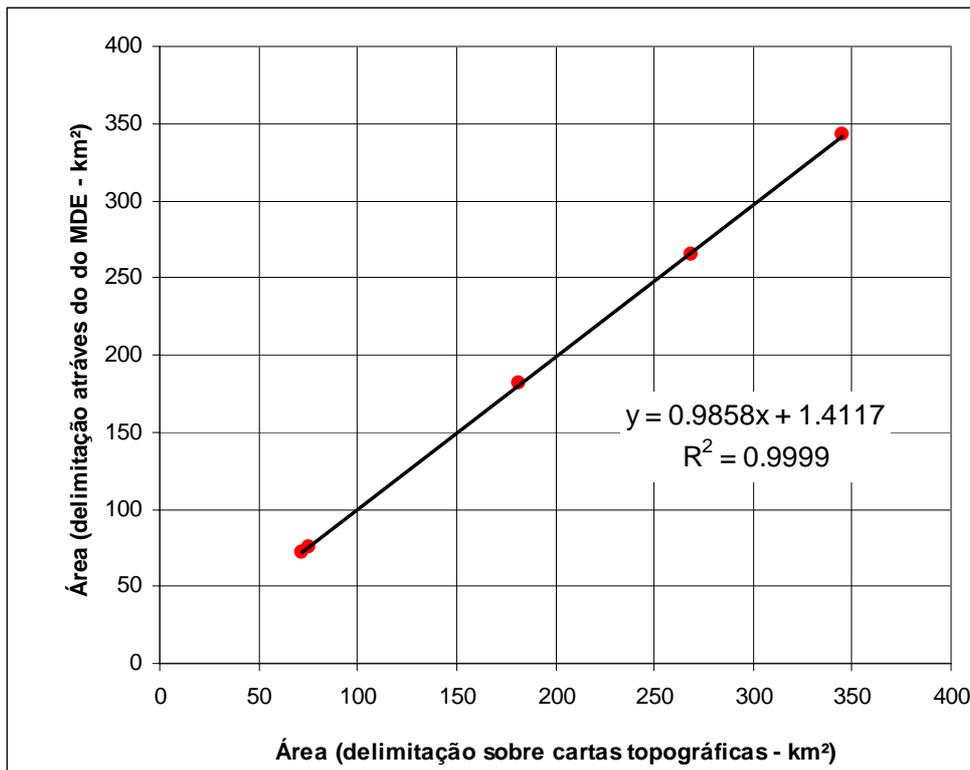


Figura 4: Áreas delimitadas pelas cartas topográficas versus MDE

Os contornos obtidos para cada bacia estão representados abaixo, Figura 5 a 9. Estas figuras apresentam: (a) comparação entre os limites obtidos para as bacias através dos dois métodos, (b) a representação espacial dos erros gerados tanto pelas *áreas erroneamente delimitadas* quanto pelas *áreas erroneamente não delimitadas* e (c) a articulação das cartas topográficas utilizadas. Na análise das Figura 5 a 9 nota-se que os erros na delimitação estão distribuídos em faixas estreitas e compridas ou então em alguns pontos isolados não surgindo, em nenhum caso, erros concentrados em uma área específica.

