

## Extração de parâmetros físicos de bacias hidrográficas através da segmentação por trechos de mesmo comprimento com o IPH-Hydro Tools

João Paulo Lyra Fialho Brêda<sup>1</sup>  
Vinícius Alencar Siqueira<sup>1</sup>  
Ayan Santos Fleischmann<sup>1</sup>  
Fernando Mainardi Fan<sup>1</sup>  
Anderson Luís Ruhoff<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS/IPH  
Caixa Postal 15029 - 91501-970 – Porto Alegre – RS, Brasil  
joaopaulofb@gmail.com, vinisiquera@gmail.com, ayan.fleischmann@gmail.com  
fernando.fan@ufrgs.br, anderson.ruhoff@ufrgs.br

**Abstract.** Distributed Hydrological Models (DHM) are important tools for studies related to water resources. In these models a basin is segmented in several calculation units in order to account for its spatial variability. A common method is to discretize the basin in catchments delimited by river confluences, usually producing a large variability of reach lengths. However, some particular flow routing methods coupled to DHMs are very sensitive to the length of reaches, which can result in shortcomings regarding model instabilities and computational efficiency. In this study, an alternative to the segmentation method based on river confluences is presented. The proposed method basically divides the drainage network in equal length reaches. A comparison of physical parameters such as catchment quantity and area, river lengths and mean slope was carried out using the Taquari-Antas (RS) basin as a study case. River reaches length size tested were 30 km, 15 km, 10 km, 5 km and 1 km and later compared with the traditional confluence segmentation method. In conclusion, the proposed method had successfully eliminated small reaches; however, it was shown that the area threshold to create the drainage lines should be evaluated regarding the river reach length used on the segmentation method to generate approximately same size catchments.

**Palavras-chave:** basin discretization, distributed hydrological models, discretização de bacias, modelos hidrológicos distribuídos

### 1. Introdução

A modelagem hidrológica é uma ferramenta importante que pode ser utilizada para diversos fins em recursos hídricos. Esse instrumento permite calcular o balanço hídrico através da descrição matemática de vários processos que ocorrem na bacia. Para exemplificar sua utilidade, podemos citar seu uso em previsão de cheias, estudos de impacto de mudanças climáticas e impactos nas alterações do uso do solo. Tratando-se de grande escala, é importante que os modelos busquem representar a heterogeneidade da bacia, seja para alcançar uma maior precisão nos resultados (Krysanova et al, 1999) ou para estudar regiões específicas da bacia (Niehoff et al, 2002), tornando-se necessário fazer uso de modelos hidrológicos distribuídos (MHD). Para se caracterizar como distribuído o modelo deve representar a variabilidade espacial da bacia, ou seja, considerar os parâmetros e variáveis hidrológicas dependentes do espaço (Tucci, 2005). Na prática, os MHDs discretizam a bacia em um conjunto de modelos hidrológicos concentrados (que não dependem do espaço), interligados normalmente por uma rede de drenagem.

Existem várias maneiras de discretizar a bacia em um MHD, sendo os dois métodos mais utilizados para bacias de grande escala a discretização por grade regular e por minibacias (Paz et al., 2011). O método por grade regular consiste em dividir a bacia em vários elementos de mesmo tamanho, geralmente no formato de células quadradas. Já a discretização por minibacias é feita através da divisão da bacia em elementos irregulares, mantendo-se a conformidade com as características topográficas existentes. Normalmente, a subdivisão em minibacias é realizada por uma segmentação da rede de drenagem em que cada segmento é delimitado pelo trecho do rio entre confluências, bem como entre uma confluência e uma nascente ou exutório, e as

minibacias correspondem a área de contribuição incremental desses trechos. Essa abordagem de segmentação por confluências é utilizada, por exemplo, no conjunto de ferramentas ArcHydro (Maidment, 2002).

