

PADRONIZAÇÃO DE LIMIARES DE ÁREA ACUMULADA MÁXIMA PARA DEFINIÇÃO DE REDES DE DRENAGEM ATRAVÉS DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO EM DIFERENTES ESCALAS

Cézar Clemente Pires dos Santos
Universidade Federal de Mato Grosso
cezarbiologo@gmail.com

Shozo Shiraiwa
Universidade Federal de Mato Grosso
shozo@ufmt.br

RESUMO

A topologia e geometria das redes de drenagem têm contribuído substancialmente para os estudos em geomorfologia e hidrologia, incluindo modernos modelos de evolução da paisagem. Este trabalho tem como objetivo avaliar e padronizar a compatibilidade de limiares de fluxo acumulado na extração de redes de drenagem por meio de modelos digitais de elevação (SRTM e Aster Gdem) em diferentes escalas, e avaliá-los utilizando a análise linear. A metodologia utilizada pode ser dividida nas seguintes etapas: (a) construção do Modelo Digital de Elevação hidrológicamente corrigido (MDEHC), (b) delimitação das bacias de drenagem a partir de Modelos digitais de elevação considerando a hierarquização de bacias de drenagem proposta por Strahler, (c) cálculo dos atributos morfométricos das bacias de drenagem. Os resultados indicaram que a escala e a resolução espacial dos MDE's interferem na hierarquia hídrica proposta por Strahler. Fatores como gratuidade, precisão e acurácia dos dados do SRTM e Aster Gdem proporcionam economia de tempo e de recursos para a realização de pesquisas e diagnósticos ambientais apoiados nesses dados, especialmente em regiões que não possuem registros cartográficos. Neste sentido a metodologia aplicada mostra-se adequada e de fácil utilização, podendo ser empregada a estudos em outras localidades.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica; Modelo Digital de Elevação; Análise morfométrica.

STANDARDIZATION OF THRESHOLDS FOR DEFINING MAXIMUM CUMULATIVE AREA OF DRAINAGE NETWORKS USING DIGITAL ELEVATION MODELS AT DIFFERENT SCALES

ABSTRACT

The topology and geometry of the drainage networks have substantially contributed to the studies in geomorphology and hydrology, including modern models of landscape evolution. This study aims to evaluate and standardize the compatibility thresholds accumulated flow in the extraction of drainage networks using digital elevation models (SRTM and Aster GDEM) at different scales, and evaluate them using linear analysis. The methodology can be divided into the following steps: (a) construction of Digital Elevation Model hydrologically corrected (MDEHC), (b) delineation of drainage basins from digital elevation models considering the hierarchy of drainage basins proposed by Strahler (c) calculation of morphometric attributes of drainage basins. The results indicated that the scale and spatial resolution of MDE's water interfere with the hierarchy proposed by Strahler. Factors such as gratuity, precision and accuracy of the SRTM data and Aster GDEM provide economy of time and resources to conduct research and environmental diagnostics supported in these data, especially in regions that lack cartographic records. In this sense the methodology proved to be adequate and easy to use and can be used for studies in other locations.

Keywords: watershed; Digital Elevation Model; morphometric analysis.

INTRODUÇÃO

O Modelo Digital de Elevação (MDE) é uma representação digital de uma seção da superfície, por meio de uma matriz de células com coordenadas planimétricas (x,y) e um valor da célula, correspondente à elevação (Luiz et al, 2007).

O desenvolvimento de Modelos Digitais de Elevação e de técnicas mais precisas de extração de drenagem numérica e a delimitação de bacias hidrográficas propiciaram o uso dos sistemas de informações geográficas (SIG) para obtenção automática das características físicas das bacias de drenagem (Baena, 2002 apud Marques, 2006).

Redes de drenagem são feições topográficas que favorecem o acúmulo e escoamento das águas superficiais (Soille e Gratin, 1994), composta por canais organizados em um padrão característico podendo ser: dendrítico, treliçado e paralelo.

A análise das redes de drenagem é utilizada como insumo básico para a caracterização do ambiente físico (Jarvis, 1977), além de fornecer indicadores sobre possíveis controles ambientais no sistema fluvial, tais como mudanças climáticas e atividades tectônicas (Knighton, 1998).

A extração de redes de drenagem através de MDEs é gerada a partir da definição de um limiar de área de captação, que representa o número mínimo de células de fluxo acumulado necessárias para estabelecer um canal (Freeman, 1990; Montgomery, 1993; Cano, 2005). No entanto, os modelos digitais de elevação não são capazes de representar todas as variações topográficas existentes dentro de uma área, particularmente as feições que possuem tamanho inferior a sua resolução, isto pode gerar discrepâncias entre as posições da drenagem real e da extraída computacionalmente (Garbrecht et al., 2001). Contudo, qualquer outro valor de limiar de fluxo acumulado pode ser selecionado, sendo que quanto menor o limiar testado mais densa será a rede de drenagem extraída.

Jing Zhang et AL (2010) utilizaram limiares de 0,5% para extrair as características na bacia hidrográfica do Rio Hillsborough, com o objetivo de obter o delineado das bacias hidrográficas para a investigação futura de um modelo hidrológico.

JENSON & DOMINGUE (1988) afirmam que parâmetros hidrológicos extraídos de MNT's mostram-se acurados e compatíveis com aqueles obtidos por métodos manuais, que despendem de maior tempo no seu processamento e têm detalhamento menor na sua configuração. TARBOTTON et al. (1991) e WALKER & WILGOOSE (1999) descrevem que o MNT apresenta boa correlação entre a declividade e a área de contribuição, exibindo os pontos de inflexão que marcam o início da captação fluvial, de modo que a rede de drenagem pode ser determinada com confiança elevada.