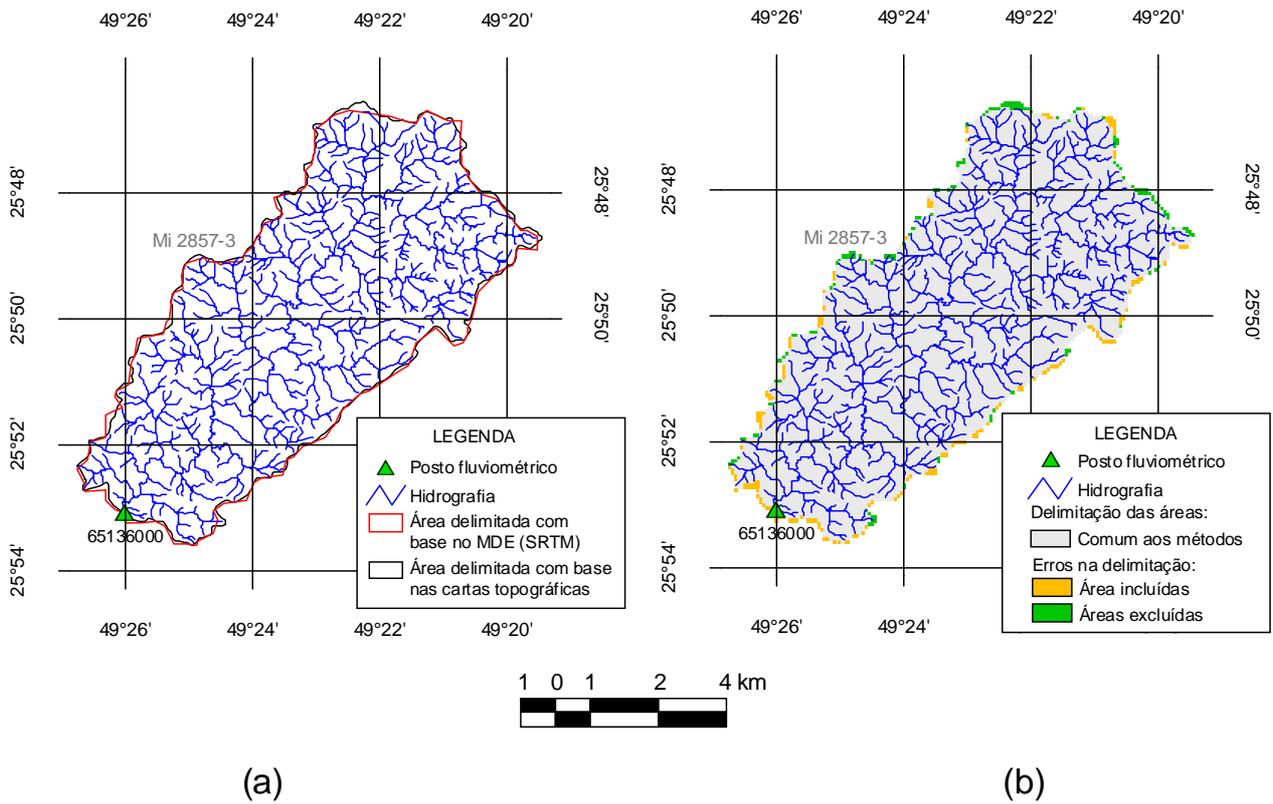


Figura 5: Comparação entre os limites obtidos para a bacia I –Areia Branca (65136000)