Paz et al. (2011) afirmam que a discretização por minibacias supera algumas limitações da discretização por grade regular, como a dificuldade em definir direções de fluxo e trechos de drenagem. Entretanto o método de segmentação por confluências proporciona grande variabilidade no tamanho das áreas das minibacias e no comprimento dos trechos do rio. Este último fator é limitante quando o método de propagação de escoamento é sensível à discretização da rede de drenagem (e.g. Pontes et al., 2015), uma vez que a variabilidade dos comprimentos dos trechos do rio pode causar instabilidades e interferir no custo computacional do modelo.

Procurando superar esta limitação, um método de segmentação da rede de drenagem por trechos de rio com mesmo comprimento tem sido recentemente incorporado no pacote de ferramentas IPH-Hydro Tools (Siqueira et al., 2016). Neste sentido, o objetivo do presente trabalho é avaliar os parâmetros físicos de uma bacia obtidos com a aplicação do método de segmentação supracitado, e comparar estes parâmetros com aqueles obtidos pelo método mais tradicional da definição de minibacias por confluências.

## 2. Metodologia

### 2.1. Extração de Parâmetros por um MDE

Os parâmetros físicos da bacia, como declividades dos trechos do rio e as áreas acumuladas de drenagem, foram obtidos a partir de algoritmos que extraem essas informações de modelos digitais de elevação (MDE). O pacote de ferramentas IPH-Hydro Tools (Siqueira et al. 2016) foi utilizado para processamento do MDE, cujas etapas estão resumidas abaixo.

- a) Direções de Fluxo – Assume-se que o pixel analisado irá drenar a um de seus oito vizinhos, selecionando o que proporcione a maior declividade. Dessa forma, o pixel receberá um valor condizente com a direção do vizinho selecionado. Para que esse algoritmo seja bem executado é necessário fazer um preenchimento de depressões.
- b) Área Acumulada - Cada pixel irá receber o valor do somatório da área de todos os pixels à montante. Os pixels à montante são identificados através do plano de direções de fluxo.
- c) Rede de Drenagem - Adota-se um valor mínimo de área acumulada para se começar a rede de drenagem. Todos os pixels com área acumulada maior que o valor mínimo fazem parte da rede.
- d) Delimitação da Bacia - Primeiramente é necessário fornecer a posição do exutório da bacia (o exutório pode ser identificado observando a rede de drenagem gerada no item anterior). Em seguida selecionam-se todos os pixels que drenam ao exutório, observando a direção de fluxo, delimitando assim a área da bacia.
- e) Segmentação da rede de drenagem - O processo usual de segmentação é delimitando os trechos de rios por confluências. O algoritmo de segmentação por trechos de mesmo comprimento será explicado adiante.
- f) Delimitação das Minibacias - As minibacias são delimitadas pela área de contribuição incremental ao trecho do rio, ou seja, será a área que contribui ao pixel mais a jusante do trecho menos a área de contribuição de todos os trechos à montante.

Seguindo os passos citados acima torna-se possível extrair os parâmetros físicos da bacia, conforme descrito em Buarque et al. (2008). A área da bacia e das minibacias, por exemplo, é dada pelo somatório da área de cada um dos pixels que as compõe. Já o comprimento dos

trechos é calculado percorrendo os pixels internos e somando um valor correspondente a sua largura ou diagonal, conforme a direção do fluxo. A declividade média do trecho é estimada pela diferença entre a cota de seu pixel mais a montante e o pixel mais a jusante do trecho, dividido pelo seu comprimento. No entanto, em trechos em que a cota do pixel de jusante é maior que a cota de montante, assume-se uma declividade mínima de 0,01, justamente para não comprometer o método de propagação de vazão escolhido.

## 2.2. Método de Segmentação Proposto

O método de segmentação por trechos de rio de mesmo comprimento surgiu principalmente para suprimir trechos de rio muito curtos que aparecem através da segmentação da rede de drenagem por confluências. Esses trechos aparecem por haver confluências em sequência muito próximas umas das outras. Os trechos muito curtos são indesejáveis para modelos explícitos de propagação de escoamento, a exemplo da formulação inercial aplicada ao MGB-IPH (Pontes et al. 2015). Neste caso, pequenos trechos exigem um incremento temporal ( $\Delta t$ ) pequeno, para prevenir a ocorrência de instabilidades numéricas no modelo. No entanto, um  $\Delta t$  menor implica em uma quantidade maior de cálculos a serem realizados e consequentemente um maior tempo de processamento.