OBJETIVO

O presente trabalho tem por objetivo avaliar e padronizar a compatibilidade de limiares de fluxo acumulado no delineamento de redes de drenagem extraídos de modelos digitais de elevação em diferentes escalas, e avaliá-los utilizando a análise linear.

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

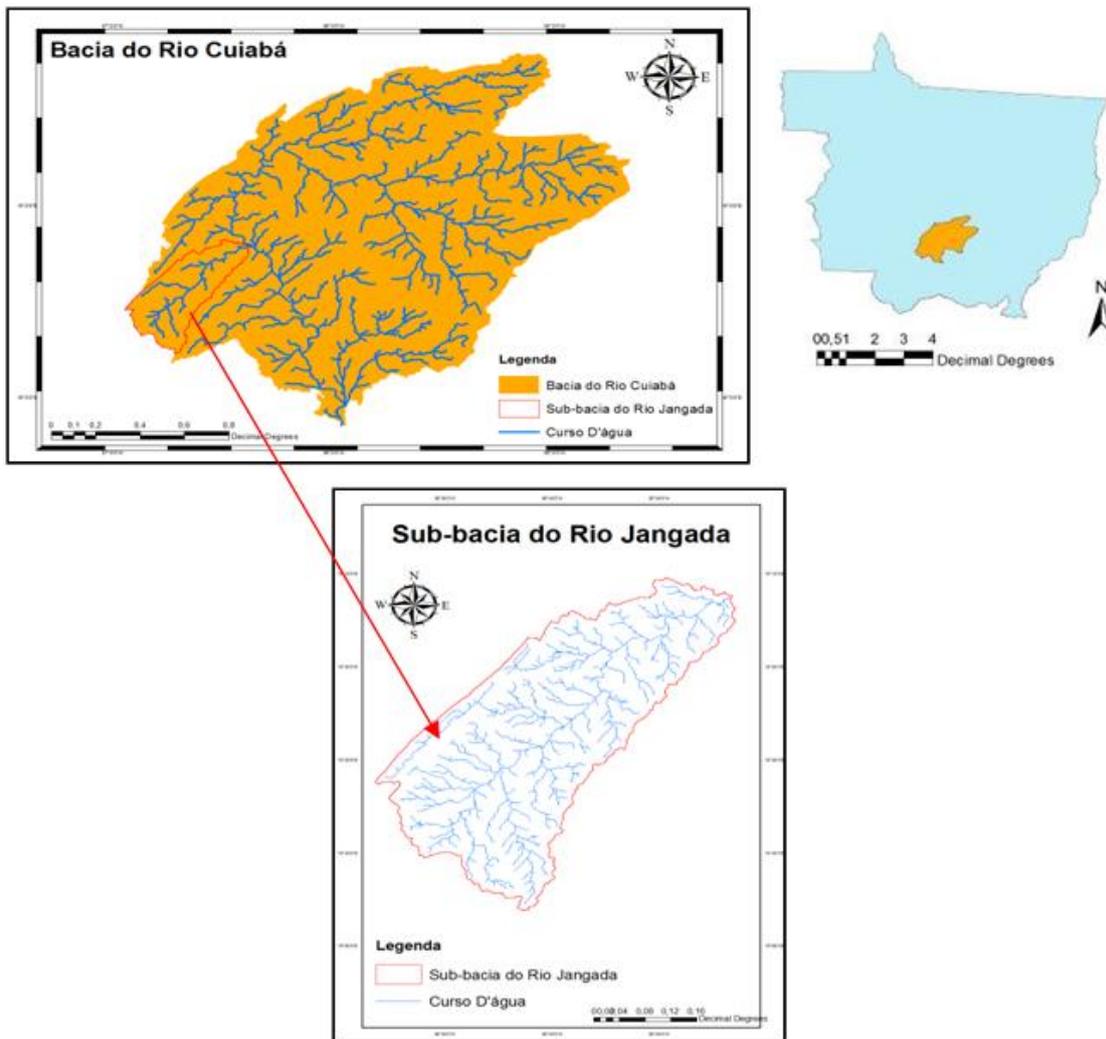
A bacia do Rio Cuiabá está localizada na bacia hidrográfica Paraguai Paraná no estado de Mato Grosso, de acordo com Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (PCBAP) possui a área aproximadamente 29.000 km², e o perímetro de 841 km, abrangendo as cabeceiras dos rios Cuiabá da Larga e Cuiabá do Bonito, que são formadores do rio Cuiabá até a confluência do rio Coxipó-Assú, pouco a jusante da cidade de Santo Antônio do Leverger. Nesse perímetro, estão inseridos 13 municípios, sendo eles Rosário Oeste, Nobres, Jangada, Nossa Senhora do Livramento, Nova Brasilândia, Chapada dos Guimarães, Planalto da Serra, Santo Antônio do Leverger, Campo Verde, Barão de Melgaço e, entre esses, Cuiabá e Várzea Grande, principais núcleos urbanos do estado (Vital et al., 1996). A bacia está localizada entre os paralelos 14°18' e 17°00' S e entre os meridianos 54°40' e 56°55' W (Cavinatto, 1995).

