

ESTUDO DE REGIONALIZAÇÃO POR MÉDIA GLOBAL DE PARÂMETROS DE UM MODELO CONCEITUAL HIDROLÓGICO

Vitor Souza Viana Silva ^{1*} & Olavo Correa Pedrollo ² & Nilza Maria dos Reis Castro ³

Resumo – O modelo chuva-vazão conceitual IPH II, versão WIN_IPH2, foi aplicado nas sub-bacias hidrográficas do rio Ijuí com a finalidade de verificar o desempenho do modelo para uso em situações de não existência de dados fluviométricos de 3 sub-bacias utilizando a média aritmética de parâmetros resultantes do processo de calibração de 4 sub-bacias. Para obter os valores dos parâmetros do modelo, este foi calibrado na sub-bacia do Ijuí, com área de drenagem de 9426 km² a 629 km², no período de 1989-1992. Os parâmetros resultantes do processo de calibração foram utilizados como parâmetros médios globais de toda bacia, na hipótese da existência de homogeneidade, e os mesmos foram introduzidos no modelo, para obter séries temporais de vazões de 3 sub-bacias, e posteriormente foi verificada a eficiência do modelo em termos das vazões para este conjunto de parâmetros. O coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS) e o erro em volume (ΔV), em porcentagem, foram as estatísticas utilizadas para avaliar o desempenho do modelo mediante a técnica da regionalização por média global de parâmetros. Os resultados mostraram bom desempenho do modelo em obter vazões em sub-bacias sem dados fluviométricos.

Palavras-Chave – Modelagem chuva-vazão, média global de parâmetros, diferentes escalas.

REGIONALISATION STUDY AVERAGE GLOBAL PARAMETERS OF A CONCEPTUAL HYDROLOGICAL MODEL

Abstract – The conceptual rainfall-runoff model IPH II, version WIN_IPH2, was applied to the sub-basins of the river Ijuí in order to verify the performance of the model for use in situations of lack of streamflow data from three sub-basins using the arithmetic mean parameters resulting from the calibration process of 4 sub-basins. To obtain the values of model parameters, this was calibrated sub-basin Ijuí with drainage area of 9426 km² to 629 km² in the period 1989-1992. The parameters resulting from the calibration process parameters were used as the overall average of all basin, given the existence of homogeneity, and the same were introduced in the model to obtain time series of flow rates of 3 sub-basins, and was subsequently verified the efficiency model in terms of flows for this set of parameters. The Nash-Sutcliffe coefficient (NS) and the error in volume (ΔV), in percent, the statistics were used to evaluate the performance of the model by the technique of regionalization by average global parameters. The results showed good performance of the model to obtain streamflow in sub-basins without streamflow data.

Keywords – Rainfall-runoff modeling, global average parameters, different scales.

1. INTRODUÇÃO

Os dados de vazão em uma bacia hidrográfica são necessários para diversas atividades, como: o planejamento e gestão dos recursos hídricos; a avaliação da disponibilidade de água para irrigação; projeto de barragens e usinas hidrelétricas; a avaliação dos riscos de cheia e seca. Porém, em certas situações, não se dispõe de séries de vazões medidas nas bacias, ou estas são insuficientes, em termos de qualidade e quantidade (Masih et al., 2010).

³ Prof.^a Doutora do PPGRHSA/Instituto de Pesquisas Hidráulicas-UFRGS.

² Prof. Doutor do PPGRHSA/Instituto de Pesquisas Hidráulicas-UFRGS.

^{1*} Mestre e Doutorando do PPGRHSA/Instituto de Pesquisas Hidráulicas-UFRGS, e-mail: vitorsvs83@hotmail.com.

Uma alternativa mais simples para a obtenção de uma série de vazões, para os casos em que não se dispõe de medidas fluviométricas, pode ser o uso da técnica da regionalização, a qual consiste na extrapolação de parâmetros, ou de variáveis hidrológicas, de uma bacia hidrográfica para outra.