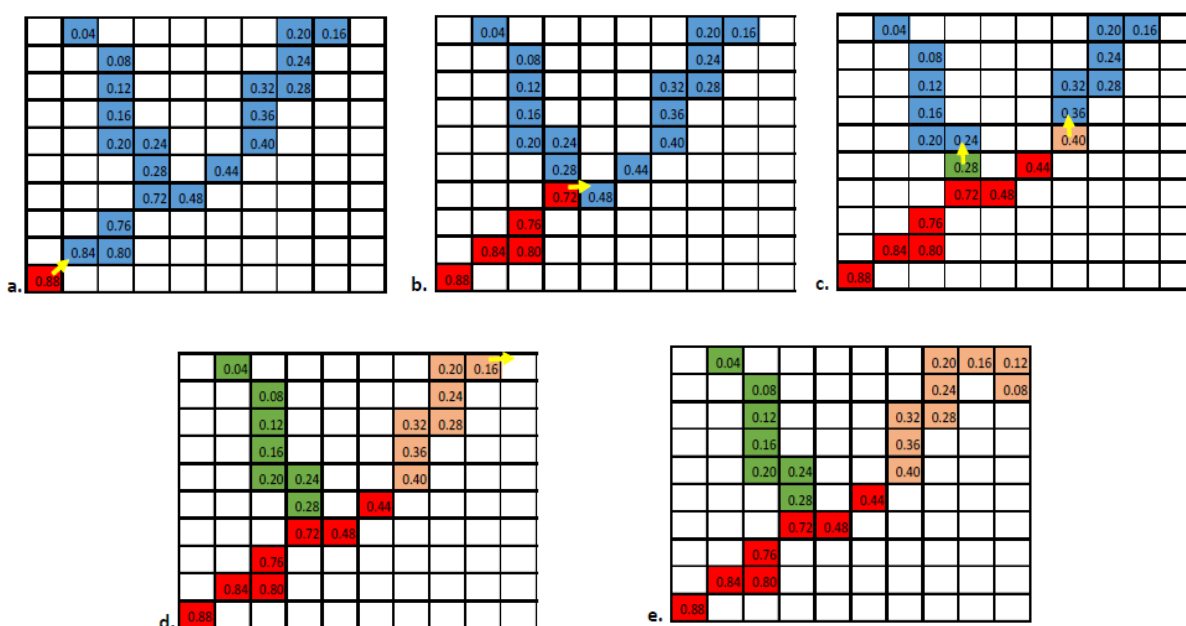


Figura 1- Passo a passo do método de segmentação por trechos de mesmo comprimento.

O método utilizado para segmentação proposto parte do exutório em direção à cabeceira da bacia, dividindo a rede de drenagem em trechos de mesmo comprimento. Este método foi adicionado ao pacote IPH-Hydro Tools, e é caracterizado pelas seguintes etapas:

- O primeiro passo para a aplicação desse método é determinar qual o limiar de comprimento ( $L$ ) para definição dos trechos do rio.
- Em seguida detecta-se o pixel que corresponde ao exutório da bacia (Figura 1a) e percorre-se a rede de drenagem em direção à cabeceira da bacia, somando os comprimentos, até que o conjunto de pixels tenha atingido o tamanho  $L$  escolhido, delimitando assim o primeiro trecho.
- O trecho seguinte começa no pixel da rede de drenagem imediatamente à montante e repete-se o mesmo processo até que toda a rede de drenagem esteja segmentada.

- d) Caso o segmento tenha alcançado uma confluência mas possua um comprimento menor que L, o processo de segmentação irá prosseguir na direção da rede de drenagem que possua a maior área acumulada (Figura 1b), até que o trecho atinja o tamanho L. Em paralelo, outro trecho será delimitado a partir do pixel da rede de drenagem a montante da confluência e que tem a menor área de contribuição (Figura 1c)
- e) Caso o processo de segmentação chegue ao final da rede de drenagem e, no entanto, o comprimento do trecho seja menor que o valor L determinado (figura 1d), o processo de segmentação segue o pixel de montante com maior área de contribuição, estendendo a rede de drenagem até que o trecho atinja o comprimento L ou o divisor de águas da bacia (Figura 1e).

