

Eixo Temático ET-05-011 - Recursos Hídricos

## CALIBRAÇÃO DE MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUÍDO COM FRACIONAMENTO DO HIDROGRAMA

Glauce Lene Rufino Chaves<sup>1</sup>, Paloma Mara de Lima Ferreira<sup>2</sup>, Adriano Rolim da Paz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduanda em Engenharia Ambiental - Depto de Eng. Civil e Ambiental – CT – UFPB;  
<sup>2</sup>Engenheira Ambiental, Mestra em Engenharia Civil e Ambiental – UFPB; <sup>3</sup>Professor Adjunto do Depto de Engenharia Civil e Ambiental – CT – UFPB.

### RESUMO

Modelos hidrológicos (MH) são utilizados para reproduzir o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas para diversas finalidades. Parâmetros do MH podem ser calibrados para obter melhor resultado da simulação. Nessa perspectiva, o objetivo deste trabalho foi aprimorar o processo de calibração automática multiobjetivo de um MH para a região semiárida, utilizando um método alternativo por fracionamento do hidrograma, com base na comparação entre vazões observadas e calculadas. Para implementar a metodologia foi utilizado o MH do tipo distribuído para grandes bacias chamado MGB-IPH. Os parâmetros do modelo foram calibrados usando método automático multiobjetivo baseado no algoritmo de otimização já utilizado no MH porém adaptado para considerar o fracionamento do hidrograma. A localidade do estudo restringe-se à estação fluviométrica Piancó no estado da Paraíba. Os resultados mostraram relativamente um desempenho satisfatório quando comparados ao método tradicional de calibração. As medidas de desempenho do método alternativo se sobressaíram quando comparadas ao método tradicional, no entanto com relação aos hidrogramas foi observado que o método tradicional teve uma melhor representação das vazões de pico. Desse modo, pode-se verificar que o MH distribuído MGB-IPH descreve satisfatoriamente o padrão do regime de vazões observadas em bacias hidrográficas de região semiárida.

**Palavras-chave:** Modelos hidrológicos; MGB-IPH; Calibração multiobjetivo; Região semiárida.

### INTRODUÇÃO

O aumento populacional somado ao crescimento econômico dos países ocasiona relevantes impactos ao ambiente, sendo um desses a exploração irracional dos recursos hídricos, tendo como principais consequências a escassez e poluição das águas, prejudicando a sustentabilidade das gerações futuras. Na busca por preservar esses recursos e diminuir os efeitos da ação antrópica, os modelos hidrológicos estão cada vez mais sofisticados e são comumente usados para o planejamento e gestão dos recursos hídricos (MULETA, 2012).

Segundo Tucci (2005) o modelo hidrológico é uma das ferramentas que a ciência desenvolveu para melhor entender e representar o comportamento da bacia hidrográfica e prever condições diferentes das observadas. As inúmeras aplicações de um modelo hidrológico requerem inicialmente a definição do objetivo do estudo, visto que a escolha de um determinado tipo de modelo hidrológico deve ser feita com base na aplicação que se deseja, nas características da bacia e do rio e na disponibilidade de dados básicos para que se tenha uma aproximação conveniente do comportamento natural da bacia com o modelo, por meio da calibração ou ajuste de parâmetros (LIMA SOBRINHO, 2012).

A calibração dos parâmetros pode ser realizada de forma manual com o procedimento de tentativa e erro, ou automática mediante algoritmos matemáticos. Tem-se a calibração automática de caráter mono-objetivo, com a otimização de apenas uma função objetivo (FO) ou multiobjetivo, com mais de uma FO, na qual obtém-se prováveis conjuntos de soluções de

acordo com medidas de desempenho ou critérios de eficiência, fornecendo diversos conjuntos de parâmetros como resultado do processo (FERREIRA, 2017).

Dentre os modelos hidrológicos distribuídos, o modelo MGB-IPH (Collischonn, 2001) se destaca no cenário de aplicação no Brasil e na América do Sul como um todo. Diversas aplicações têm sido realizadas com diferentes finalidades, a exemplo de Fan et al. (2015), Adam et al. (2015), Bravo et al. (2012).