A bacia do Rio Cuiabá caracteriza-se por uma grande diversificação nas formas de apropriação dos recursos naturais. É constituída por duas grandes formações naturais com características

bióticas e abióticas definidas e próprias: a planície do Pantanal e as áreas de planalto e serras circunvizinhas. O clima da bacia do rio Cuiabá pode ser classificado como tropical quente semi-úmido com sazonalidade marcada por dois períodos bem distintos, seco e chuvoso (Figueiredo, 1996; Miranda e Amorin, 2000). A temperatura média anual em Cuiabá varia de 22 a 25°C, enquanto a mínima anual oscila entre 17 e 20°C, e a máxima média anual assume valores entre 29 e 32°C (Muisis, 1997).

Para escala de 1:1.600.000 foi utilizada a bacia do Rio Cuiabá, para escala de 1:500.000 foi utilizada a sub-bacia do Rio Jangada inserida dentro da bacia do Rio Cuiabá entre os municípios de Acorizal, Jangada, Rosário Oeste e Nossa Senhora do Livramento com a área aproximada de 1690,00 km², e o perímetro de 305 Km (figura 01). Todos os procedimentos computacionais foram realizados com o módulo *ArcHydro* ArcGIS^R 9.3.

Figura 01 - Bacia do Rio Cuiabá e sub-bacia do Rio Jangada.



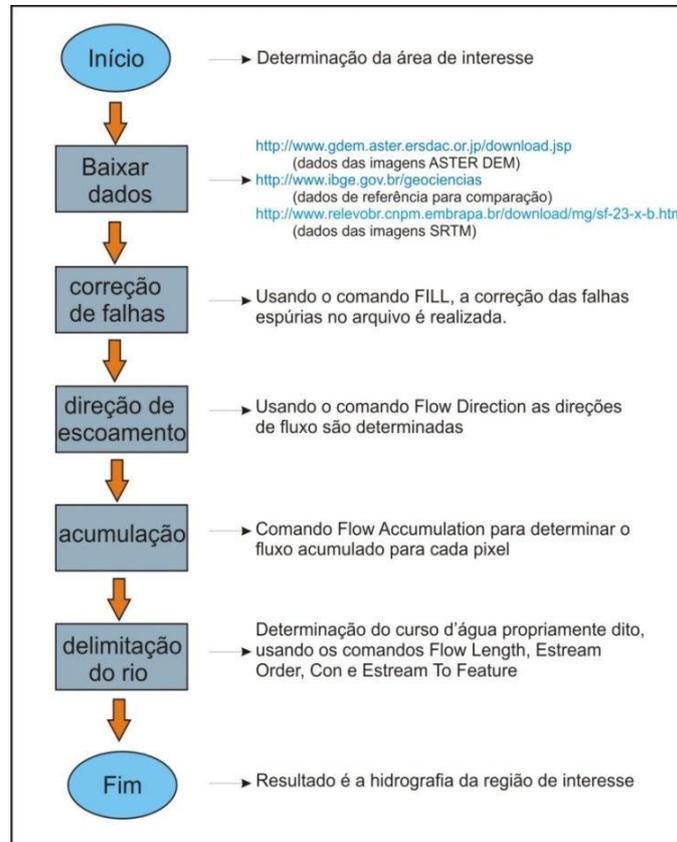
PROCESSAMENTO DAS IMAGENS ASTER GDEM E SRTM

A metodologia utilizada no processamento e no condicionamento dos MDE's está apresentada na (figura 2). O principal objetivo em processar as informações digitais dos sensores remotos é minimizar ou recuperar as falhas existentes. Essas são originadas devido ao relevo acidentado, corpos hídricos, fumaça, densidade de nuvens e influência da vegetação.

As falhas que mais prejudicam os estudos hidrológicos são denominadas de "sinks" ou falsas depressões espúrias, ou seja, áreas rodeadas por elevações com valores de cotas superiores.

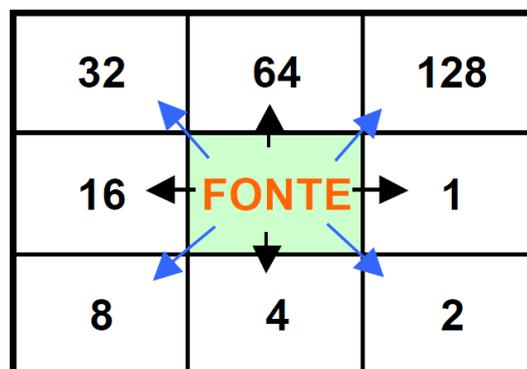
Essas depressões funcionam como ralos na rede de drenagem, interferindo no escoamento superficial.

Figura 2 - Sequência de processos aplicados para a obtenção da rede hidrográfica.



O ArcGis 9.3 utilizado o comando *Fill sinks* para preencher essas depressões. Com as depressões preenchidas determina-se a direção do escoamento por meio da função *flow direction* utilizando o algoritmo de direção e fluxo D8 introduzido por O’Callaghan e Mark (1984). Este algoritmo define que, a partir de uma célula central envolvida por oito células vizinhas, a direção do fluxo da célula central terá que se deslocar para somente uma célula vizinha que apresentar a maior declividade em relação às outras, essa numeração varia de 1 a 128 em fatorial de 2 (figura 03).

Figura 03 - Codificação das direções de fluxo no algoritmo D-8.



Fonte: TARBOTON (1997)

O escoamento acumulado é feito por meio da função *flow accumulation* utilizando a direção de escoamento determinada anteriormente. Esta função calcula uma grade de fluxo que contém um valor de "1" para células que representam cursos d'água, e para as outras células na grade que possuem valores maiores que o limite indicado não são consideradas como células Stream. Este valor é obtido pelo total de células de fluxo acumulado multiplicado pela porcentagem padrão que é 1. Nessa etapa é executada a acumulação do fluxo por célula. O ArcGis 9.3 utiliza este valor como padrão para a delimitação dos limites dos rios.

