

## INFLUÊNCIA DA TÉCNICA DE REMOÇÃO DE VIÉS APLICADA EM ESTUDOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA BACIA DO RIO URUGUAI

*Katiucia Nascimento Adam<sup>1\*</sup>; Walter Collischonn<sup>2</sup>; Fernando Fan<sup>2</sup>; Juan Martin<sup>2</sup>*

**Resumo** – Modelos climáticos não conseguem representar perfeitamente o clima, logo seus resultados apresentam erros. Alguns destes erros são sistemáticos e causados por uma imperfeita conceptualização dos fenômenos e processos que governam o clima. Técnicas de remoção de viés são empregadas para corrigir as variáveis climatológicas evitando que tais vieses sejam propagados a simulação hidrológica. Este trabalho avaliou a influência de técnicas de remoção de viés aplicadas em estudos de mudanças climáticas para a bacia hidrográfica do Rio Uruguai. Para tanto, projeções diárias de clima do modelo climático regional ETA/CTEP em quatro diferentes horizontes de tempo foram corrigidas por três metodologias de remoção de viés: Mapeamento Quantil-Quantil, Escalonamento Linear e Técnica Delta Change. O Modelo Hidrológico MGB/IPH previamente calibrado foi utilizado para simulação utilizando como dados de entrada as séries obtidas. Os resultados foram avaliados em termos de vazões mínimas, médias e máximas anuais. Um teste de hipóteses foi aplicado para avaliar quanto às diferenças entre as séries de vazões geradas são estatisticamente significativas. Para as séries de vazões mínimas e médias os resultados em termos de diferença entre séries demonstraram ser irrelevantes. As vazões máximas apresentam maiores diferenças. No entanto, não são significativas de acordo com o método de hipóteses aplicado.

**Palavras-Chave** – Remoção de viés, mudanças climáticas, modelagem hidrológica

## INFLUENCE OF BIAS CORRECTION TECHNIQUE APPLIED IN STUDIES OF CLIMATE CHANGE ON THE URUGUAY RIVER BASIN

**Abstract** – Climate models cannot perfectly represent the climate and its results have errors (bias). These errors are systematic and caused by a faulty conceptualization of the phenomena and processes that govern the climate and the influence of the spatial discretization models. To prevent these errors are propagated to hydrological simulation, bias removal techniques are employed to correct the climatological variables. This study evaluated the influence of bias removal techniques used in climate change studies, and as a case study the basin of the Rio Uruguay. Therefore, daily projections derived climate regional climate model ETA/CTEP in four different time horizons were corrected for three bias removal methods: Quantile-Quantile Mapping, Linear Scaling and Delta Technical Change. The Hydrological Model MGB / IPH calibrated was used for simulation using the series as input data obtained. The results were evaluated in terms of minimum flows, average and maximum annual. A hypothesis test was used to assess the differences between the series of generated flows are statistically significant. For the series of minimum and average flow rates results in terms of difference between series proved to be irrelevant. The maximum flows present major differences. However, there are not significant according to the method applied hypotheses.

**Keywords** – bias correction, climate change, hydrological modeling.

<sup>1</sup> Universidade Feevale; katiucia@feevale.br.

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisa Hidráulicas (IPH) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

## INTRODUÇÃO

Modelos Climáticos Regionais (RCM's) são ferramentas amplamente utilizadas em estudos de impactos de mudanças climáticas sobre os recursos hídricos. No entanto, tais modelos não conseguem representar perfeitamente o clima e seus resultados apresentam erros, ou vieses que segundo Teutschbein e Seibert (2012), são sistemáticos e causados por uma imperfeita conceptualização dos fenômenos e processos que governam o clima além da influência da discretização espacial dos modelos.

Para evitar que estes vieses sejam propagados à simulação hidrológica, diferentes metodologias de remoção de viés (RV) têm sido desenvolvidas para aplicação em projeções de modelos climáticos. Estes métodos vão desde a aplicação de escalonamento simples a metodologias mais complexas como o mapeamento quantil-quantil, regressão linear múltipla, métodos analógicos, equalização de histograma, dentre outros (e.g. Lafon et al., 2013; Chen et al. 2013).