No entanto, é interessante ressaltar que no semiárido nordestino, o uso deste modelo é consideravelmente reduzido. As aplicações mais recentes foram descritas nas análises de Araújo (2017) onde o autor aplicou o MGB-IPH à bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, porém o modelo não foi capaz de representar o regime hidrológico da bacia. Como também, o trabalho de Negreiros (2017) no qual se verificou que o modelo apresentou elevada dificuldade em representar a intermitência do rio Seridó não sendo possível uma análise satisfatória da região. Já o trabalho de Felix e Paz (2016) conseguiu representar adequadamente as vazões observadas na bacia hidrográfica do rio Piancó situada na região semiárida paraibana, porém, constataram imprecisão da superestimativa ou de subestimativa de picos máximos.

Neste trabalho é apresentada uma continuidade do estudo de Felix e Paz (2016), com a recalibração do modelo MGB-IPH usando um método alternativo proposto por Paris et al. (2011), de calibração multiobjetivo por fracionamento do hidrograma de entrada. A proposta é aprimorar o processo de calibração do modelo MGB-IPH aplicado em regiões semiáridas com base na comparação entre vazões calculadas e observadas, tendo em vista a inexistência de uma função objetivo que considere igualmente as diferentes faixas de magnitudes de vazões na calibração.

## **OBJETIVO**

Aprimorar o processo de calibração automática multiobjetivo do modelo hidrológico distribuído MGB – IPH para a região semiárida, utilizando um método alternativo por fracionamento do hidrograma, com base na comparação entre vazões observadas e calculadas.

## **METODOLOGIA**

### **Área de Estudo**

No presente estudo, a área adotada foi a bacia hidrográfica do rio Piancó, restringindo-se à sub-bacia a montante da estação fluviométrica Piancó no estado da Paraíba, a qual compreende uma área de 4603,39 km<sup>2</sup> (Figura 1). Analisando-se a série histórica de vazões diárias observadas no posto fluviométrico Piancó, constatou-se vazões máximas de 1527 m<sup>3</sup>/s e mínimas que chegam a zero, tendo período chuvoso e de estiagem bem definidos. Entre os meses de janeiro a maio ocorre o período chuvoso e nos meses de junho a dezembro ocorre o período de estiagem. Por apresentarem vazões tão singulares caracterizando a região semiárida, fez-se interessante estudar um modelo que conseguisse interpretar essa localidade.

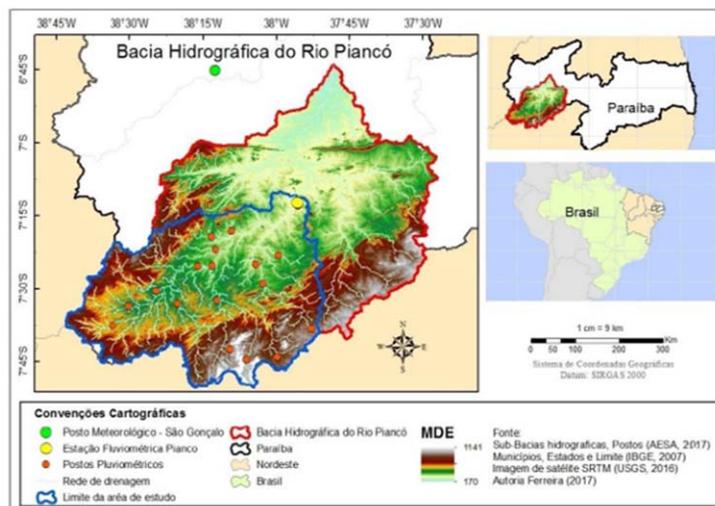


Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó. Fonte: Ferreira (2017).

### O modelo MGB-IPH

Collischonn (2001) desenvolveu o modelo hidrológico distribuído para grandes bacias MGB-IPH, o qual é constituído dos seguintes módulos: evapotranspiração; balanço de água no solo, escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo na célula; e escoamento na rede de drenagem.

A versão original do modelo possui uma discretização da bacia na forma de uma grade regular, na qual as células possuem conexão entre si por uma rede de drenagem. Individualmente a célula da grade é dividida em unidades de respostas hidrológica (URH), não considerando a localização dentro da célula, porém permitindo levar em conta a variabilidade das características físicas da bacia no interior de cada célula. A definição das URHs é em função da combinação das características de uso de solo, cobertura vegetal e tipo de solo (FELIX; PAZ, 2016).