Neste estudo foram utilizados limiares inferiores a este valor como 0,5, 0,4, 0,3, 0,2, 0,1%, que resultaram em uma rede hidrográfica mais densa.

Após a determinação dos limiares de área acumulada máxima se faz necessário determinar a hierarquia entre os rios, essa determinação é feita pelo comando Stream Order, utilizando o modelo Strahler. Por fim é necessária a conversão do arquivo gerado com o comando, Stream Order cujo formato é matricial, para o formato vetorial. Esta conversão é realizada com o comando Stream to Feature, e conta com dados do arquivo de direção de fluxo. Com isso chega-se ao arquivo vetorial contendo a rede hidrográfica da região selecionada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para os produtos SRTM através da hierarquização da bacia hidrográfica do Rio Cuiabá, e da sub-bacia do Rio Jangada indicaram que a escala influenciou na identificação das redes de drenagem, e na identificação das ordens hierárquicas para ambas as bacias. Já os limiares testados obtidos pelo Aster Gdem indicaram que a escala não influenciou na identificação das redes de drenagem e na identificação das ordens hierárquicas, podendo ser observado na tabela abaixo (Tabela 2).

Tabela 2 - Identificação da hierarquia fluvial da bacia do Rio Cuiabá e sub-bacia do Rio Jangada de acordo com os limiares de área acumulada máxima.

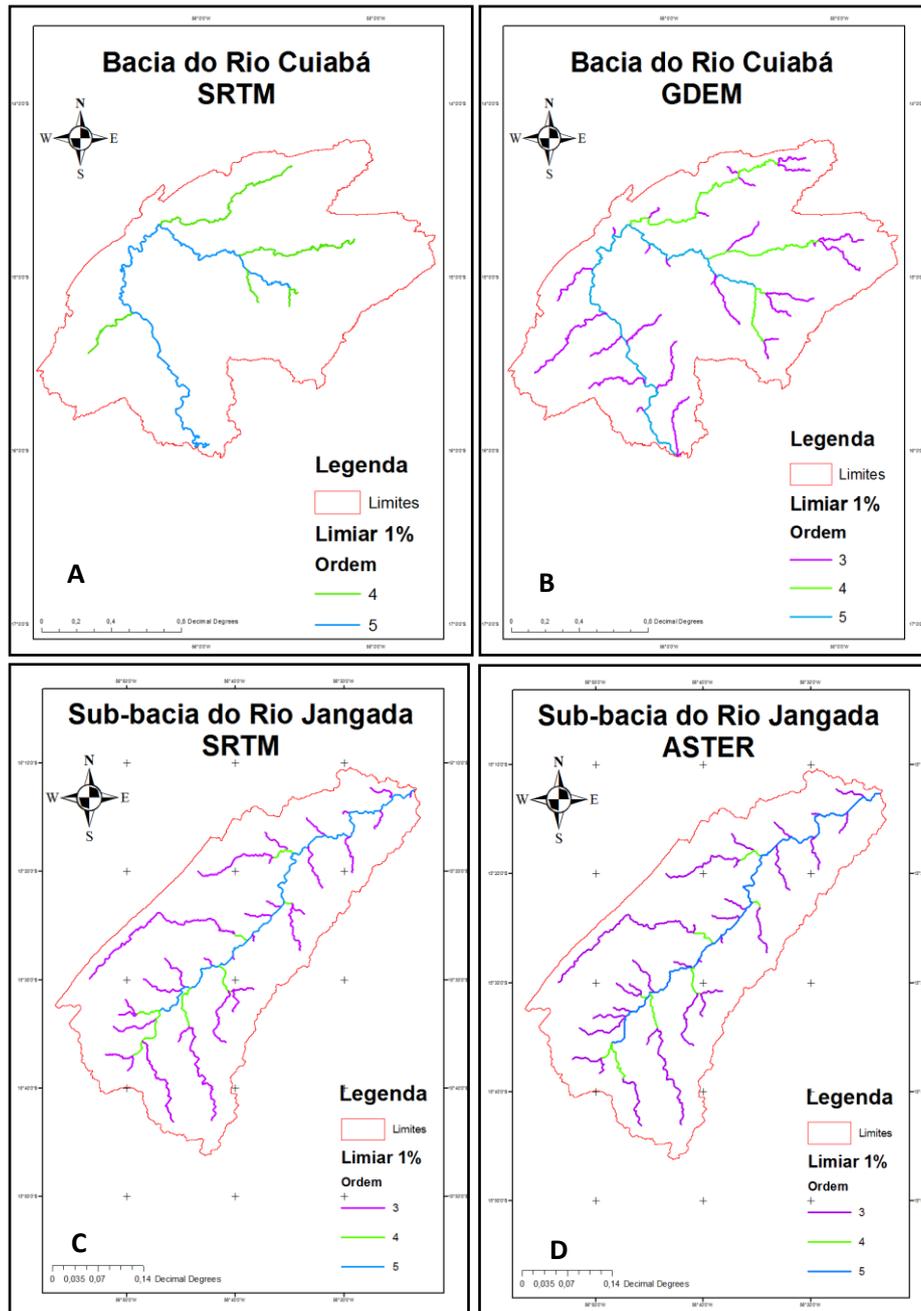
Bacia do Rio Cuiabá					
SRTM 90m			ASTER GDEM 30m		
Limiar %	Hierarquia	Ordem	Limiar %	Hierarquia	Ordem
1	2	5-4	1	3	5-4-3
0,5	3	5-4-3	0,5	4	5-4-3-2
0,4	3	5-4-3	0,4	4	5-4-3-2
0,3	3	5-4-3	0,3	4	5-4-3-2
0,2	3	5-4-3	0,2	4	5-4-3-2
0,1	4	5-4-3-2	0,1	5	5-4-3-2-1
Sub-bacia do Rio Jangada					
SRTM 90m			ASTER GDEM 30m		
Limiar %	Hierarquia	Ordem	Limiar %	Hierarquia	Ordem
1	3	5-4-3	1	3	5-4-3
0,5	4	5-4-3-2	0,5	4	5-4-3-2
0,4	4	5-4-3-2	0,4	4	5-4-3-2
0,3	4	5-4-3-2	0,3	4	5-4-3-2
0,2	4	5-4-3-2	0,2	4	5-4-3-2
0,1	5	5-4-3-2-1	0,1	5	5-4-3-2-1