Os métodos utilizados para obter as séries temporais de vazões, através da regionalização, podem ser classificados em três subgrupos: estimativa de parâmetros do modelo por relações de regressão entre os parâmetros (Kokkonen et al., 2003); interpolação espacial de parâmetros (Merz e Blöschl 2004); transferência dos parâmetros do modelo chuva-vazão (Kokkonen et al., 2003; Wagener et al., 2007; Xiaoli et al., 2009; Masih et al., 2010). O processo de introdução da média global de parâmetros em sub-bacias sem dados fluviométricos, utilizando o modelo hidrológico conceitual chuva-vazão, consiste na estimativa de valores dos parâmetros mediante a média aritmética dos mesmos obtidos do processo de calibração nas sub-bacias com dados, admitindo-se a hipótese da uniformidade espacial do comportamento das variáveis hidrológicas (Xu, 2003, Xiaoli et al., 2009, Masih et al., 2010).

Neste estudo, o modelo IPH II, versão WIN_IPH 2 (Bravo et al. 2007) , foi aplicado nas sete sub-bacias do rio Ijuí com as seguintes finalidades: obtenção da média aritmética dos parâmetros obtidos da calibração de 4 sub-bacias com dados; avaliação do desempenho do modelo para as vazões calculadas e as observadas após a introdução dos parâmetros médios globais em 3 sub-bacias com hipótese de dados inexistentes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Descrição da bacia e dos dados

A bacia do rio Ijuí situa-se na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (Brasil), entre as coordenadas 28°00' e 29°00' de latitude Sul e 53°00' e 56°00' de longitude Oeste (Figura 1). A bacia possui suas nascentes no planalto meridional gaúcho e segue no sentido leste-oeste até desaguar na margem esquerda do Rio Uruguai, drenando uma área de 10.703 km². Foram utilizados dados de 44 pluviógrafos localizados no interior e nas áreas adjacentes à bacia do rio Ijuí (figura 1), sendo uma parte constituída pelos dados disponibilizados ao público pelo sistema de informações hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA), e outra parte, constituída por mais 21 postos localizados nas bacias do Taboão e do Turcato, resultantes de monitoramento realizado pelo IPH-UFRGS (Castro et. al., 2000). A localização destes postos pluviométricos, latitude e longitude estão apresentadas na tabela 1. Os períodos de dados da série de precipitações de cada posto são descritas em Silva (2011).

As séries de dados de entrada para a geração das vazões com o modelo IPH II são as médias, sobre a bacia, das precipitações e das evapotranspirações potenciais estimadas.

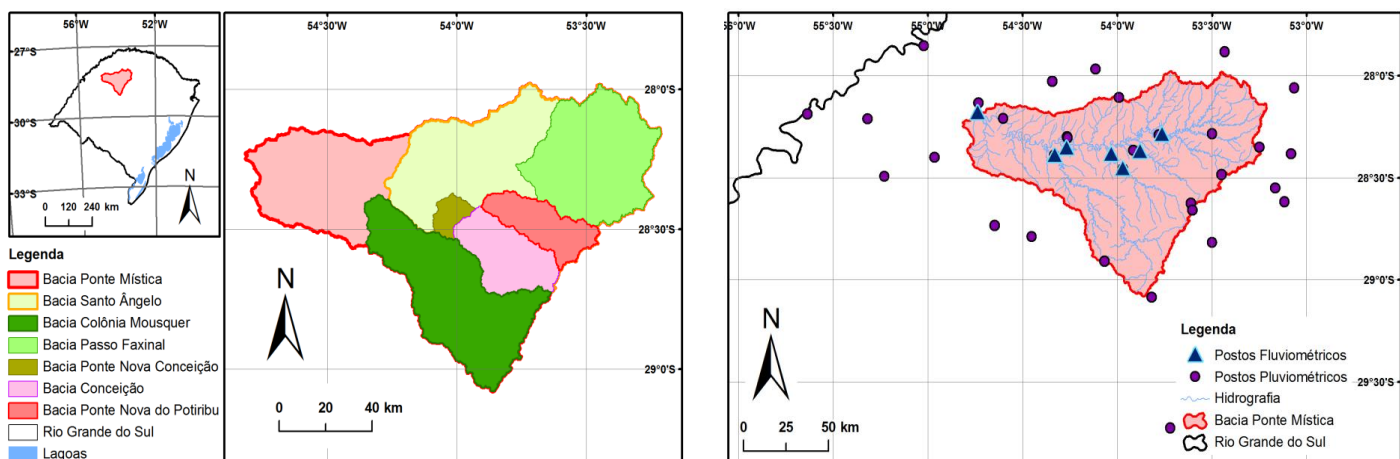


Figura 1. Localização da bacia do rio Ijuí e sub-bacias e dos postos fluviométricos e pluviométricos.