### Compilação da aplicação anterior do MGB-IPH à área de estudo

O primeiro estudo realizado na região semiárida paraibana da bacia hidrográfica do rio Piancó, com aplicação do modelo MGB – IPH foi o de Felix e Paz (2016). O MGB-IPH foi rodado a nível diário para um intervalo de 42 anos (1970 a 2011) selecionados devido à disponibilidade das informações fluviométricas e pluviométricas, com células regulares de  $5 \times 5$  km.

A base de dados sobre precipitação pluviométrica para a região estudada foi obtida no portal eletrônico HidroWEB da ANA (Agência Nacional das Águas), complementada por dados cedidos pela AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba). Os dados meteorológicos (temperatura, umidade, velocidade do vento, insolação e pressão atmosférica) foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para a estação São Gonçalo, localizada cerca de 60 km da área em estudo.

O período de simulação hidrológica foi de 21 anos, sendo a calibração de 1970 a 1990 e a validação de 1991 a 2011. Os autores do estudo referido concluíram, de maneira geral, que o modelo hidrológico distribuído MGB-IPH representa adequadamente as vazões observadas das bacias hidrográficas pertencentes à região semiárida. No entanto, algumas observações foram destacadas, como por exemplo a representação dos picos máximos, que possuem a imprecisão da superestimativa ou de subestimativa, como também, a influência da intermitência dos rios, tendo em vista que o modelo não foi formulado para representar tais características.

### Definição das faixas de vazões do fracionamento

O método alternativo desenvolvido por Paris et al. (2011) baseia-se na ideia de fracionar o hidrograma de entrada para calibrar e simular, separadamente, três faixas de vazões, obtendo um conjunto de parâmetros que represente satisfatoriamente as vazões em cada uma dessas faixas. Para interpretar essa abordagem o código computacional do modelo hidrológico distribuído MGB-IPH foi adaptado para permitir a calibração (FERREIRA, 2017).

A metodologia de Paris et al. (2011) propõe a aplicação de dois métodos diferentes no fracionamento do hidrograma de entrada para definir os limites das faixas de vazões: a primeira forma é pela multiplicação da vazão máxima por coeficientes; a segunda pela utilização da curva de permanência. Nos dois métodos são estabelecidas as três faixas de vazões onde foi adotada a seguinte nomenclatura: Faixa 1 para as vazões “baixas”, Faixa 2 para as vazões “médias” e Faixa 3 para as vazões “altas”, conforme mostra a Figura 2.

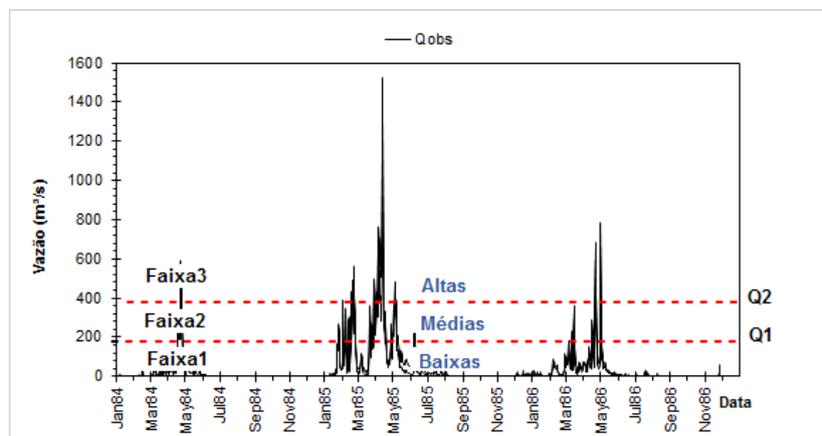


Figura 2. Definição das faixas de vazão para aplicar o fracionamento do hidrograma.