Neste contexto, este trabalho investigou qual a influência da técnica de remoção de viés nas variáveis climatológicas aplicada em estudos de mudanças climáticas, tendo como produto final as séries de vazões para a bacia do Rio Uruguai. Para tanto foram utilizadas projeções climáticas diárias do modelo climático regional ETA/CPTEC corrigidas por três metodologias de remoção de viés: Mapeamento Quantil-Quantil, Escalonamento Linear e a Técnica de Delta change. O Modelo Hidrológico de Grandes Bacias MGB/IPH foi utilizado para simulação das vazões.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de Estudo

Neste trabalho, a bacia hidrográfica do rio Uruguai (BHRU) foi delimitada desde as cabeceiras dos rios Pelotas e Canoas até a confluência com o rio Ijuí (inclusive), totalizando uma área de drenagem de 110.000 km<sup>2</sup>. Abrangendo os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, esta região apresenta importância para o país em função das atividades agroindustriais desenvolvidas e do seu uso hidrelétrico. A Figura 1 apresenta a localização da região de estudo assim como os pontos de análise. Estes pontos estão localizados nos principais rios da área em estudo, como descrito na Tabela 1. Cada um destes pontos é exutório de uma sub-bacia correspondente o todo trecho de rio que contribui para o ponto em análise.

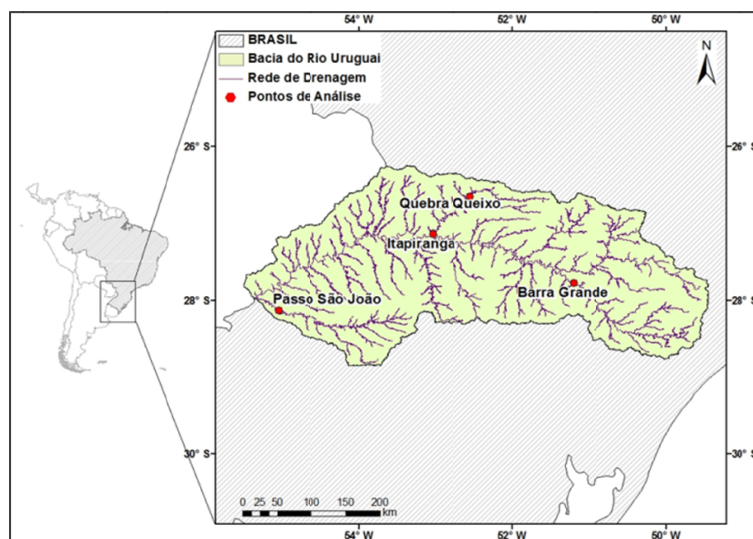


Figura 1 – Localização Bacia hidrográfica do Rio Uruguai e pontos de análise.

Tabela 1 – Identificação dos pontos analisados na BHRH

Sub-bacia	Latitude	Longitude	Rio Principal
Barra Grande	-27,776	-51,195	Pelotas
Quebra Queixo	-26,656	-52,546	Chapecó
Itapiranga	-27,163	-53,683	Uruguai
Passo São João	-28,139	-55,049	Ijuí

### Modelo Regional ETA/CPTEC

O modelo ETA/CPTEC (ETA) é um Modelo Climático Regional (RCM) que utiliza resultados do GCM HadCM3 como condição de contorno e foi adaptado para gerar cenários de mudanças climáticas (Chou et al, 2011) e projeções das seguintes variáveis climáticas utilizadas pelo MGB-IPH foram consideradas: temperatura do ar a 2 metros acima da superfície da terra ( $^{\circ}$  C); temperatura do ponto de orvalho a 2 metros acima da superfície da Terra ( $^{\circ}$  C); pressão atmosférica na superfície da Terra (hPa); precipitação total (mm); vento a 10 m (m/s); radiação incidente médio e de ondas curtas na superfície da terra ( $W/m^2$ ).

Estas variáveis foram disponibilizadas, em intervalo de tempo diário, em quatro diferentes horizontes de tempo: Período Atual (1961 a 1990); Futuro 1 (2011 a 2040); Futuro 2 (2041 a 2070) e Futuro 3 (2071 a 2099). A resolução espacial do modelo é de 40 km. Todas as rodadas deste RCM foram obtidas considerando o cenário de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) A1B do AR4.