Stralher (1952) considera as nascentes como de primeira ordem e os canais subsequentes de segunda ordem, assim por diante. Se comparar os limiares testados, os dados SRTM não

identificaram canais sem tributários classificados como de 1ª ordem segundo o modelo de Strahler (1994). Esta deficiência se deve ao tamanho dos pixels de 90 metros.

Já o sensor Aster Gdem obteve resultados satisfatórios na identificação das nascentes por virtude da sua resolução que é de 30 metros, a diferença na extração das redes de drenagem pode ser identificada nas figuras 04 (A, B, C, D) para limiar de fluxo acumulado de 1.0% (limiar padrão) e nas figuras 05 (A, B, C, D) para limiar de fluxo acumulado de 0.1% (limiar mínimo testado).

Figura 04 - Redes de drenagem extraídas pelo limiar de fluxo acumulado padrão (1%), para produtos SRTM e Aster Gdem na escala 1:1.600.000 (Bacia) e 1:500.000 (sub-bacia).



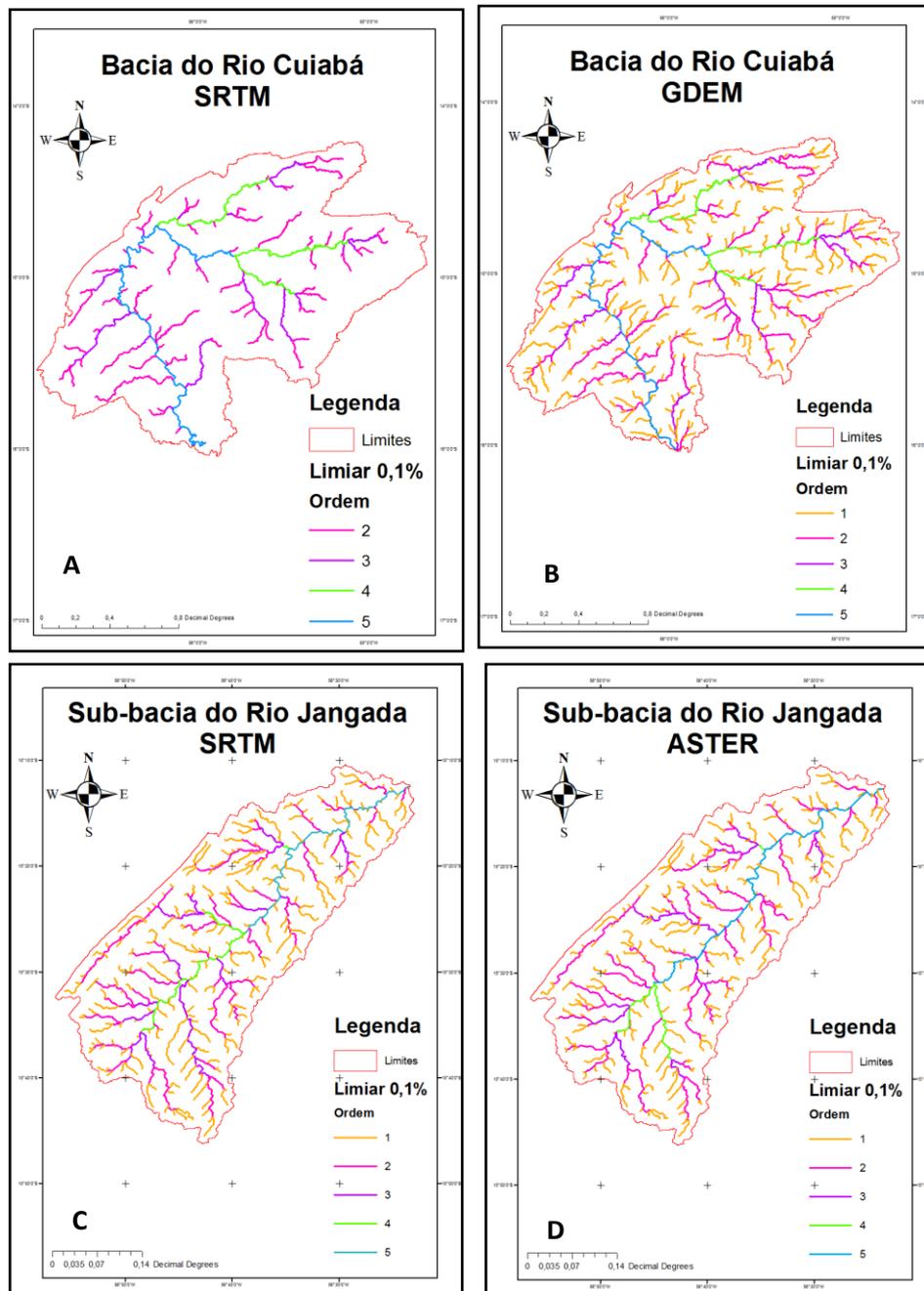
Pode observar na figura 04 A e B que houve diferença no comprimento da rede de drenagem extraída utilizando o limiar padrão. O comprimento da rede de drenagem SRTM foi de 727,94 Km, já o comprimento da rede de drenagem extraída pelo sensor Aster foi de 1365,88 Km.