No primeiro método, o valor de referência para o cálculo do limite entre as faixas de vazões altas e de vazões médias (Q2) é o valor da vazão máxima observada da série histórica ( $Q_{m\acute{a}x}$ ). Para o cálculo do limite entre as faixas de vazões médias e baixas (Q1) a referência é o Q2. O limite Q2 é obtido pela multiplicação da ( $Q_{m\acute{a}x}$ ) por um coeficiente entre 0 e 1, chamado de C2. Por sua vez, o limite Q1 é obtido pela multiplicação do Q2 por outro coeficiente, chamado de C1. A escolha dos valores desses coeficientes fica a critério do usuário ao analisar as características da sua série de vazões. No segundo método, o usuário define o Q1 e o Q2 de acordo com a curva de permanência das vazões, que representa a porcentagem do tempo em que uma determinada vazão é igualada ou superada. Nesse procedimento, foram testados os limites de Perm1 (Q1 e Q2) e Perm2 (Q1 e Q2) foram escolhidos conforme as vazões correspondentes: Q5 (5%) e Q25 (25%); Q10 (10%) e Q40 (40%), respectivamente Tabela 1.

Tabela 1. Coeficientes e valores de Q1 e Q2 para fracionamento da série hidrológica.

COEFICIENTES/VAZÕES												
$Q_{m\acute{a}x}$ (m³/s)	C1	C2	Q1 (m³/s)	Q2 (m³/s)	Perm 1	Q1 (%)	Perm 1	Q2 (%)	Perm 2	Q1 (%)	Perm 2	Q2 (%)
1527	0,078	0,078	9,24	118,80	4,05		78,46		0,80		28,98	

### Definição das FO padrão e alternativas

Para se obter uma boa representação da bacia hidrográfica é importante que o modelo hidrológico reproduza satisfatoriamente o regime de vazões observados. Em razão disso, os modelos normalmente são ajustados a partir de comparações entre hidrogramas de saída observados e calculados, verificando diferentes conjuntos de métricas (FO).

A calibração automática multiobjetivo usada nesse estudo consiste em calibrar de forma simultânea o modelo hidrológico com três FO, em que a organização do trio das FO busca retratar diferentes aspectos do regime hidrológico: picos de vazão, vazões de estiagem e volume escoado.

Nesse sentido, para efeito de comparação foram utilizados dois conjuntos de FO. O primeiro conjunto seguiu a abordagem tradicional do modelo conforme proposto por Collischonn (2011) formado pelas equações 1, 2 e 3 expostas na Tabela 2, e o segundo conjunto de FO alternativa consistiu nas equações 4, 5 e 6 conforme Tabela 2 proposto por Ferreira (2017).

O código do modelo MGB-IPH foi utilizado em sua versão original, que possui uma interface de programação em linguagem Fortran, sendo adaptado para utilizar o método alternativo proposto nesse estudo. A adaptação do modelo foi realizada no âmbito do grupo de estudo que desenvolveu a pesquisa, feito por Ferreira (2017). A calibração foi realizada para as três faixas de vazões definidas em alta, média e baixa, e para cada definição das faixas, foram rodadas as calibrações para os dois conjuntos de FO.

**Tabela 2.** Funções objetivo utilizadas na calibração do MGB-IPH.

Nº	NOME	SIGLA	Funções Objetivo Fórmula
1	Coefficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe	NS	$1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Q_{calc(t)} - Q_{obs(t)})^2}{\sum_{t=1}^n (Q_{obs(t)} - \bar{Q}_{obs})^2}$
2	Coefficiente de Nash-Sutcliffe para o logaritmo das vazões	NS <sub>log</sub>	$1 - \frac{\sum_{t=1}^n (\log(Q_{calc(t)}) - \log(Q_{obs(t)}))^2}{\sum_{t=1}^n (\log(Q_{obs(t)}) - \log(\bar{Q}_{obs}))^2}$
3	Erro relativo de volume	ΔV	$\frac{\sum_{t=1}^n (Q_{calc(t)}) - \sum_{t=1}^n (Q_{obs(t)})}{\sum_{t=1}^n (Q_{obs(t)})}$
4	Eficiência Kling-Gupta	EKG	$\sqrt{(r - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + \left(\frac{Q_{calc(t)}}{Q_{obs(t)}} - 1\right)^2}$
5	NS com a média do calendário Diário calculado a partir de valores logarítmicos	NSD <sub>log</sub>	$1 - \frac{\sum_{t=1}^n (\ln(Q_{calc(t)} + 0.001) - \ln(Q_{obs(t)} + 0.001))^2}{\sum_{t=1}^n (\ln(Q_{obs(t)} + 0.001) - \ln(\bar{Q}_{obs}))^2}$
6	Coefficiente de eficiência volumétrica	EV	$1 - \frac{\sum_{t=1}^n  Q_{calc(t)} - Q_{obs(t)} }{\sum_{t=1}^n Q_{obs(t)}}$

Legenda: Q<sub>obs(t)</sub> e Q<sub>calc(t)</sub> são as vazões observadas e calculadas no instante de tempo t, Q<sub>obs</sub> e Q<sub>cal</sub> são as vazões médias observadas, QD é a vazão média diária, r e α são funções objetivo.