### Modelo Hidrológico MGB/IPH

O modelo hidrológico de grandes bacias MGB-IPH, descrito em Collischonn et al. (2007), é um modelo distribuído composto dos seguintes módulos: balanço de água no solo; evapotranspiração; escoamentos superficial, subsuperficial e subterrâneo; e escoamento na rede de drenagem.

Para calibrar o modelo foram utilizados dados diários de vazões naturalizadas obtidas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) nos locais de interesse (ONS, 2005). Para a calibração do modelo MGB-IPH, foram utilizados dados observados de 1960 a 1990. Para a etapa de verificação foram utilizados dados de 1992 a 1999. Com base na comparação de vazões observadas e simuladas, medidas de desempenho foram avaliadas: o coeficiente de Nash-Sutcliffe das vazões (NS), o coeficiente de Nash-Sutcliffe dos logaritmos das vazões (NSLog) e o erro relativo de volume ( $\Delta V$ ).

### Técnicas de Remoção de Viés

**(A) Mapeamento Quantil-Quantil:** descrita em Bárdossy and Pegram, (2011) este método é baseado na comparação das funções cumulativas de probabilidade da variável observada e da variável estimada por um modelo climático no período atual e futuro.

**(B) Escalonamento Linear:** descrito em Lenderink et al., (2007) este método é baseado no cálculo de um coeficiente de correção a partir das diferenças entre as normais climatológicas observadas e estimadas pelos modelos climáticos no período atual.

**(C) Delta change:** A ideia central deste método é não utilizar as séries de clima obtido diretamente dos modelos climáticos regionais ou globais, e sim gerar uma nova série baseada no cálculo de anomalias (delta) entre as séries de clima atual e períodos futuros gerados pelo modelo climático (Gellens e Roulin, 1998). O valor da anomalia, ou delta, é posteriormente utilizado para perturbar a série observada da variável no período atual gerando a série a ser utilizada nos períodos futuros. Este método, apesar de amplamente utilizado, apresenta a desvantagem de ser limitado a estudo de

vazões médias, portanto neste trabalho não será aplicado aos valores extremos de vazão (máximos e mínimos).

## ANÁLISES

Neste trabalho as três metodologias de remoção de viés foram aplicadas às projeções dos modelos climáticos:

**(a) Remoção de Viés 1 (RV1)** - conjunto de projeções do modelo ETA/CPTEC corrigidas da maneira seguinte: séries de precipitação corrigidas pela técnica de mapeamento quantil-quantil, sendo as demais variáveis climatológicas corrigidas por escalonamento linear. Aplicada para os períodos atual, Futuro 1, 2 e 3.

**(b) Remoção de Viés 2 (RV2)** - conjunto de projeções do modelo ETA/CPTEC corrigidas da maneira seguinte: séries de precipitação e demais variáveis climatológicas corrigidas pela técnica de escalonamento linear. Aplicada o período atual, Futuro 1, 2 e 3.

**(c) Remoção de Viés 3 (RV3)** - conjunto de projeções do modelo ETA/CPTEC corrigidas pelo método delta change. Neste caso esta técnica foi aplicada a todas as variáveis (normais climatológicas e precipitação). O período de referência utilizado foi o ETA\_ATUAL gerando séries para Futuros 1, 2 e 3;

O ajuste do modelo hidrológico MGB/IPH foi realizado com base em dados observados de clima e vazão. Em seguida o modelo foi utilizado para simulação das variáveis de clima oriunda do modelo ETA/CPTEC para os quatro diferentes períodos de tempo e respectivas técnicas de remoção de viés. Neste caso as variáveis de entrada utilizadas pelo MGB-IPH foram geradas com o modelo regional ETA/CPTEC.

As séries de vazões diárias obtidas foram avaliadas quanto às vazões máximas e mínimas quando utilizado os métodos RV1 e RV2. Ainda as vazões médias anuais são analisadas comparando os três métodos de remoção de viés utilizados. O esquema geral da metodologia é apresentado na Figura 2.

Para analisar quanto as diferenças entre as séries são estatisticamente significativas, um teste de hipótese Kolmogorov-Smirnov (KS) para duas amostras (Lehmann, 2006) foi aplicado. O método KS compara as funções cumulativas de probabilidade e visa a concordância entre dois conjuntos de valores amostrais.