### 3. Estudo de Caso

A bacia utilizada como estudo de caso foi a do Taquari-Antas (Figura 2), localizada no nordeste do estado do Rio Grande do Sul e que drena para o rio Jacuí. A bacia fica localizada entre as latitudes 28°10' S e 30°00' S e longitude 50°00' O e 52°40', abrangendo uma área de aproximadamente 26.600 km<sup>2</sup>. O MDE utilizado no trabalho foi o Shuttle Radar Topographic Mission - SRTM com resolução espacial de 90 m. A rede de drenagem foi definida utilizando um limiar de área acumulada de 10.000 células, equivalente a 0,28% da área da bacia ou 75 km<sup>2</sup> (Figura 2).

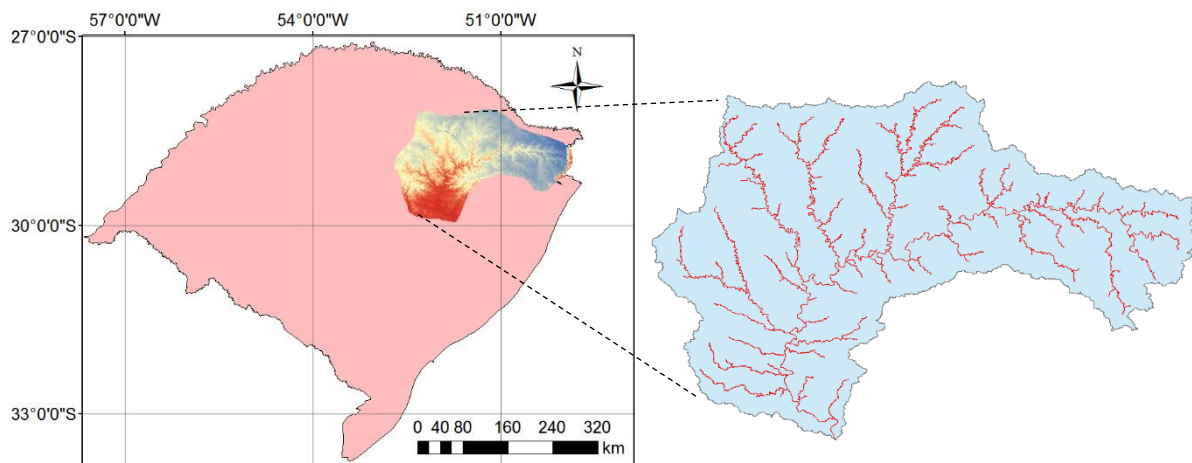


Figura 2- Localização da bacia do Taquari - Antas no estado do Rio Grande do Sul e Rede de Drenagem gerada por um limiar de 10.000 células

Foram realizadas para a análise uma segmentação por confluências e cinco segmentações por trechos de mesmo comprimento com dimensões de respectivamente 30 km, 15 km, 10 km, 5 km, e 1 km. Todo o procedimento de extração dos parâmetros físicos da bacia foi realizado pelas ferramentas IPH-Hydro Tools utilizando o software MapWindow GIS.

### 4. Resultados e Discussões

A

Figura 3 apresenta a distribuição espacial das minibacias para cada um dos métodos de segmentação estudados. Observa-se que, quanto menor o comprimento do trecho escolhido para a segmentação de tamanho uniforme, maior é o número de minibacias. Comparando-se com a segmentação por confluências, verifica-se visualmente que a segmentação por trechos de mesmo comprimento tende a ter mais minibacias, uma vez que a rede de drenagem se prolonga e o comprimento médio dos trechos é menor (exceto para o caso de 30 km).