**Calibração do modelo MGB-IPH com método do fracionamento**

Após a delimitação dos limites que dividem as faixas de vazões foi realizada a calibração do modelo adaptado para cada faixa de vazões resultando em três séries de vazões calculadas, Qcal<sub>1</sub>, Qcal<sub>2</sub> e Qcal<sub>3</sub>. A série Qcal<sub>1</sub> é melhor ajustada às vazões baixas, Qcal<sub>2</sub> as vazões médias, enquanto que a Qcal<sub>3</sub> às vazões altas.

O critério adotado para a escolha do melhor conjunto de parâmetros em cada faixa de vazão é o seguinte: no ranking de Pareto, dentre os conjuntos de soluções classificados como “1”, escolhe-se o que possuir o menor valor de NSlog. Esse critério foi utilizado, pois todas as

soluções ali contidas são igualmente satisfatórias. Se houver mais de um conjunto de soluções com o mesmo valor da “melhor” função, o critério de desempate é o valor do  $\Delta V$ , ou seja, o erro de volume. Se o empate persistir adota-se o valor do NS.

Ao fim das calibrações resulta em um hidrograma de saída para cada uma das faixas, compondo o hidrograma final pela combinação linear simples entre os três hidrogramas originais, mas com coeficientes de ponderação variando de 0 a 1. Esse cuidado especial deve ser dado devido à transição de uma faixa de vazão para a outra, pois a simples aglomeração das séries pode gerar saltos nos valores das vazões. A composição dos hidrogramas de saída foi dada pela Equação (7) a seguir.

$$Q_{si} = \alpha_1 Q_{1i} + \alpha_2 Q_{2i} + \alpha_3 Q_{3i} \quad (7)$$

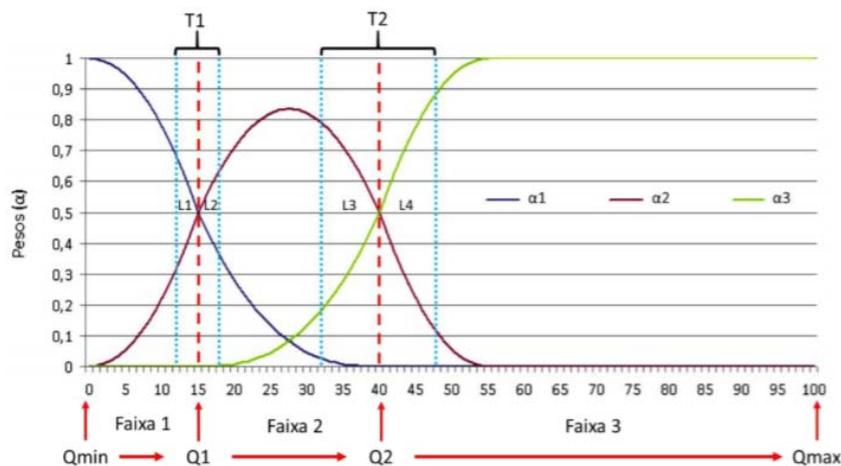
para  $i=1, \dots, n$ , em que  $n$  é o número de intervalos de tempo da série,  $Q_{si}$  é a vazão do hidrograma de saída no instante  $i$ ,  $Q_{1i}$  é a vazão calculada para a faixa 1 no instante  $i$ ,  $Q_{2i}$  é a vazão calculada para a faixa 2 no instante  $i$ ,  $Q_{3i}$  é a vazão calculada para a faixa 3 no instante  $i$  e os valores  $\alpha_1, \alpha_2$  e  $\alpha_3$  são os pesos atribuídos a cada vazão em cada instante.