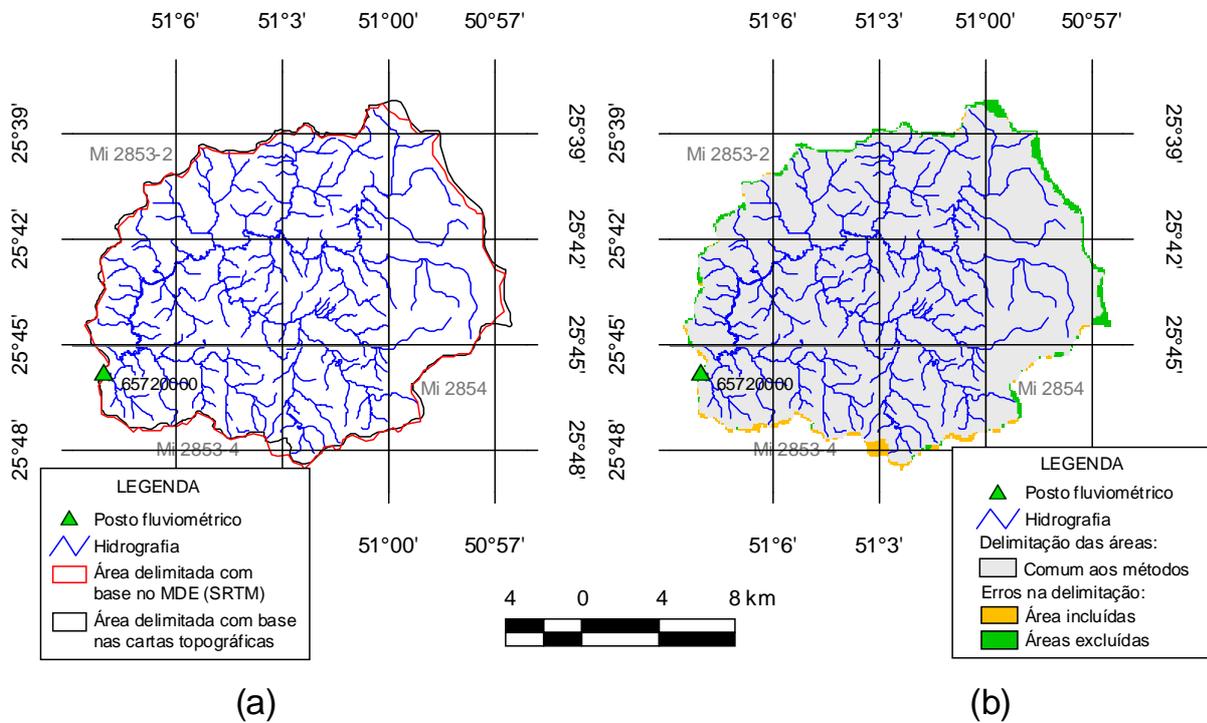


Figura 6: Comparação entre os limites obtidos para a bacia II – Fazenda Leão (65720000)

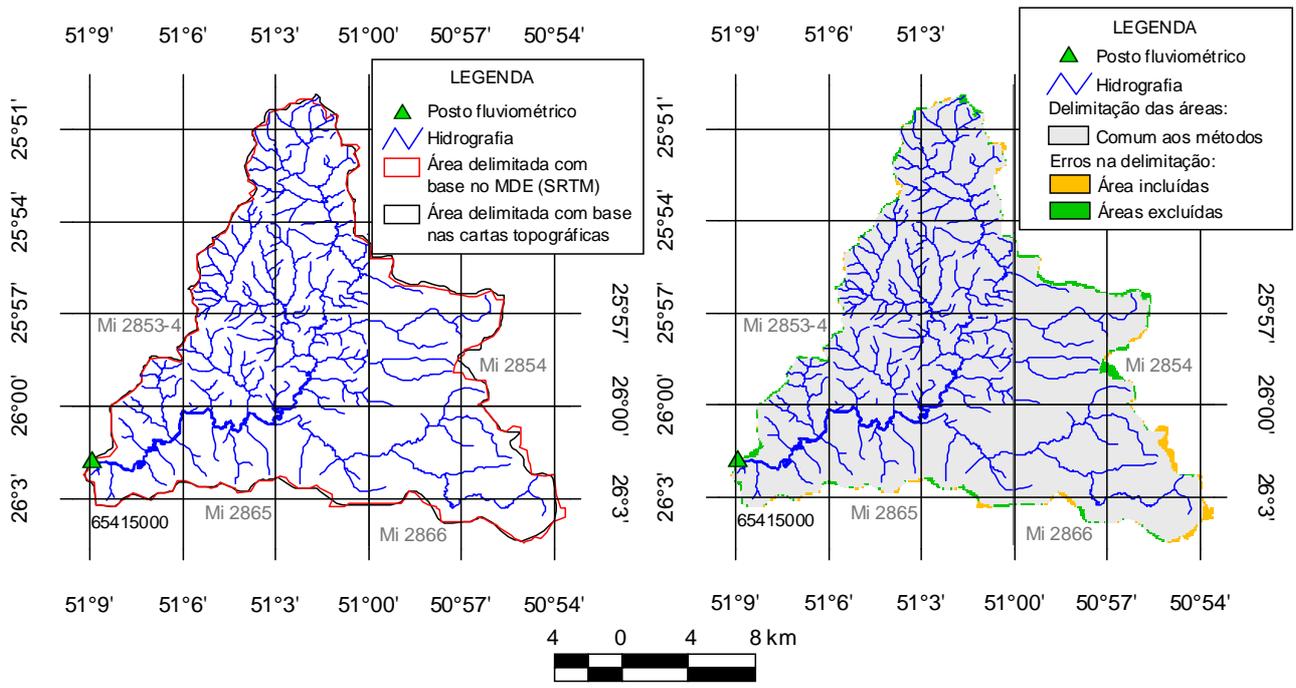


Figura 7: Comparação entre os limites obtidos para a bacia III –Palmital do Meio (ex-Fazenda Maracanã) (65415000)