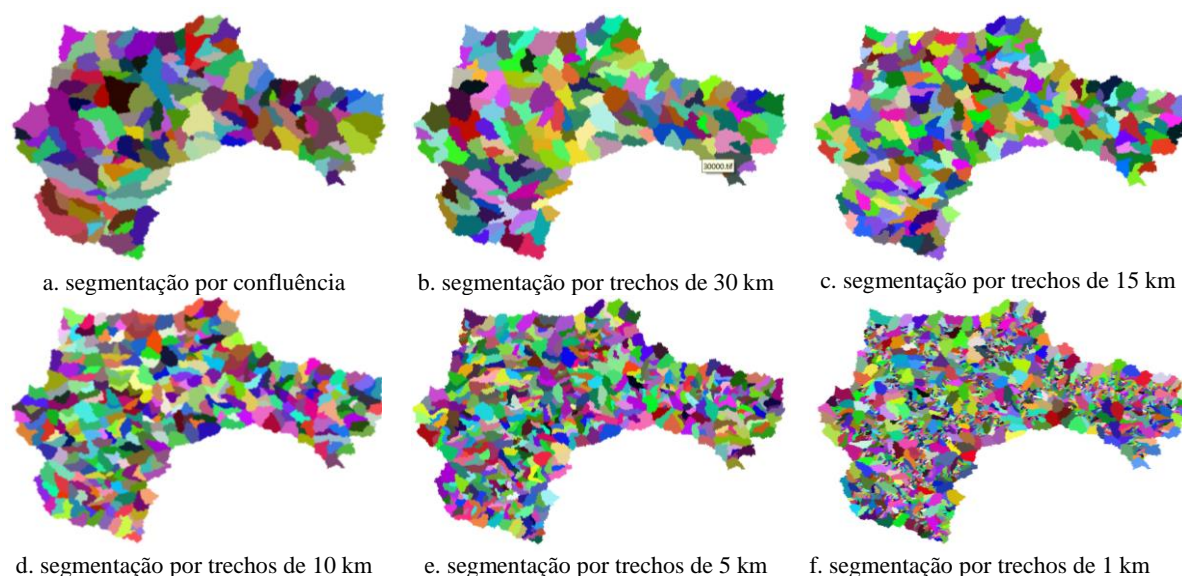


Figura 3 - Distribuição das minibacias pelos diferentes métodos de segmentação na bacia do Taquari-Antas

#### 4.1. Comprimento da Rede de Drenagem

A Tabela 1 apresenta as estatísticas do comprimento dos trechos de rio gerados com os métodos avaliados. Pode-se verificar que o método de segmentação por trechos de mesmo tamanho tende a aumentar o comprimento total da rede de drenagem, uma vez que são geradas drenagens mais extensas nas cabeceiras para satisfazer os critérios de todos os rios terem o mesmo comprimento. Da mesma forma, fica evidente que quanto maior o tamanho fixado para os trechos, maior tende a ser o comprimento total da rede de drenagem.

Tabela 1- Característica dos comprimentos dos trechos de rio

	Confluências	30 km	15 km	10 km	5 km	1 km
Número de minibacias	179	161	260	363	673	3038
Comprimento total (km)	3155,44	4462,42	3916,90	3656,93	3410,10	3205,31
Comprimento méd (km)	17,54	27,55	15,01	10,05	5,06	1,06
Comprimento máx (km)	87,56	30,21	15,24	10,23	5,24	1,23
Comprimento mín (km)	0,59	16,67	12,39	9,96	4,96	0,96
Desvio Padrão (km)	14,74	4,36	0,90	0,48	0,16	0,04

Embora as abordagens propostas exijam a seleção de trechos de comprimentos uniformes, os tamanhos mínimos da segmentação de 15 km e 30 km são menores que o definido, sendo de 12,69 km e 16,67 km respectivamente. Isso ocorre em trechos de minibacias de cabeceira quando o prolongamento executado na rede alcança o limite da bacia hidrográfica. A Figura 7 mostra a frequência acumulada da relação entre comprimento dos trechos e a média do método de segmentação e torna possível identificar a variabilidade dos comprimentos de trechos. O método de segmentação por trechos de 30 km, por exemplo, alcançou o divisor de águas em ao menos 35% do total das minibacias, que representa mais da metade das minibacias de cabeceiras por esse processo de segmentação.