A definição dos valores dos pesos dos coeficientes ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  e  $\alpha_3$ ) varia segundo as curvas indicadas na Figura 4, que seguem senoides visando suavizar as transições e composições de valores, em que foi considerada uma série com  $Q_{m\acute{a}x} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ . Na Figura 4 também pode ser observada a definição das zonas de transição, T1 (zona de transição 1) e T2 (zona de transição 2), definidas em 20% para ambos os lados de Q1 e Q2 (L1, L2, L3 e L4).

O coeficiente  $\alpha_1$ , por exemplo, foi determinado para ponderar a faixa 1 das vazões baixas, dessa forma o composto depende apenas da calibração nas faixas 1 e 2, sendo maior o peso para a faixa 2 e menor para a faixa 1, ou seja, quando as vazões são superiores ao limite Q1 recebe peso 0 (zero) e quando menores recebe peso 1, se as vazões estiverem dentro da zona de transição (20% para ambos os lados de Q1) o peso é determinado pela aplicação de função linear.

Do mesmo modo, ocorreu com o coeficiente  $\alpha_3$  sendo que quando as vazões eram maiores que o limite Q2 recebe peso 1 e quando menores recebe peso 0, visto que este coeficiente é usado para ponderar a faixa 3, vazões altas. Portanto, o composto depende apenas da calibração nas faixas 2 (menor peso) e 3 (maior peso), se as vazões estivessem dentro da zona de transição (20% para ambos os lados de Q2) o peso também é determinado pela aplicação de função linear. Já o coeficiente  $\alpha_2$  é determinado pela diferença entre os coeficientes  $\alpha_1$  e  $\alpha_3$ .

Para a composição do hidrograma de saída foi utilizado um código computacional rodado em ambiente de programação do software Matlab (MATrix LABoratory). O código foi disponibilizado por Paris et al. (2011), no entanto, para aplicação nesse estudo foram realizadas algumas adaptações pelo do grupo de estudo da pesquisa.



**Figura 3.** Procedimento de composição do hidrograma de saída através funções lineares simples. Fonte: adaptado de Paris et al. (2011).

Foram realizados um total de dois fracionamentos dos hidrogramas das vazões observadas. O fracionamento F3 utilizou as FO padrão e o fracionamento F6 usou as FO alternativas. Para todas as faixas dos fracionamentos foram realizadas a simulação das vazões calculadas através dos parâmetros calibrados e a validação ou verificação que é a fase da simulação em que o modelo calibrado é verificado com outros dados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Comparação das medidas de desempenho entre as vazões observadas e calculadas

As simulações executadas neste estudo pelo método alternativo, em geral, exibiram resultados mais próximos dos dados observados, quando comparados com os resultados da aplicação do método tradicional. Na Tabela 3 observa-se os resultados obtidos pelo modelo na aplicação do método tradicional (Felix e Paz, 2016) e o método alternativo proposto neste estudo, para o período de calibração e validação. Os ajustes foram avaliados utilizando 8 medidas de desempenho, no qual foram destacados os fracionamentos F3 e F6 que apresentaram os melhores desempenhos.

**Tabela 3.** Avaliação dos ajustes dos hidrogramas observados e calculados com os modelos tradicional e alternativo no período de calibração e validação.