Tabela 1. Postos fluviométricos das sub-bacias do rio Ijuí.

Nome	Área (km ²)	Latitude (sul)	Longitude (oeste)
Ponte Mística	9.426	28°10'53''	54°44'18''
Santo Ângelo	5.414	28°21'19''	54°16'06''
Colônia Mousquer	2.131	28°23'23''	54°19'51''
Passo Faxinal	2.003	28°17'13''	53°45'51''
Ponte Nova Conceição	966	28°23'05''	54°01'53''
Conceição	805	28°27'18''	53°58'15''
Ponte Nova do Potiribu	629	28°22'15''	53°52'45''

Os dados diários de evapotranspiração foram estimados pela relação de proporcionalidade de uma série de dados, calculados pela equação de Penman-Montheith, com a série completa de registros diários de um evaporímetro de Piché, obtidos da estação climatológica da INMET, localizada em Cruz Alta (longitude 53°36'00'' e latitude 28°38'00''). Isto foi feito devido à inexistência de dados climatológicos necessários para a aplicação da equação de Penman-Montheith para todo o período de estudo. Admitiu-se a não variabilidade espacial da evapotranspiração, sendo adotados os mesmos valores para todas as bacias analisadas. Os dados foram divididos em dois períodos. O primeiro, de 1989 a 1992, foi utilizado para a calibração do modelo IPH II, na bacia de Ponte Mística. O segundo, de 1995 a 1998, foi utilizado para a verificação, em cada uma das sete sub-bacias, com os parâmetros obtidos na etapa anterior.

O cálculo da precipitação média na bacia por grade regular. As precipitações médias diárias nas bacias foram calculadas pela relação entre o somatório dos valores das precipitações nos nós definidos no interior dos limites da bacia pelo número total destes nós. O processo de interpolação utilizado, nos nós de toda a grade regular, foi feito a partir de uma rede de pluviômetros distribuídos no interior e nas áreas adjacentes aos limites da bacia como proposto por Silva (2011) utilizando o algoritmo programado no Scriptor do SURFER 8.0 e o interpolador foi o Vizinho Natural.

2.2 O modelo IPH II e a versão WIN_IPH2

O modelo IPH II, desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) na década de 70, é um modelo conceitual que simula o processo de transformação de chuva-vazão, e baseia-se nos seguintes algoritmos: perdas por interceptação e por evapotranspiração; separação de escoamento; propagação dos escoamentos superficiais e subterrâneos.

As séries de dados necessárias para a simulação correspondem às precipitações médias na bacia e às estimativas de evapotranspiração. Para a calibração, são necessárias também as vazões observadas no exutório.

A versão WIN_IPH2 (Bravo et. al. 2007), do modelo IPH II, utilizada neste trabalho, admite parâmetros que podem ser fornecidos pelo usuário, e que caracterizam a bacia, os quais são a área da bacia (A), a porcentagem de área impermeável (AIMP), um coeficiente de forma da bacia (n), e o tempo de concentração (t_c). Estes parâmetros devem ser fornecidos ao modelo, juntamente com as condições iniciais estimadas, que são: a percolação (em m^3/s), a vazão subterrânea (em m^3/s) e a vazão superficial (em m^3/s).

Outros parâmetros, em sua maioria de natureza física, são ajustados pelo modelo, sendo estes: a capacidade máxima do reservatório hipotético de interceptação, R_{max} (mm); a capacidade de infiltração para $t = 0$, I_0 ($mm\ h^{-1}$); a capacidade de infiltração mínima, I_b ($mm\ h^{-1}$); o parâmetro de decaimento da infiltração no solo, h (adimensional); o parâmetro Alfa, que afeta a separação dos escoamentos quando a precipitação é menor que a capacidade de infiltração; o parâmetro de propagação do escoamento superficial, k_{sup} (horas); e o parâmetro de propagação do escoamento subterrâneo, k_{sub} (horas). O parâmetro R_{max} , o qual representa a capacidade de armazenamento máximo em um reservatório hipotético de interceptação pela vegetação, é utilizado pelo primeiro algoritmo, de perdas.