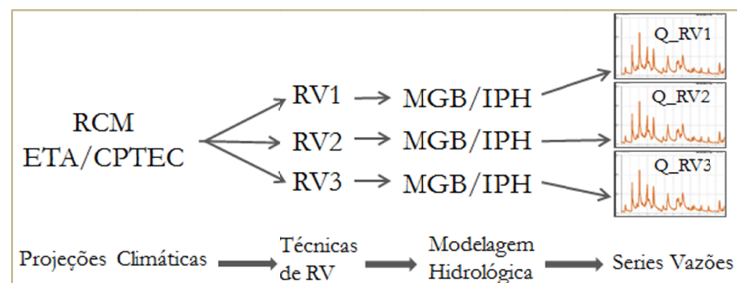


Figura 2 – Esquema metodológico.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Ajuste do Modelo Hidrológico

Os resultados da calibração e verificação do modelo hidrológico são apresentados, respectivamente, na Tabela 2. Estes foram considerados satisfatórios, pois os coeficientes NS e

NSlog se mantiveram geralmente acima de 0,8 (com exceção de NSlog 0,70 e 0,65 em Quebra Queixo) e os erros do volume próximos de zero, não maiores do que 10%.

Tabela 2 - Medidas de desempenho nos diferentes pontos em análise no período de calibração e verificação

Pontos de Análise	Medidas de Desempenho					
	Calibração 01/01/60 a 31/12/90			Verificação 01/01/92 a 21/12/99		
	NS	NSlog	V(%)	NS	NSlog	V(%)
Barra Grande	0,90	0,88	2,2	0,90	0,91	3,7
Quebra Queixo	0,81	0,70	5,2	0,80	0,65	-9,8
Itapiranga	0,95	0,91	-0,3	0,95	0,95	2,5
Passo São João	0,90	0,87	-2,5	0,89	0,80	-5,1

### Análises de Estatísticas das Projeções de Vazões

Após a simulação hidrológica das projeções de clima, obtidas com o modelo ETA/CPTEC, foram geradas séries de vazões máximas, médias e mínimas anuais para cada período de tempo.

As Figuras 3 e 4 mostram, respectivamente, a comparação entre RV1 e RV2, em termos de vazão máxima e mínima anual, na sub-bacia do Itapiranga. Observa-se que ocorrem diferenças de magnitude entre as séries geradas pelo método de RV1 (Quantil-Quantil) e RV2 (Escalonamento Linear). O método RV1 apresenta os maiores valores de vazão. Isto acontece porque este método valoriza mais as correções quando os valores de chuva são mais extremos e a diferença entre os valores observados e simulados é maior, com base na distância entre as curvas de probabilidades acumuladas. Já o método RV2 do escalonamento linear tende a valorizar eventos mais extremos da mesma forma que eventos mais comuns, já que ele multiplica toda a série por um mesmo valor de coeficiente mensal de correção.

O mesmo resultado mostrado para Itapiranga foi encontrado também nos demais pontos analisados, indicando que a variabilidade espacial da BHRU não exerceu influência sobre o resultado final.

Para as vazões médias, além de RV1 e RV2 foi acrescentado o conjunto denominado RV3. Este último refere-se à técnica de *delta change*, que não permite aplicação às séries de vazões máximas e mínimas, pois o *delta change* usa a série do período atual projetada para o futuro, e assim as cheias e secas na verdade são uma repetição modificadas das cheias e secas do período atual.

A Tabela 4 apresenta o sumário estatístico para todos os intervalos de tempo, em termos de vazões médias anuais (RV1, RV2 e RV3) na sub-bacia Itapiranga.

Tabela 4– Sumário estatístico das séries de vazões médias anuais em m<sup>3</sup>

Estatística	Técnica Remoção RV1				Técnica Remoção RV2				Técnica Remoção RV3			
	Sub-bacia Itapiranga											
	Atual	Fut1	Fut2	Fut3	Atual	Fut1	Fut 2	Fut 3	Fut1	Fut2	Fut3	
P5%	634.3	752.7	906.7	1123	682.9	757.	918.3	1077	1085	1445	1588	
Med	1995	2495	3080	3674	1772	2293	2810	3253	2409	2787	3183	
P95%	4489	4379	4963	5104	3888	3876	4315	4535	4651	5073	5869	

P5%: percentil 5%; P95%: percentil 95%; Med:médias.