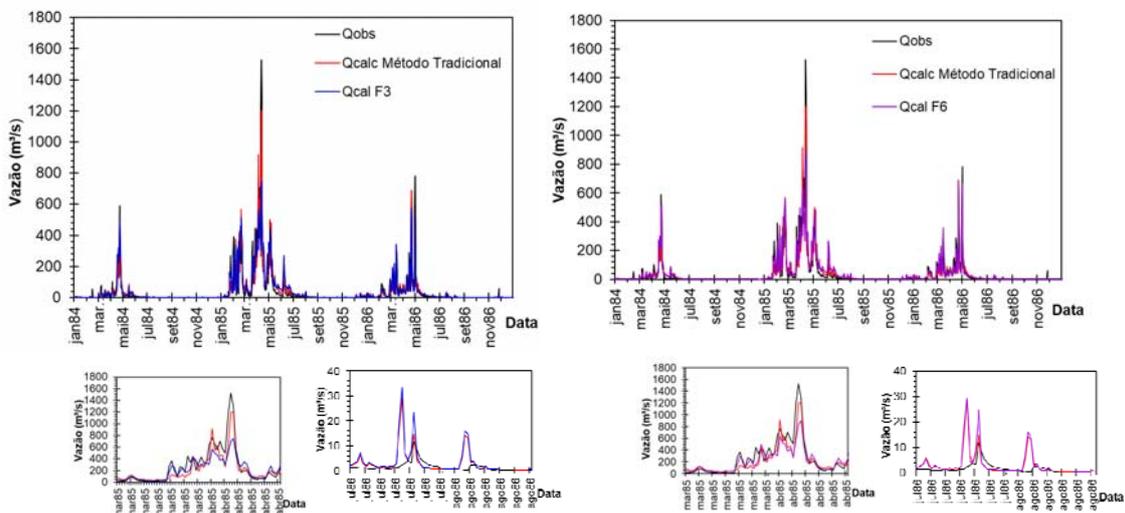
FO	Calibração			Validação		
	Método Tradicional	Método Alternativo		Método Tradicional	Método Alternativo	
		F3	F6		F3	F6
<b>r</b>	<b>0,85</b>	0,9	0,9	<b>0,81</b>	0,92	0,92
<b>NS</b>	<b>0,72</b>	0,81	0,8	<b>0,65</b>	0,84	0,84
<b>Nslog</b>	<b>-0,34</b>	-0,35	-0,34	<b>-0,18</b>	-0,19	-0,19
<b>NSD</b>	<b>0,66</b>	0,77	0,76	<b>0,68</b>	0,86	0,85
<b>EMA</b>	<b>10,01</b>	7,96	8,44	<b>6,81</b>	4,99	5,38
<b>REMQ</b>	<b>33,96</b>	28,07	28,72	<b>29,12</b>	19,45	19,72
<b>ΔV</b>	<b>0,86</b>	9,51	13,35	<b>9,49</b>	14,63	22,02
<b>EV</b>	<b>0,39</b>	0,51	0,48	<b>0,26</b>	0,46	0,42

O método alternativo alcançou vantagem sobre a metodologia tradicional na maioria dos quesitos avaliados. Nota-se que nas 8 medidas de desempenho o método alternativo de calibração aplicado apresentou resultados melhores quando comparados ao método tradicional

de calibração. Paris et al. (2011) em seu estudo na bacia hidrográfica de rio Toropi – RS também constataram que as medidas de desempenho REMQ e  $\Delta V$  mostraram uma melhora de 8,4% e 0,32%, respectivamente, enquanto o NS revelou melhora de 0,092 quando comparados com o método tradicional. Apesar de não ser uma bacia hidrográfica semiárida é evidente a boa performance da aplicação do método alternativo na região.

A Figura 4 ilustra os hidrogramas na bacia hidrográfica do rio Piancó no período entre janeiro de 1970 e dezembro de 1990 obtidos pelo método alternativo de simulação no período de calibração. Nota-se, em geral, que a maioria das vazões simuladas pelo método alternativo relativamente está mais próxima das observadas do que as vazões calculadas pelo tradicional.

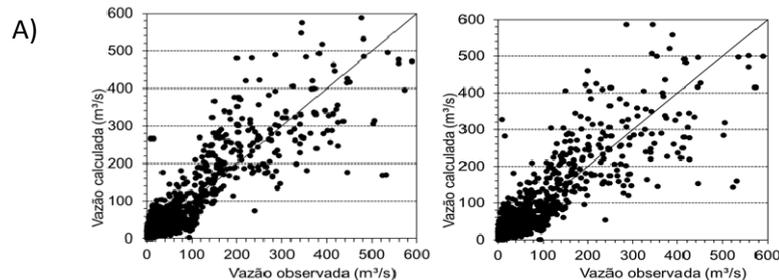
No entanto, com a comparação visual dos hidrogramas percebe-se a dificuldade do modelo na representação das maiores cheias. Estas foram mais sacrificadas pelo método alternativo, havendo subestimação na maioria dos anos (exemplo: cheias de 1880, 1984, 1985 e 1986), mas também superestimação em alguns anos (1971, 1976 e 1977). Percebe-se uma melhora nas estimativas das vazões médias a baixas na maioria dos fracionamentos realizados, principalmente aqueles em que foi usada a combinação de FO alternativa (EKG, NSDlog e EV) e limites  $Q1 = 9,24$  e  $Q2 = 118,80$ .