Os parâmetros I_0 , I_b e h , que são, respectivamente, as capacidades inicial e mínima de infiltração e o parâmetro de decaimento de infiltração de água no solo, são característicos da equação de infiltração de Horton, sendo utilizados pelo algoritmo de separação do escoamento. O parâmetro de decaimento, h , com valor positivo menor do que um, é relacionado ao tipo de solo, sendo usualmente determinado de forma empírica pelos recursos automáticos de ajuste do modelo.

O parâmetro denominado Alfa (α), no caso da simulação de séries contínuas de longo período, participa do algoritmo de separação do escoamento quando a precipitação é menor que a capacidade de infiltração (Bravo et. al., 2007). O parâmetro afeta, nestes casos, as proporções de precipitação que escoam superficialmente, as quais são menores à medida que o Alfa é maior.

A propagação do escoamento superficial pelo modelo é feita através do método de Clark, o qual é uma combinação do chamado histograma tempo-área (HTA) com um modelo de reservatório linear simples. O HTA representa a translação da chuva pelo deslocamento sobre a superfície da

bacia, enquanto que o reservatório linear representa os efeitos de armazenamento das partículas de água no percurso até o ponto da saída da bacia.

A versão WIN_IPH2 do modelo IPH II, possibilita a realização da calibração do modelo de forma automática ou manual. Os recursos automáticos baseiam-se na otimização de funções monobjetivo (algoritmo SCE-UA, Duan et al., 1992) ou multiobjetivo (algoritmo MOCOM-UA, Yapo et al., 1998). Estas são técnicas heurísticas de otimização baseadas em algoritmos evolutivos.

Esta versão do modelo admite a imposição de limites aos resultados do processo de calibração, segundo intervalos de valores admissíveis, sugeridos por Collischonn e Tucci (2003), para os parâmetros Rmax, Ks, Ksub, Ib, Io, h e Alfa. Estes intervalos são estabelecidos para garantir que resultem parâmetros com significado físico, uma vez que parâmetros hidrologicamente inconsistentes podem fornecer um bom ajuste, porém não são desejáveis. Collischonn e Tucci (2003) avaliaram que um número de 10 execuções do modelo WIN_IPH2, é suficiente para o algoritmo SCE-UA encontrar o ótimo global.

2.3 Avaliações de desempenho do modelo

A avaliação do desempenho do modelo chuva-vazão consiste na verificação da capacidade do mesmo em representar, da melhor forma possível, a realidade, mediante a comparação dos resultados simulados com os dados observados. Neste trabalho, o índice estatístico (NS) foi utilizado para avaliar a eficiência do modelo. Além deste índice, utilizou-se também, para complementar a análise estatística, tendo em conta as limitações do índice anterior, o erro em volume (ΔV), expresso em porcentagem. Este índice avalia a tendência geral que os dados simulados apresentam de subestimar (valores de ΔV positivos) ou superestimar (valores de ΔV negativos) os dados medidos.

Os índices NS e ΔV foram calculados pelas equações 1 e 2.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_c)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o - \overline{Q_o})^2} \quad (1)$$

$$\Delta V (\%) = 100 \left(\frac{\sum_{i=1}^n Q_o - \sum_{i=1}^n Q_c}{\sum_{i=1}^n Q_o} \right) \quad (2)$$

Onde, Q_o é a vazão observada, $\overline{Q_o}$ é a vazão média observada, Q_c é a Vazão calculada, $\overline{Q_c}$ é a vazão média calculada, NS é o coeficiente de Nash-Sutcliffe e ΔV é o erro em volume (%).

Com base nos estudos adotados por Moriasi et al. (2007) são consideradas aceitáveis, tendo em conta o objetivo deste estudo, as simulações $NS > 0,5$ e ΔV no intervalo entre -25% e + 25%.

2.4 O processo de obtenção da média global de parâmetros

O método de regionalização proposto para a obtenção das séries temporais de vazões nas sub-bacias é a média global de parâmetros, com uso do modelo hidrológico chuva-vazão WIN_IPH2. A aplicação do método consiste, primeiramente, na estimativa dos valores dos parâmetros para 4 sub-bacias (R_{max} , I_o , I_b , h , Alfa , K_{sup} , K_{sub}) através do processo de calibração automático, utilizando o algoritmo SCE-UA com a função objetivo NS. São executadas diversas calibrações, para evitar o estacionamento em um ótimo local e mais provavelmente chegar a um ótimo global.