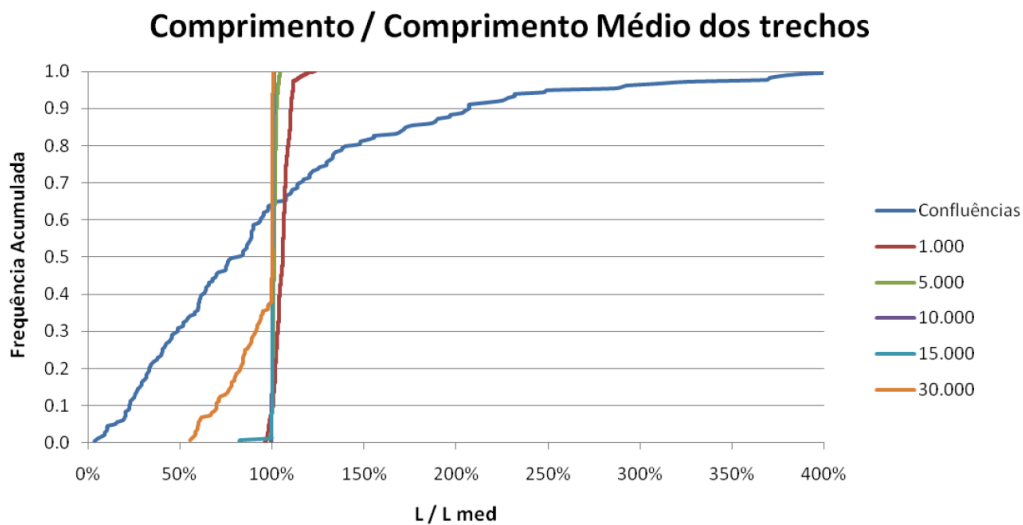


Figura 4 - Frequência Acumulada do comprimento dos trechos dividido pelo comprimento médio dos trechos ( $L/L_{med}$ )

#### 4.2. Declividade dos Trechos

A Tabela 2 e a Figura 5 apresentam uma análise da declividade dos trechos de rio gerados com os diferentes métodos testados. Diferentemente do que foi observado nos comprimentos, os valores de declividade obtidos não permitiram uma diferenciação clara entre os métodos, pois a segmentação por trechos de mesmo tamanho foi próxima à segmentação por confluências para todos os casos, com exceção dos trechos de 1km. A Figura 5 demonstra a frequência acumulada do logaritmo das declividades. Nota-se que a segmentação por trechos uniformes de 1 km, produz "patamares de declividade". Isto era esperado por que o MDE tem resolução vertical de 1 m, e nas regiões mais planas a elevação dos pixels tende a variar pouco dentro de um mesmo trecho de rio. Desta forma, são esperados valores mais próximos de números inteiros para declividades mais baixas. Alguns pequenos patamares também podem ser observados pela segmentação por 5 km.