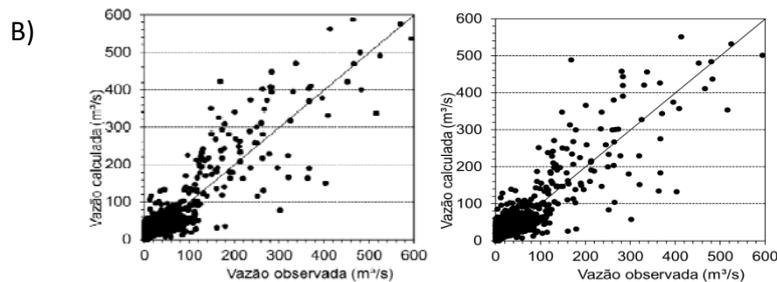


**Figura 4.** Comparação entre hidrogramas observados e calculados (F3) e (F6) em parte do período de calibração.

#### Análise da dispersão entre vazões diárias calculadas versus observadas

A Figura 5 apresenta a dispersão entre as vazões calculadas e observadas dos fracionamentos F3 e F6 no período de calibração e validação, respectivamente. Na análise foi possível visualizar que em ambos os períodos as vazões menores que  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  foram bem representadas pelo MGB-IPH para o rio Piancó em todos os fracionamentos.





**Figura 5.** Vazões diárias calculadas versus observadas para o período de calibração e validação pelo método alternativo: (A) F3 e (B) F6.

## CONCLUSÕES

Conclui-se que o modelo hidrológico distribuído MGB-IPH caracteriza adequadamente o padrão do regime de vazões observadas na bacia hidrográfica. Com a aplicação do método de fracionamento do hidrograma das vazões observadas, foi possível observar que embora sejam pequenas as diferenças entre os fracionamentos, os melhores resultados foram obtidos utilizando a combinação de funções objetivo: EKG, NSDlog e EV. Os coeficientes das medidas de desempenhos do método alternativo se sobressaíram quando comparados ao método tradicional. Embora, ainda foi verificada certa dificuldade em representação a intermitência do rio Piancó.

## REFERÊNCIAS

- ADAM, K. N.; FAN, F. M.; PONTES, P. R.; BRAVO, J. M.; COLLISCHONN, W. Mudanças climáticas e vazões extremas na Bacia do Rio Paraná. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 999-1007, 2015. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n4.p999-1007>
- ARAUJO, A. S. **Calibração do modelo MGB-IPH na bacia hidrográfica do rio apodi-mossoró**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 20p, 2017.
- BRAVO, J. M.; ALLASIA, D.; PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Coupled hydrologic-hydraulic modelling of the Upper Paraguay River Basin. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 17, n. 5, p. 635-646, 2012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.19435584.0000494](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.19435584.0000494)
- COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). UFRGS. Porto Alegre, 2001.
- FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. Integração do Modelo MGBIPH com Sistema de Informação Geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 243-254, 2014. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v19n1.p243-254>
- FELIX, W. S.; PAZ, A. R. Representação dos processos hidrológicos em bacia hidrográfica do semiárido paraibano com modelagem hidrológica distribuída. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos- RBRH**, v. 21, p. 1-14, 2016.
- FERREIRA, P. M. L. **Influência da seleção das funções objetivo na calibração do modelo hidrológico distribuído MGB-IPH**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). UFPB, João Pessoa, 2017.
- LIMA SOBRINHO, M. A. **Avaliação dos efeitos da disponibilidade espacial e temporal dos dados hidrológicos sobre a calibração de um modelo distribuído na bacia do rio Ipanema**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2012.

MULETA, M. K. Model Performance Sensitivity to Objective Function during Automated Calibrations. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 17, n. 6, p. 756-767, 2012.

NEGREIROS, B. M. F.; **Aplicação do modelo hidrológico MGB-IPH na bacia hidrográfica do rio Seridó**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

PARIS, A.; OLIVEIRA, G. G.; BAYER, D. M.; COLLISCHONN, W. Método alternativo de calibração e simulação de modelos hidrológicos baseado no fracionamento do hidrograma. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH, 2011, Maceió – AL. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011.

PLANO de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2016.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS ABRH GWP, 2005. v. 1.