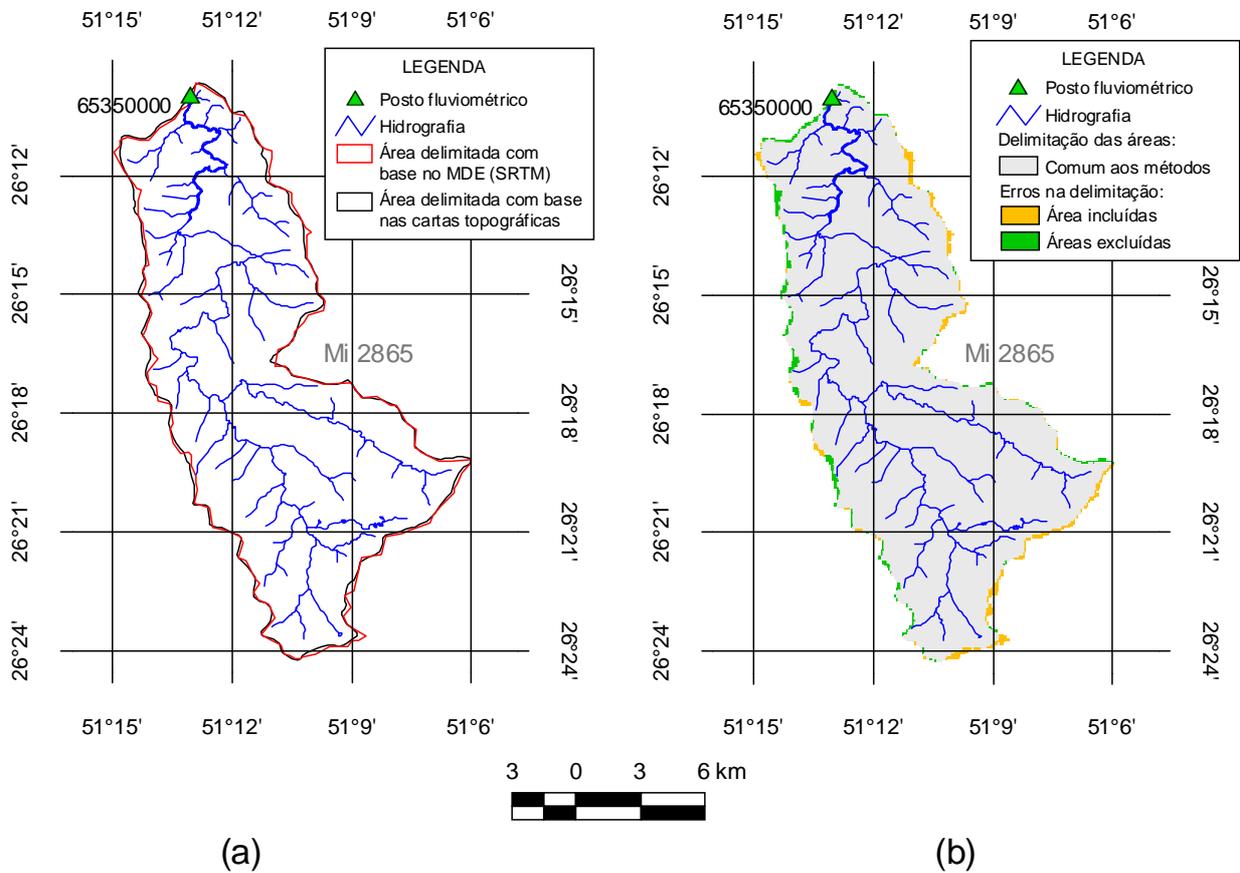


Figura 8: Comparação entre os limites obtidos para bacia IV – Porto Vitória (65365000)