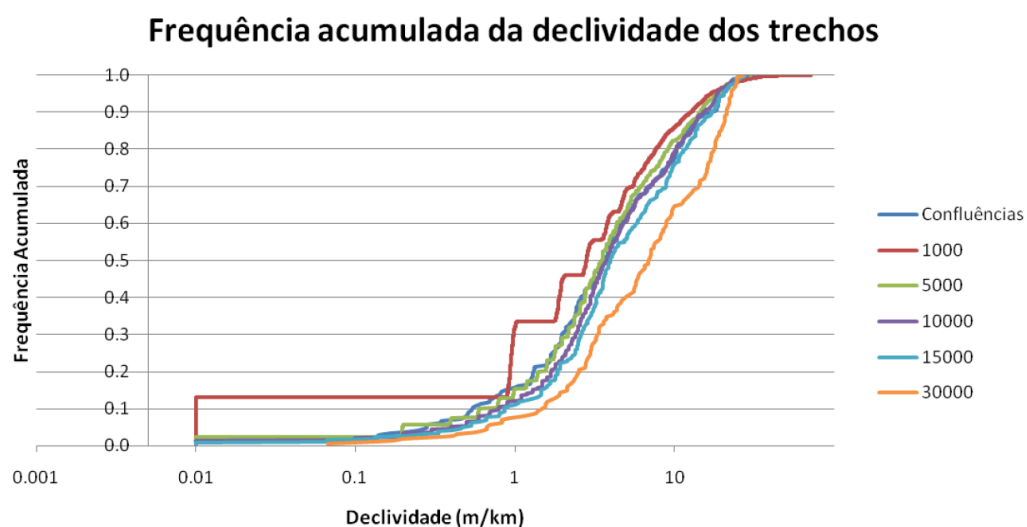


Figura 5 - Frequência Acumulada da Declividade dos Trechos

Tabela 2 - Características da declividade dos trechos dos rios

	Confluências	30 km	15 km	10 km	5 km	1 km
Declividade méd (m/km)	6,13	9,37	6,80	6,14	5,67	4,96
Declividade máx (m/km)	32,00	27,46	28,07	28,91	29,88	72,43
Declividade mín (m/km)	0,01	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01
Desvio Padrão (m/km)	6,40	7,60	6,37	5,98	5,82	6,39

### 4.3. Área das Minibacias

A Tabela 3 e a Figura 6 apresentam as análises relacionadas com a área das minibacias geradas para cada caso. Inicialmente percebe-se, em relação ao método de segmentação por trechos de comprimento uniforme, que quanto maior o comprimento do trecho, maior o tamanho das minibacias.

Na figura 6 vemos um gráfico de frequência acumulada das áreas das minibacias com cada método. Nota-se, por exemplo, que com o método de 10 km 100% das minibacias têm áreas menores ou iguais a 200 km<sup>2</sup>, já com o método de 30 km as áreas não ultrapassam 380 km<sup>2</sup>.

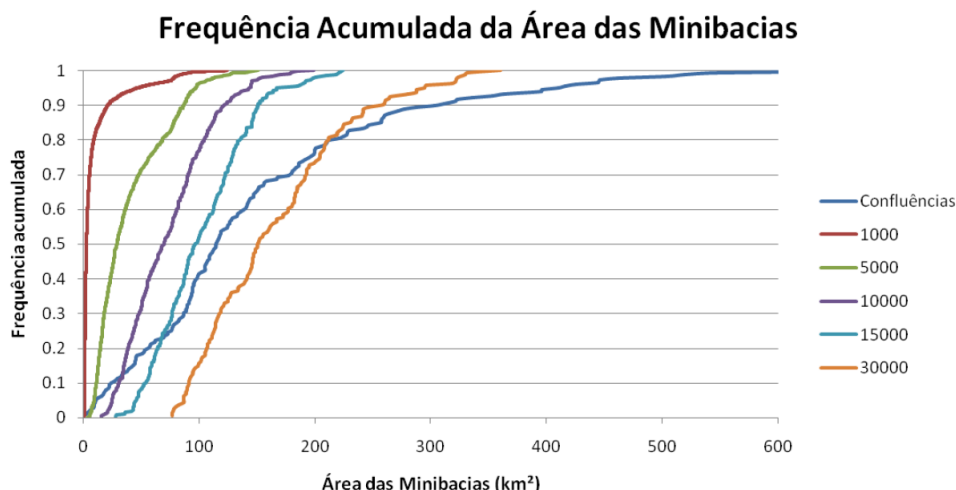


Figura 6 - Frequência acumulada da área das minibacias

Através da Tabela 3 pode-se notar uma maior variabilidade do método de segmentação por confluências entre as áreas das minibacias geradas, pelo alto Desvio Padrão calculado. Essa abordagem mais tradicional engloba todas as faixas de área dos outros métodos, apresentando tanto a menor área de minibacia entre os métodos (0,23 km<sup>2</sup>) quanto a maior (795,68 km<sup>2</sup>).