A figura 04 C e D indica que o limiar padrão testado na sub-bacia do Rio Jangada apresenta resultados semelhantes no comprimento da rede de drenagem para ambos MDE's que foi de 336,13 Km para o sensor Aster e 335,43 Km para o radar SRTM.

O limiar mínimo testado (0,1%) apresentou resultados discrepantes no comprimento das redes de drenagem e no ordenamento da bacia do Rio Cuiabá (figura 05 A e B). Para o sensor Aster o comprimento da rede de drenagem foi de 4153,85 Km, já para o radar SRTM o comprimento extraído foi de 2032,66 Km.

O limiar mínimo obteve resultados similares no comprimento e no ordenamento das redes de drenagem da sub-bacia do Rio Jangada (figura 05 C e D). Para o sensor Aster o comprimento da rede de drenagem foi de 955,64 Km e para o radar SRTM o comprimento foi de 954,37 Km.

Figura 05 - Redes de drenagem extraídas pelo limiar de fluxo acumulado mínimo (0,1%), para produtos SRTM e Aster Gdem na escala 1:1.600.000 (bacia) e 1:500.000 (sub-bacia).



Os resultados obtidos através da análise linear do ordenamento dos canais e hierarquização das redes de drenagem, realizado com base nos critérios de Strahler (1952), permitiram verificar que os limiares testados apresentaram variações no número de canais por ordem (**Nu**), no comprimento total das redes de drenagem por ordem (**Lu**), no comprimento médio das redes de drenagem (**Lmi**), na relação de bifurcação (**Rb**), que expressa a relação entre o número de canais de certa ordem e o número de canais imediatamente superior descrito por Horton (1945) (Equação 01).

$$Rb = \frac{Nu}{Nu + 1}$$

Em que: **Nu** é o número de canais de certa ordem

Nu+1 é o número de canais de uma ordem imediatamente superior.

A densidade de drenagem (**Dd**), que consiste na relação entre o comprimento total dos canais e a área da bacia hidrográfica, sendo este índice considerado importante, pois reflete a influência da geologia, topografia, vegetação e solos de uma bacia hidrográfica e está relacionado, com o tempo gasto para o escoamento superficial da bacia (Horton 1945). Quanto maior a densidade de drenagem maior a capacidade da bacia de fazer escoamentos rápidos para o seu exutório (Equação 2).

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

Em que: **Lt** é o comprimento total dos cursos d'água da bacia.

A é a área da bacia.

O número de canais (**Nu**) aumentou em decorrência da utilização dos limiares de acumulação máxima. Os resultados mostraram que, quanto menor o limiar maior a rede de drenagem identificada e o nível hierárquico proposto por Strahler (1952) (**Tabela 3 e 4**).

Os dados Aster apresentaram resultados satisfatórios no comprimento total das redes de drenagem por ordem (**Lu**) na escala de 1:1.600.000 (bacia hidrográfica) em relação aos dados SRTM (tabela 03).

Já os dados SRTM e Aster na escala 1:500.000 (sub-bacia) apresentaram resultados próximos, tendo como diferença 4,5 Km para o limiar de 1%, 10,15 Km para os limiares de 0,5 e 0,4%, 550 metros para o limiar de 0,3%, 2,63 Km para o limiar de 0,2% e 70 metros para o limiar de 0,1% (Tabela 4).

O índice de bifurcação reflete o grau de ramificação dos canais nas duas escalas testadas. É possível observar que, quanto menor o limiar testado maior será o valor de Rb. Strahler, (1952) afirma que esta relação de Bifurcação é constante para todos as ordens de rios de uma bacia e o resultado nunca pode ser inferior a 2.

A bacia do rio Cuiabá apresentou maior densidade de drenagem (**Dd**), no limiar de 0,1%, com valor de 107,90 km/km² para produtos GDEM na 4ª ordem e 82,08 km/km² para produtos SRTM na 4ª ordem (tabela 03). Já a sub-bacia do rio Jangada apresentou a maior densidade de drenagem no limiar de 0,1%, sendo de 54,91 km/km² para produtos GDEM na 4ª ordem e 54,62 km/km² para produtos SRTM no limiar de 0,4% na 5ª ordem (Tabela 4).

Segundo Christofolletti (1969), bacias que apresentam $Dd < 7,5$ km/km² possuem baixa relação entre o comprimento dos rios e a área da bacia, indicando um eficiente escoamento de fluxo de água e boa infiltração para o lençol freático. Para Christofolletti (1980) a baixa densidade de drenagem permite comparar a suscetibilidade de correr erosão em uma bacia. Neste sentido, um baixo valor de Dd torna a bacia menos suscetível à erosão dos solos. Neste caso a bacia do Rio Cuiabá apresentou valores acima de 7,5 km/km² para ambos MDE's, o que torna a mesma menos suscetível a erosão. Já a sub-bacia do Rio Jangada apresentou valores inferiores a 7,5 km/km² para ambos MDE's, o que torna a mesma suscetível a processos erosivos.