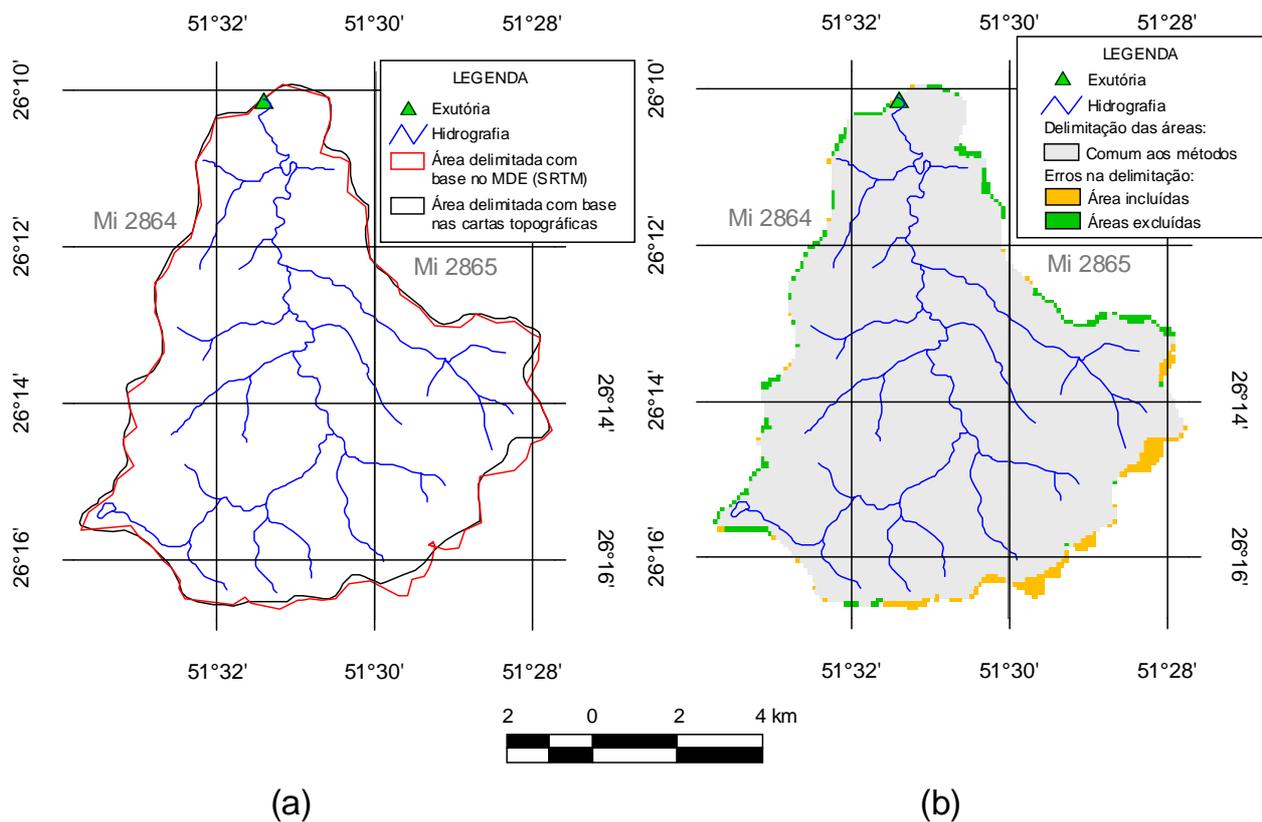


Figura 9: Comparação entre os limites obtidos para um ponto escolhido aleatoriamente

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Pelos resultados expostos conclui-se que o método baseado no SRTM conduz a resultados bastante precisos na delimitação de áreas de drenagem por processos automáticos. Isto constitui uma vantagem importante em relação aos métodos tradicionais de delimitação por planimetria em cartas topográficas ou outras representações gráficas da rede de drenagem. O uso do SRTM é desaconselhável apenas quando existir a necessidade de delimitações rigorosas. Os principais pontos positivos a serem realçados são: a rapidez da obtenção de resultados, a possibilidade de processamento de grandes volumes de informações em pouquíssimo tempo e a facilidade de aplicação das metodologias de consistência do MDE e delimitação automática das bacias.

A metodologia de comparação dos resultados mostrou ser eficiente e versátil ao permitir dois enfoques de análise proporcionando uma melhor adequação às necessidades do hidrólogo.

Recomenda-se a extensão da presente análise para um número maior de bacias e com diferentes características como maiores áreas de drenagem e, particularmente, localizadas em regiões planas e de topografia pouco definida.

Também recomenda-se a análise da precisão de outros parâmetros fisiográficos de bacias hidrográficas como por exemplo a declividade e o comprimento do talvegue.

BIBLIOGRAFIA

MAIDMENT, D.; DJOKIC, D.(2000). *Hydrologic and Hydraulic Modeling Support*. ESRI PRESS, Estados Unidos.

MENDES, C. A.B.; CIRILO, J.A. (2001).*Geoprocessamento em recursos Hídricos Princípios, Integração e Aplicação*. ABRH, ed.UFRGS, Porto Alegre –RS.

NÓBREGA, R. A. A.;SANTOS, C.; CINTRA, J. P. (2005).”*Comparação quantitativa e qualitativa entre o Modelo Digital gerado pelo SRTM por aerofotogrametria*” in Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Abr2005, pp.4437-4444

VALERIANO, M. M (2004).Modelo Digital de Elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul. INPE,São José dos Campos-SP.

In: <http://iris.sid.inpe.br:1912/col/sid.inpe.br/sergio/2004/06.30.10.57/doc/publicacao.pdf>