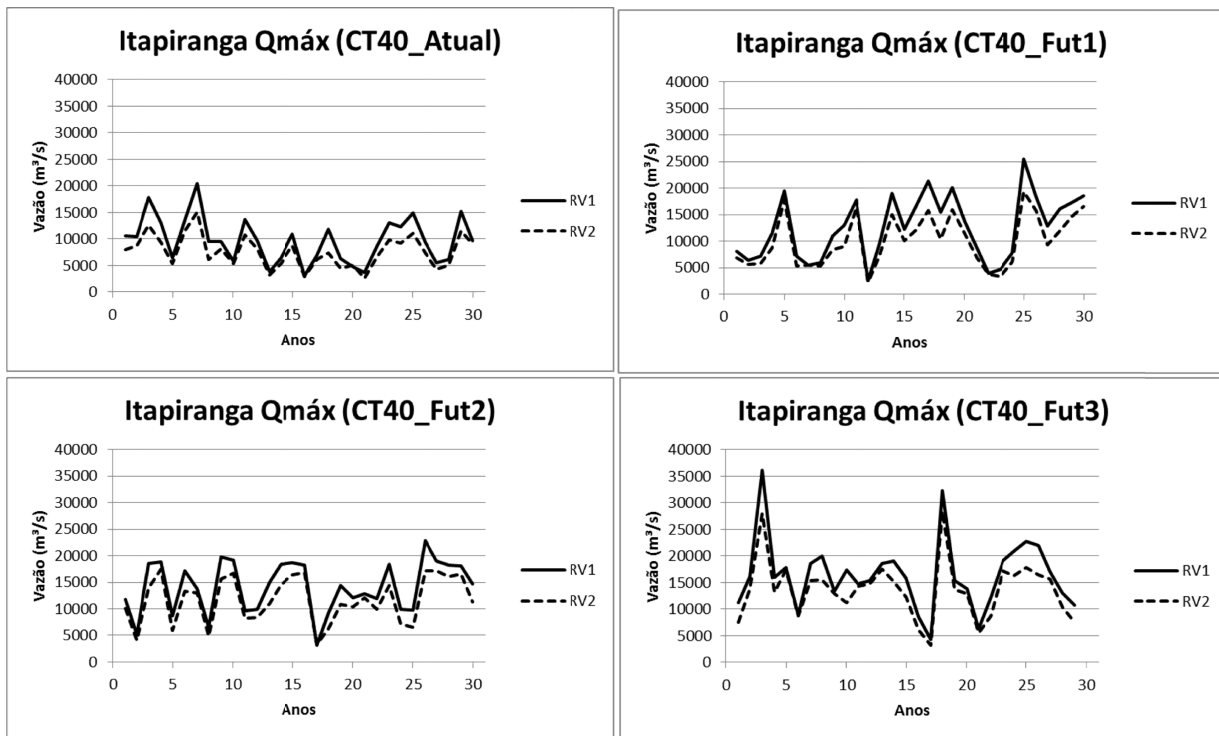


Figura 3 – Comparação entre as vazões máximas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Itapiranga.