A ordem dos cursos d'água é uma classificação que reflete o grau de ramificação ou bifurcação (**Rb**) da rede de drenagem da bacia. O estudo das ramificações e do desenvolvimento do sistema é importante, pois ele indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica, sendo fator indicativo de sua propensão à ocorrência de cheias.

De acordo com os resultados apresentados, constatou que a rede de drenagem da bacia ordenada pelo método de Strahler apresentou maior número de seguimentos para os produtos Aster devido a sua resolução.

Tabela 3 - Dados da análise linear da rede hidrográfica da bacia do Rio Cuiabá.

Bacia do Rio Cuiabá Gdem										
Limiar 1%						Limiar 05%				
Hierarquia	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd
1ª ordem										
2ª ordem						56	1037,72	18,53	5,09	25,87
3ª ordem	29	712,38	24,56	7,25	37,69	11	301,42	16,75	3,67	89,07
4ª ordem	4	296,47	29,65	4	90,56	3	248,84	17,77	3	107,89
5ª ordem	1	357,13	357,13	0	75,18	1	311,81	311,81	0	86,10
Limiar 04%						Limiar 03%				
Hierarquia	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd
1ª ordem										
2ª ordem	69	1087,69	15,76	4,60	24,68	92	1307,47	14,21	4,18	20,53
3ª ordem	15	447,81	18,66	5,00	59,95	22	519,39	12,98	7,33	51,69
4ª ordem	3	248,85	14,64	3	107,89	3	258,14	11,73	3	104,01
5ª ordem	1	311,8	311,80	0	86,11	1	569,94	569,94	0	47,11
Limiar 02%						Limiar 01%				
Hierarquia	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd
1ª ordem						294	2080,03	7,07	4,90	12,91
2ª ordem	147	1447,45	9,85	4,32	18,55	60	1158,2	7,99	4,29	23,18
3ª ordem	34	794,48	11,19	6,80	33,79	14	380,36	6,92	4,67	70,59
4ª ordem	5	367,79	10,51	5	73,00	3	248,83	6,22	3	107,90
5ª ordem	1	325,24	325,24	0	82,55	1	311,81	311,81	0	86,10
Bacia do Rio Cuiabá SRTM										
Limiar 1%						Limiar 05%				
Hierarquia	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd
1ª ordem										
2ª ordem										
3ª ordem						16	464,53	29,03	5,33	50,74
4ª ordem	6	339,43	48,49	6	69,44	3	185,09	37,02	3	127,35
5ª ordem	1	388,52	388,52	0	60,67	1	335,34	335,34	0	70,29
Limiar 04%						Limiar 03%				
Hierarquia	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd
1ª ordem										
2ª ordem										
3ª ordem	20	463,89	23,19	6,67	50,81	28	553,03	19,75	7,00	42,62
4ª ordem	3	275,3	39,33	3	85,62	4	314,79	31,48	4	74,88
5ª ordem	1	335,36	335,36	0	70,29	1	346,35	346,35	0	68,06
Limiar 02%						Limiar 01%				
Hierarquia	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd
1ª ordem										
2ª ordem						73	1026,2	14,06	3,84	22,97
3ª ordem	39	697,78	17,89	6,50	33,78	19	384,03	14,77	6,33	61,38
4ª ordem	6	433,72	25,51	6	54,35	3	287,17	15,11	3	82,08
5ª ordem	1	346,22	346,22	0	68,08	1	335,28	335,28	0	70,30

Tabela 4. Dados da análise linear da rede hidrográfica da sub-bacia do Rio Jangada

Sub-bacia do Rio Jangada Gdem										
Limiar 1%						Limiar 05%				
Hierarquia	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd
1ª ordem										
2ª ordem						59	264,47	4,48	4,21	6,39
3ª ordem	33	217,32	6,59	4,13	7,78	14	110,58	7,90	7,00	15,28
4ª ordem	8	37,13	4,64	8	45,52	2	43,34	21,67	2	38,99
5ª ordem	1	80,98	80,98	0	20,87	1	41,09	41,09	0	41,13
Limiar 04%						Limiar 03%				
Hierarquia	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd
1ª ordem										
2ª ordem	66	303,86	4,60	4,40	5,56	90	308,27	3,43	4,09	5,48
3ª ordem	15	118,07	7,87	7,50	14,31	22	162,17	7,37	4,40	10,42
4ª ordem	2	43,34	21,67	2	38,99	5	42,39	8,48	5	39,87
5ª ordem	1	41,09	41,09	0	41,13	1	68,2	68,20	0	24,78
Limiar 02%						Limiar 01%				
Hierarquia	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd
1ª ordem										
2ª ordem						274	470,67	1,72	5,48	3,59
3ª ordem	136	345,74	2,54	4,25	4,89	50	301,86	6,04	3,85	5,60
4ª ordem	32	204,79	6,40	4,00	8,25	13	83,98	6,46	4,33	20,12
5ª ordem	8	62,33	7,79	8	27,11	3	30,78	10,26	3	54,91
	1	81,01	81,01	0	20,86	1	68	68,00	0	24,85
Sub-bacia do Rio Jangada SRTM										
Limiar 1%						Limiar 05%				
Hierarquia	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd
1ª ordem										
2ª ordem						56	265,35	4,74	3,73	6,37
3ª ordem	32	220,73	6,90	4,57	7,66	15	116,46	7,76	15	14,51
4ª ordem	7	38,93	5,56	7	43,41	1	54,6	54,60	1	30,95
5ª ordem	1	76,48	76,48	0	22,10	1	30,94	30,94	0	54,62
Limiar 04%						Limiar 03%				
Hierarquia	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd
1ª ordem										
2ª ordem	67	296,72	4,43	3,9	5,70	93	301,62	3,24	3,72	5,60
3ª ordem	17	130,61	7,68	17	12,94	25	177,42	7,10	5	9,53
4ª ordem	1	54,61	54,61	1	30,95	5	43,52	8,70	5	38,83
5ª ordem	1	30,94	30,94	0	54,62	1	67,65	67,65	0	24,98
Limiar 02%						Limiar 01%				
Hierarquia	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd	Nu	Lu	Lmu	Rb	Dd
1ª ordem						259	489,50	1,89	4,98	3,45
2ª ordem	140	349,28	2,49	4,38	4,84	52	271,88	5,23	3,71	6,22
3ª ordem	32	216,68	6,77	4	7,80	14	99,58	7,11	4,67	16,97
4ª ordem	8	57,79	7,22	8	29,24	3	42,09	14,03	3	40,15
5ª ordem	1	83,64	83,64	0	20,21	1	52,6	52,60	0	32,13