Tabela 3 - Características das áreas das minibacias

	Confluências	30 km	15 km	10 km	5 km	1 km
Área méd (km <sup>2</sup> )	147,82	164,24	101,94	73,10	39,48	8,76
Área máx (km <sup>2</sup> )	795,68	359,90	223,79	199,13	150,63	124,18
Área mín (km <sup>2</sup> )	0,23	76,40	27,69	15,20	3,48	0,24
Desvio Padrão (km <sup>2</sup> )	122,11	65,22	40,84	36,42	29,97	17,33
Coefficiente de Variação	0,83	0,40	0,40	0,50	0,76	1,98

Analisando o coeficiente de variação, e a diferença entre as áreas máximas e mínimas na Tabela 3 torna-se evidente a não uniformidade no tamanho das áreas das minibacias do método de segmentação por trechos de 1 km de comprimento. Isso se deve ao fato do valor mínimo

para se iniciar a rede de drenagem não ser condizente com o comprimento de trecho escolhido de forma que as áreas das minibacias de cabeceira são muito maiores que as áreas das demais minibacias (Figura 3f.).

## 5. Conclusão

Como primeira conclusão deste trabalho, observa-se que o método de segmentações por trechos de mesmo comprimento implementado no IPH-Hydro Tools e avaliado neste trabalho consegue atingir seu objetivo principal que é eliminar os trechos de comprimento muito pequeno. Entretanto, verificou-se que para segmentações maiores da bacia (e.g. 30 km) nem sempre o comprimento desejado para os trechos é atingido. Isso ocorre quando um trecho de cabeceira alcança o divisor topográfico da minibacia, o que potencialmente pode ser resolvido com um limiar de início da drenagem mais adequado.

Também se nota que o método tende a diminuir a variabilidade tanto da área das minibacias quanto ao comprimento dos trechos se comparado com o método tradicional de delimitação por confluências. Também foi possível mapear a influência da seleção do comprimento do trecho utilizado nas segmentações por trechos de mesmo comprimento sobre as características das minibacias. Os números apresentados nos resultados podem ser usados como referências prévias para trabalhos futuros de modelagem que venham a aplicar esta metodologia.

Por fim, destaca-se que a influência da seleção do limiar de área acumulada nos resultados das discretizações deve ser melhor avaliada, bem como o impacto do método de segmentação sobre a modelagem hidrológica. Estes temas são assuntos a serem endereçados em trabalhos futuros.

## Referências

- Buarque, D.C.; Paz, A.R.; Collischonn, W. Extração automática de parâmetros físicos de bacias hidrográficas a partir do MNT para utilização em modelos hidrológicos. In: Simpósio Sul-Sudeste de Recursos Hídricos, 2008, Rio de Janeiro. Porto Alegre: ABRH, 2008.
- Fan, F. M.; Collischonn, W.; Sorribas, M. V.; Pontes, P. R. M. Sobre o início da rede de drenagem definida a partir dos modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, p. 241-257, 2013.
- Krysanova, V.; Bronstert, A.; Müller-Wohlfeil D.I. Modelling river discharge for large drainage basins: from lumped to distributed approach. **Hydrological Sciences Journal**, v. 44, n. 2, p. 313-331, 1999.
- Maidment, D. **Arc Hydro: GIS for Water Resources**. Redlands, CA, USA: ESRI, 2002
- Niehoff, D.; Fritsch, U.; Bronstert, A. Land-use impacts on storm-runoff generation: scenarios of land-use change and simulation of hydrological response in a meso-scale catchment in SW-Germany. **Journal of Hydrology**, v. 267, n. 1, p. 80-93, 2002.
- Paz, A.R.; Buarque, D.C.; Collischonn, W.; Victoria, D.C.; Andrade, R.G. Discretização de modelos hidrológicos de grande escala: grade regular x mini-bacias. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (SBRH), 2011, Maceió. Porto Alegre: ABRH, 2011.
- Pontes, P.R.M.; Collischonn, W.; Fan, F.M.; Paiva, R.C.D.; Buarque, D.C. Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n.4, p. 888-904, 2015
- Siqueira, V.A.; Fleischmann, A.S.; Jardim, P.F.; Fan, F.M.; Collischonn, W. IPH-Hydro Tools: a GIS coupled tool for watershed topology acquisition in open-source environment. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 1, p. 274-287, 2016.
- Tucci, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. 2 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005. 678 p.