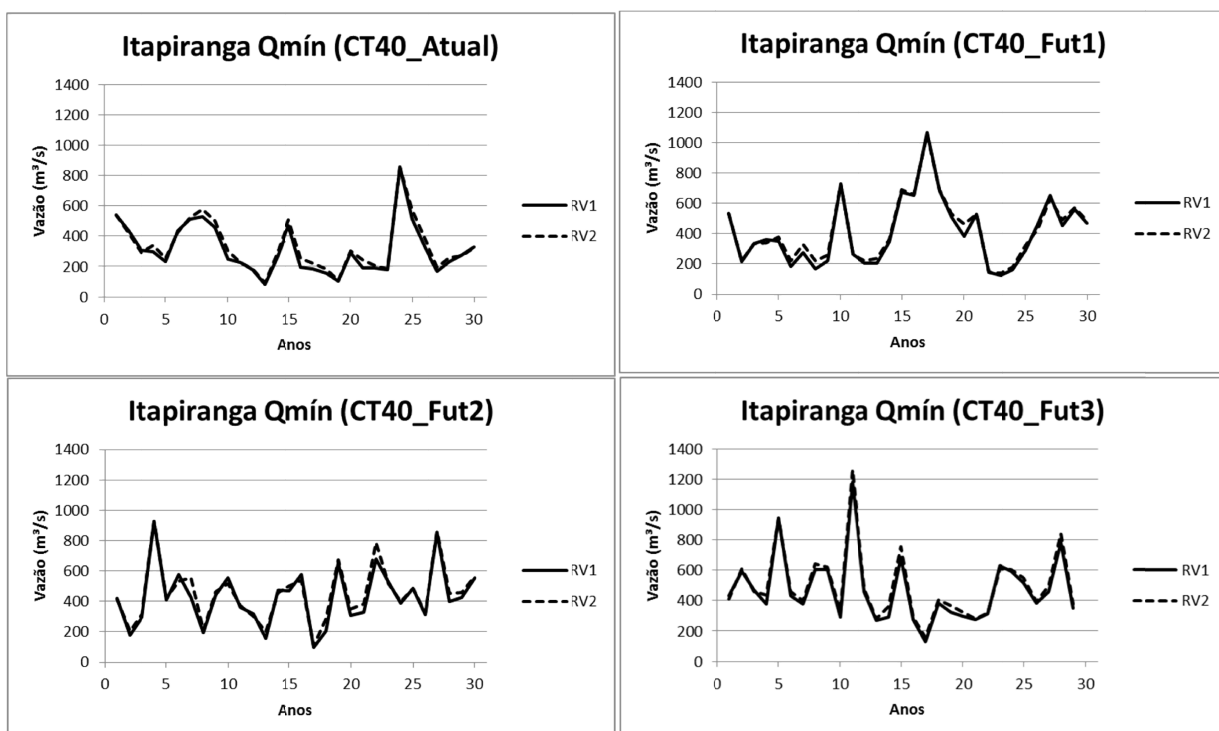


Figura 4 - Comparação entre as vazões mínimas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Itapiranga.

Até aqui é possível afirmar que as séries máximas podem ser mais afetadas pelo método de remoção de viés aplicado. No entanto, apesar da diferença observada nas séries da Figura 3, é importante avaliar o quanto estas diferenças entre magnitudes de vazão podem ser significativas.

Para tanto, o teste de hipóteses de Kolmogorov-Smirnov (K-S Teste) para duas amostras foi realizado para as séries de vazões máximas anuais obtidas por RV1 e RV2, onde o valor de  $h$  representa a aceitação ( $h=0$ ) ou rejeição ( $h=1$ ) da hipótese nula. O teste KS fornece o parâmetro valor de prova (p-value ou significância), que pode ser interpretado como a medida do grau de concordância entre os dados e a hipótese nula ( $H_0$ ). Quanto menor for o  $p$ , menor é a consistência entre os dados e a hipótese nula. Então, a regra de decisão adotada é: (i) se  $p \leq \alpha$ , rejeita-se  $H_0$ ; (ii) se  $p > \alpha$ , não se rejeita  $H_0$ . A variável  $D$  é a estatística do teste e representa a maior distância em termos de probabilidade, encontrada entre as curvas acumuladas em análise.  $D$  e  $p$  se relacionam da seguinte maneira: quando  $p$  é pequeno  $D$  é grande, dessa forma o valor de  $p$  representa o risco em rejeitar a hipótese nula. Os resultados estão apresentados na Tabela 3 para o nível de significância  $\alpha = 0,05$ .

Tabela 3 – K-S Teste para duas amostras. Comparação entre RV1 e RV2 para vazões máximas (Qmáx)

Sub-bacia Barra Grande					
Qmáx	h*	Atual	Fut1	Fut2	Fut3
		<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
	p	0.05	0.05	0.01	0.38
	D	0.43	0.33	0.40	0.28
Sub-bacia Quebra Queixo					
Qmáx	h	Atual	Fut1	Fut2	Fut3
		<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
	p	0.02	0.34	0.03	0.51
	D	0.43	0.23	0.37	0.21
Sub-bacia Itapiranga					
Qmáx	h	Atual	Fut1	Fut2	Fut3
		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
	p	0.06	0.34	0.03	0.18
	D	0.33	0.23	0.37	0.28
Sub-bacia Passo São João					
Qmáx	h	Atual	Fut1	Fut2	Fut3
		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	p	0.54	0.11	0.11	0.10
	D	0.20	0.30	0.30	0.31

\* $h$  é o resultado do teste ( $H_0$  = ambas as amostras vêm da mesma distribuição;  $h = 1$ , rejeitar  $H_0$ ;  $h = 0$ , nenhuma evidência estatística para rejeitar  $H_0$ );  $p$  é o valor  $P$  e  $D$  é a estatística do teste.