A seguir é aplicado uma média aritmética nos 4 conjuntos de parâmetros e a média global resultante é obtida. Este conjunto de parâmetros é, então, utilizado para a verificação da capacidade do modelo e a homogeneidade da bacia, com aplicação nas 3 sub-bacias, tendo-se em conta as características particulares de cada uma, representadas pelos parâmetros específicos destas, os quais são a área (A), a porcentagem de área impermeável ($AIMP$), o coeficiente de forma (n) e o tempo de concentração (t_c). Todas as bacias, neste estudo, possuem formas que admitem o coeficiente de forma, n , igual a 1,5, que corresponde a uma elipse.

Os tempos de concentração adotados, para cada bacia, seguiram, neste estudo, as recomendações de Sherman (1949), de um valor entre 12 e 24 horas para bacias com área superior a 2.500 km^2 , e um valor entre 6 e 12 horas para bacias com áreas entre 250 e 2.500 km^2 . A sensibilidade do modelo a este parâmetro, porém, mantida a ordem de grandeza recomendada, revelou-se irrelevante para este estudo. As condições iniciais da simulação para a vazão subterrânea, para a vazão de percolação e para a vazão superficial foram atribuídas mediante o método da estimativa por tentativa e erro, ou seja, atribuiu-se valores para as mesmas até resultar um melhor ajuste gráfico.

3. RESULTADOS

3.1 Obtenção da média global de parâmetros do modelo na bacia nas 4 sub-bacias

A calibração automática foi realizada em 10 aplicações sucessivas do algoritmo SCE-UA com a função objetivo NS , nas sub-bacias do Ijuí, em Ponte Mística (9.426 km^2), Colônia Mousquer (2331 km^2), Ponte Nova Conceição (966 km^2) e Ponte Nova do Potiribu (629 km^2), no período de 02/01/1989 a 31/01/1992, resultando nos parâmetros (R_{max} , K_s , K_{sub} , I_b , I_o , h e Alfa) apresentados na tabela 2 são apresentados os índices estatísticos resultantes da calibração, para a avaliação do desempenho para o conjunto de parâmetros obtidos para cada sub-bacia.

A média global obtida da tabela 2 para as 4 sub-bacias resultou nos seguintes parâmetros: $I_o= 105.971 \text{ mm h}^{-1}$; $I_b= 2.347 \text{ mm h}^{-1}$; $h= 0.6731$ (adimensional); $K_{sup}= 3.518$ horas; $K_{sub}= 18.127$ horas; $R_{max}= 8.411$ horas e $\text{Alfa}= 1.554 \%$.

Tabela 2. Valores dos parâmetros obtidos na calibração utilizando o algoritmo SCE-UA e os valores dos índices estatísticos de desempenho com o uso da função objetivo NS, nas 4 sub-bacias do Ijuí, no período de 02/01/1989 a 31/01/1992.

Parâmetros	Ponte Mística	C. Mosquear	P. Conceição	Potiribu	Média
Io (mm h-1)	121.5087	145.8473	80.8127	75.7146	105.971
Ib (mm h-1)	0.9956	1.244	3.6954	3.4535	2.347
h (adm)	0.71990931	0.622703791	0.769650281	0.57999	0.6731
Ksup (h)	5.8698	3.3555	1.9098	2.9377	3.518
Ksub (h)	20.5105	10.0006	10.0001	31.9962	18.127
Rmax (h)	6.8727	8.9997	8.9	8.8709	8.411
Alfa (%)	5.15	0.3603	0.0342	0.6727	1.554
NS	0.88	0.83	0.6	0.82	0.78
ΔV (%)	-1.61	2.00	1.44	1.02	0.71