Os resultados obtidos através da análise linear indicaram que a escolha do modelo digital de elevação e a escala podem interferir nos resultados, podendo indicar que a bacia pode estar suscetível a processos erosivos ou não dependendo do limiar utilizado.

CONCLUSÃO

As análises realizadas permitiram caracterizar limiares para identificar o ordenamento dos canais de drenagem e hierarquização de bacias hidrográficas em diferentes escalas.

A metodologia aplicada mostra-se adequada e de fácil utilização, podendo ser empregada a estudos em outras localidades.

Fatores como gratuidade, precisão e acurácia dos dados do SRTM e Aster Gdem proporcionam economia de tempo e de recursos para a realização de pesquisas e diagnósticos ambientais apoiados nesses dados, especialmente em regiões que não possuem registros cartográficos.

Os produtos SRTM apresentaram melhores resultados em bacias de escalas maiores que 1:500.000, devido o tamanho das células que apresentam a resolução espacial de 90 metros.

Os produtos ASTER GDEM apresentaram resultados mais acurados para ambas as escalas devido a sua melhor resolução espacial de 30 metros.

É necessário validar a metodologia *in loco* para confrontar se a rede de drenagem de 1ª ordem identificada com o limiar de 0,1% condiz com a informação obtida pelo método proposto, já que a mesma apresenta resultados superiores se compara-los aos dados geográficos já existentes na região.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Mato Grosso FAPEMAT pela ajuda e apoio financeiro no desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAENA, L.G.N.; SILVA, D.D da.; PRUSKI, F.F.; CALIJURI, M.L. "Regionalização de Vazões com base em Modelo Digital de Elevação para a Bacia do Rio Paraíba do Sul". **Eng. Agríc. Jaboticabal**, v.24, n.3, p.612-624, set./dez. 2004.

CHRISTOFOLETT, A. 1969. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, 9 (18), pp. 35-64.

GARBRECHT, J., OGDEN, F.L., DEBARRY, P.A.; MAIDMENT, D.R. GIS and distributed watershed models: I, Data coverages and sources. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.6, n.6, p. 506–514, 2001.

HORTON, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology, **Geol. Soc. America Bulletin**, 56 (3), pp. 275-370.

JARVIS, R. S. Drainage Network Analysis. **Progress in Physical Geography**, v.1, p. 271-295, 1977.

JENSON, S.K.; DOMINGUE, J.O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v.54, n.11, p.1.593-1.600, 1988.

KNIGHTON, A. D., WOODROFFE, C. D., MILLS, K. The evolution of tidal creek networks, Mary River, northern Australia. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.17, n.2, p.170-190, 1992.

LUIZ, S.; SANTOS, A.R.S.; BRENNER, T.L. "Geração de Modelo Digital de Elevação a partir de Imagens Reference Stereo do Satélite IKONOS". **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis – SC, 2007, INPE, p. 581-587.

O'CALLAGHAN, J.F. & MARK, D.M. **The extraction of drainage networks from digital elevation data**. Computer vision, graphics, and image processing, 28: 323-344. 1984.

PCBAP - **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai**, 1997, v. 2.

SOILLE, P.; GRATIN, C. An Efficient Algorithm for Drainage Network Extraction on DEMs. **Journal of Visual Communication and Image Representation**, v. 5, n.2 p. 181-189, 1994.

STRAHLER, A.N. 1952. Hypsometric analysis of erosional topography. **Geol. Soc. America Bulletin**, 63, pp. 1117-1142.

TARBOTON, D.G.; BRAS, R.L.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. On the extraction of channel networks from digital elevation data. **Hydrological Processes**, Chichester, v.5, n.1, p.81-100, 1991.

VITAL, A. R., COSTA, E. S., CURVO, M., *et al.*, 1996, **Projeto de Recuperação e Conservação da Bacia do Rio Cuiabá**, FEMAMT, Cuiabá, MT.

WALKER, J.P.; WILLGOOSE, G.R. On the effect of DEM accuracy on hydrology and geomorphology models. **Water Resource Research**, Washington, v.357, n.7, p.2.259-2.268, 1999.

ZHANG, J., LI, Q., GONG, H., LI, X., SONG, L., HUANG, J. Hydrologie information extraction based on ARC hydro tool and DEM (2010). **International Conference on Challenges in Environmental Science and Computer Engineering**, CESCE 2010, 1, art. nº. 5493186, pp. 503-506.