Analisando os valores da Tabela 3 percebe-se que na maioria dos casos a hipótese nula ( $h=0$ ) é aceita, indicando que não há evidência estatística suficiente para afirmar que a hipótese nula é falsa, ou seja, que os métodos analisados são diferentes. Este fato é refletido também pelo valor  $p$  muito alto, indicando que não é seguro rejeitar a hipótese nula sem que se cometa um erro muito grande.

A hipótese nula foi rejeitada ( $h=1$ ) apenas para as séries de vazões máximas em alguns locais. Na sub-bacias Barra Grande a hipótese nula foi rejeitada para os períodos Atual e Fut 2, e neste caso observa-se que os valores de  $p$  são baixos e bastante próximos ao nível de significância estabelecidos pelo teste ( $\alpha=0,05$ ). O mesmo ocorre na sub-bacia Quebra Queixo (período Atual) e sub-bacia Itapiranga (Fut2). Este valor baixo de  $p$  indica que o risco em rejeitar  $h=1$  é pequeno, logo, poder-se-ia considerar para estes casos, que as diferenças são significativas.

## CONCLUSÃO

Este trabalho comparou três diferentes técnicas de remoção de viés: Método Quantil-quantil, Escalonamento Linear e Delta change em termos de séries de vazões anuais máximas e mínimas, assim como as médias mensais.

Para as séries de vazões mínimas e médias os resultados, em termos de diferença entre séries, demonstraram ser irrelevantes. As vazões máximas apresentam maiores diferenças em magnitude. No entanto, não são significativas de acordo com o método de hipóteses (KS Teste) aplicado.

Os resultados mostram que a influência do método de remoção de viés aplicado foi pouco relevante dentro da metodologia proposta.

Finalmente, ressalta-se que é importante considerar que este estudo não é definitivo, pois foi testada apenas uma bacia hidrográfica (BHRU) e três técnicas de RV. Assim, sugere-se que a realização de mais estudos pode auxiliar na confirmação dos resultados encontrados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BÁRDOSSY, A. & PEGRAM, G. Downscaling precipitation using regional climate models and circulation patterns toward hydrology. *Water Resources Research*, v.47, doi:10.1029/2010WR009689. 2001.

CHEN, J., BRISSETTE, F. P., CHAUMONT, D., and BRAUN, M.: Finding appropriate bias correction methods in downscaling precipitation for hydrologic impact studies over North America, *Water Resour. Res.*, 49, 4187–4205, doi:10.1002/wrcr.20331, 2013.

CHOU, S. C. et al. (2011). Downscaling of South America present climate driven by 4memberHadCM3 runs. *Climate Dynamics*. DOI 10.1007/s00382-011-1002-8.

COLLISCHONN, W., ALLASIA, D. G., SILVA, B. C., AND TUCCI, C. E. M. (2007) The MGBIPH model for large scale rainfall-runoff modeling. *Hydrolog. Sciences Journal*, 52(5), 878–895, doi:10.1623/hysj.52.5.878.

GELLENS, D.; ROULIN, E. (1998). Streamflow response of Belgian catchments to IPCC climate change scenarios. *Journal of Hydrology*, v. 210 (1-4), p. 242–258.

LAFON, T.: Bias correction of daily precipitation simulated by a regional climate model: a comparison of methods, *Int. J. Climatol.*, 33, 1367–1381, doi:10.1002/joc.3518, 2013.

LEHMANN, E.: *Nonparametrics: Statistical methods based on ranks*. ISBN: 978-0387352121, 2006.

LENDERINK, G., BUIHAND, A., VAN DEURSEN, W. Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11 (3), 1145–1159, 2007.

ONS (2005). *Estudos de Consistência e Reconstituição de Séries de Vazões Naturais na Bacia do Paraná: Relatório Final*.

TEUTSCHBEIN, C. and SEIBERT, J.: Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: review and evaluation of different methods, *J. Hydrol.*, 456–457, 12–29, doi:10.1016/j.jhydrol.2012.05.052, 2012.