3.2 O processo de introdução da média global de parâmetros nas 3 sub-bacias

O conjunto de parâmetros obtidos da média global, obtidos da calibração de 4 sub-bacias, foram aplicados nas sub-bacias do Santo Ângelo (5.414 km²), Passo Faxinal (2.003 km²) e Conceição (805 km²), no período de 02/01/1989 a 31/01/1992, para a verificação da capacidade do modelo em reproduzir as vazões. Os dados de entrada específicos para cada sub-bacia foram as séries de precipitações, os valores das áreas de drenagem e as condições iniciais, Qp (vazão de percolação), Qsub (vazão subterrânea) e Qsup (vazão superficial). Além dos parâmetros ajustados para Ponte Mística (Io, Ib, h, Ksup, Ksub, Rmax e Alfa) pela calibração automática do modelo, também utilizou-se a mesma série de evapotranspiração, para as aplicações nas sub-bacias. Na figura 2 são apresentadas as vazões, simuladas e observadas para as 3 sub-bacias. Na tabela 3 são apresentados os valores dos índices estatísticos aplicados para avaliar o desempenho das vazões simuladas com as vazões observadas nas sub-bacias, utilizando a média global de parâmetros no período de 02/01/1989 a 31/01/1992.

Tabela 3. Valores dos índices estatísticos de desempenho com a média global de parâmetros.

Sub-bacias	Índices Estatísticos	
	NS	ΔV (%)
Santo Ângelo (5414 km ²)	0.84	-8.83
Passo Faxinal (2003 km ²)	0.79	-3.59
Conceição (805 km ²)	0.65	9.64

Os resultados da técnica da média global de parâmetros foram satisfatórios, pois os valores apresentaram intervalos $0,65 \leq NS \leq 0,84$ e $-8,83 \% \leq \Delta V \leq 9,64 \%$, estando de acordo com os critérios de Moriasi et al. (2007). Ocorreu também perda de eficiência do modelo com a aplicação da técnica em função da redução da escala das sub-bacias analisadas.

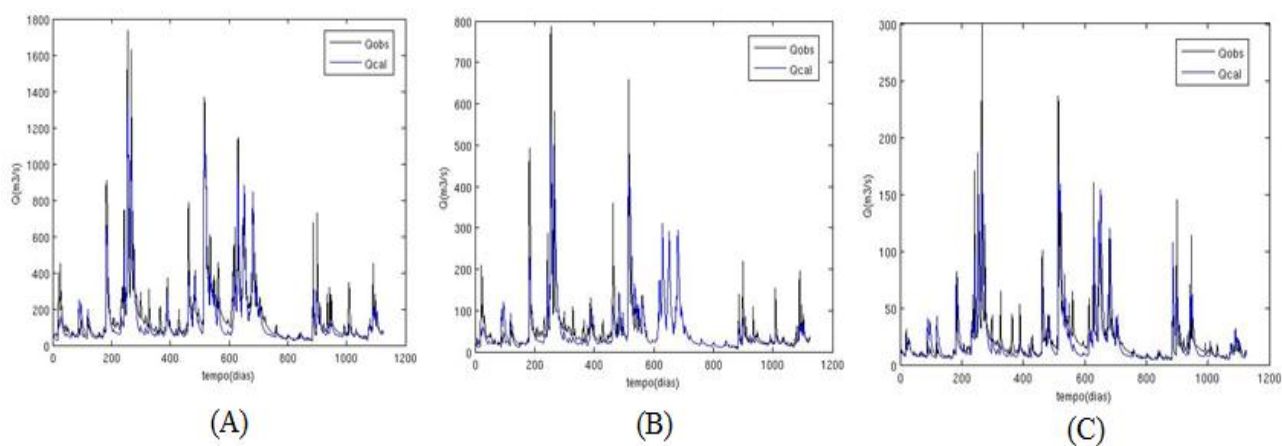


Figura 2. Vazão calculada e observada nas sub-bacias do Santo Ângelo com área de 5414 km² (A), Passo Faxinal com área de 2.003 km² (B) e Conceição com área de 805 km² (C), no período de 02/01/1989 a 31/01/1992.

No estudo de Merz & Blöschl (2004) verificou que o uso de valores médios globais de parâmetros para todas as bacias hidrográficas levou a resultados não satisfatórios na regionalização em 308 bacias hidrográficas, na Áustria. Uma das razões para o fraco desempenho do método, como relatado por Merz e Blöschl (2004) é que a pesquisa foi feita numa região hidrologicamente heterogênea. Neste estudo se concentrou em uma região relativamente pequena, geograficamente bastante homogênea e os parâmetros obtidos pelo modelo com pouco desviou a partir de parâmetros calibrados em média, por isso, o método de média global foi considerado como válido para investigação. Em estudos anteriores de regionalização de vazões na bacia do rio Ijuí foram observadas similaridades espaciais, com pequena variabilidade espacial das variáveis e funções obtidas por Silva Junior et al. (2003), Estes autores constataram a representatividade da bacia a partir dos bons resultados obtidos na regionalização de vazões.

4. CONCLUSÕES

O método da média global de parâmetros de uma bacia da ordem de 9.426 km² até 629 km² revelou-se adequado, com bom desempenho para ser utilizada em bacias com valores de área neste intervalo, com valores de NS > 0,67. Observou-se que, para a eficiência deste método pode ser devido a homogeneidade existente na bacia analisada, assim como, observado por outros estudos nesta região. Com base nos resultados, concluiu-se que o processo de regionalização através da média global de parâmetros pode ser uma técnica importante para a obtenção de séries de vazões em bacias hidrográficas representativas. Porém, esta conclusão está condicionada ao uso de um modelo adequado a esta finalidade como foi o caso da versão WIN_IPH2 do modelo IPH II.

REFERÊNCIAS

BRAVO, J. M.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W. ; TASSI, R.; MELLER, A.; TUCCI, C (2007). Avaliação visual e numérica da calibração do modelo hidrológico IPH II com fins educacionais. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo. Anais do XVII

Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, v. 1.

CASTRO, N. M. dos R.; CHEVALIER, P.; GOLDENFUM, J. A. (2000). Projeto Potiribu, atualização 1989-1998 – dados básicos de fluviometria e pluviometria (com anexos). IPH: UFRGS, Revista Recursos Hídricos, Vol. 35.

COLLISCHONN, W & TUCCI, C. E. M., (2003). Ajuste multiobjetivo dos parâmetros de um modelo hidrológico. Revista Brasileira de Recursos Hídricos RBRH, v. 8, n. 3, p.27-39, jul/set.

DUAN, Q.; SOROOSHIAN, S.; GUPTA, V. (1992). Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models. Water Resources Research 28(4), pp. 1015-1031.

KOKKONEN, T.S., JAKEMAN, A.J., YOUNG, P.C., KOIVUSALO, H.J.(2003) , Predicting daily flows in ungauged catchments: model regionalization from catchment descriptors at the Coweeta Hydrologic Magette.

MASIH, I., UHLENBROOK, S., MASKEY, S., AHMAD, M.D., (2010) Regionalization of a conceptual rainfall-runoff model based on similarity of the flow duration curve: A case study from the semi-arid Karkheh basin, Iran, Journal of Hydrology.

MERZ, B., BLÖSCHL, G., Regionalization of catchment model parameters, J. Hydrol. 287, 95–123, 2004.

MORIASI, D. N., ARNOLD, J. G., VAN LIEW, M. W., BINGNER, R. L., HARMEL. R. D., VEITH, T. L.(2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 0001–235.

SHERMAN, L. K.,(1949). The unit hydrograph method, In Physics of the Earth. O. E. Menizer Ed. Dover Publications, Inc. New York, N.Y., 514-525, 1949.

SILVA JÚNIOR, O. B.; Bueno, E. O.; Tucci, C. E. M. & Castro, N. M. R. Extrapolação espacial na regionalização de Vazões. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, volume 8, nº 1, 21-27, 2003.

SILVA, V. S. V., Estimativa de precipitação pontual em diferentes escalas para uso em modelo chuva-vazão concentrado. Dissertação de Mestrado. 156 f., UFRGS, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Recursos Hídricos e Ambiental, 2011.

WAGENER, T., SIVAPALAN, M., TROCH, P., WOODS, R., Catchment classification and hydrologic similarity. Geography Compass: (1), 10.1111/j.1749-8198.2007.00039, 2007.

XIAOLI, J.; CHONG-YU, X.; QI, Z.; YONGQIN, D. C.. Regionalization study of a conceptual hydrological model in Dongjiang basin, south China. Quaternary International 208, 129–137, 2009.

XU, C., Testing the transferability of regression equations derived from small sub-catchments to a large area in central Sweden. Hydrology and Earth Systems Science 7, 317–324, 2003.

YAPO, P. O.; GUPTA, H. V.; SOROOSHIAN, S. (1998) “Multi-objective global optimization for hydrologic models”. Journal of hydrology, v 204.