

MODELO DE PREVISÃO DE VAZÕES EM TEMPO ATUAL

Dante G. Larentis¹ & Carlos E. M. Tucci²

Resumo - A previsão de vazões em tempo real em trechos de rio tem sido realizada com modelos baseados na regressão entre as variáveis de montante e jusante. O ajuste é feito com um ou mais eventos e a previsão se baseia nos parâmetros do ajuste e na atualização dos mesmos em tempo real. A dificuldade deste tipo de modelo está em escolher qual deve ser o conjunto de parâmetros do ajuste a ser utilizados na previsão de determinado evento.

Neste artigo é utilizado o conceito de incerteza para a definição da previsão em tempo real. Em cada intervalo de previsão são utilizados os parâmetros de todos os eventos de ajuste (que são atualizados em tempo real) e realizada a previsão. Para o conjunto dos valores previstos é ajustada uma distribuição estatística, obtendo-se o valor esperado e a banda de confiança. Através desta são transferidas para a previsão as incertezas da referida escolha.

Este procedimento foi aplicado a um trecho do rio Uruguai entre Garruchos e Uruguiana, mostrando que os resultados são consistentes com as incertezas, permitindo uma melhor definição do intervalo de confiança da previsão.

Abstract - The real time flow forecasting in stream reaches has been realized through a regression equation between upstream and downstream based-models. Fit is done in one or more flow events and forecasting is based both in the fitted parameters and in your real time update. The difficulty met in this type of model is what the set of parameters we have to choose to make a given forecasting.

This paper treats about the uncertainty concept to define the real time flow forecasting where in each forecast time interval, the parameters of all events used in the model fitting (that are updated in real time) are took in account and so the forecasting is achieved. To the group of forecasted values is fitted a statistical distribution gives an expected value and a respective confidence intervals. Through these, the uncertainties of the previous referred choose are transferred to the forecasting.

¹ Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre - RS. Fone: (51) 91214553 - dlarentis@terra.com.br.

² Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre - RS. Fone: (51) 33166408 - cementucci@uol.com.br.

This procedure was applied in a reach of Uruguai river between Garruchos and Uruguiana, shows that results are consistent regarding the uncertainties, allowing a better definition to the confidence intervals of the forecasting.

Palavras-chave - previsão de vazões, intervalos de confiança, modelo hidrológico.

INTRODUÇÃO

A qualquer resultado de um modelo de previsão de vazões está associado um grau de incerteza que pode ser devido à: erros de medição de variáveis de entrada e saída e a própria variação em função do caráter aleatório destas variáveis; incapacidade do modelo em representar o sistema; procedimento de estimativa dos parâmetros.

A previsão de vazões pode ser realizada a curto prazo, em períodos de algumas horas ou dias, ou a longo prazo, até alguns meses. A previsão de vazão em tempo real, ou a curto prazo, pode ser feita a partir da precipitação, com base em uma vazão de um posto à montante ou da combinação das duas. No caso com base em posto de montante, em rios de porte médio e grande, a previsão apresenta bons resultados com o uso de equações que se baseiam na diferença no tempo das variáveis envolvidas (vazão de montante e jusante) (Tucci, 1998). Estes modelos utilizam um ou mais eventos para ajuste e na previsão devem iniciar com os parâmetros do ajuste e sua matriz de dados. Caso a matriz seja muito grande (vários eventos) a atualização em tempo real tem uma inércia muito grande. Para evitar isto são escolhidos eventos representativos, mas sempre existe a incerteza de escolher o evento adequado para a inundação que está iniciando.

Neste artigo são utilizados conceitos de incerteza para estimar a vazão esperada e seu intervalo de confiança através da propagação das incertezas dos eventos para cada intervalo de tempo de previsão.

METODOLOGIA

O modelo PREV

O modelo Prev, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, utiliza um modelo linear empírico concentrado, que estabelece para a previsão a relação entre uma vazão em um tempo futuro e a diferença entre as vazões atual e de um intervalo de tempo anterior, chamado de Modelo de Diferenças. Podemos expressá-lo da seguinte forma:

$$\Delta Q_{t+\tau} = a\Delta I_t + b\Delta Q_t$$

onde $\Delta Q_{t+\tau} = Q_{t+\tau} - Q_t$, $\Delta I_t = I_t - I_{t-\tau}$ e $\Delta Q_t = Q_t - Q_{t-\tau}$.

A equação de previsão então resulta:

$$Q_{t+\tau} = Q_t + \Delta Q_{t+\tau}$$

Os parâmetros a e b podem ser estimados com base na equação de Manning ou por mínimos quadrados, como se fez neste estudo e o parâmetro τ representa a defasagem entre a entrada de uma nova variável no modelo e a última previsão, também chamada de *lag*.

Utilizando o método dos mínimos quadrados, os valores de a e b são determinados com base numa matriz de dados que depende do número de intervalos de tempo (Tucci,1998). Na previsão em tempo real esta matriz é acrescida dos novos valores recebidos pelo monitoramento durante a previsão e atualizados os valores de a e b . Caso fossem utilizados todos os eventos do passado para determinar a e b , a matriz seria muito grande e não seria realizada a atualização, pois um novo valor mudaria muito pouco os parâmetros, dando pouca flexibilidade a previsão.

Metodologia de Previsão

Considere o conjunto de parâmetros a_i e b_i , correspondente ao evento i , obtidos pelo ajuste aos dados observados. Considerando que $i = 1, 2, \dots, n$, existirão n conjunto de parâmetros.

Na fase de previsão, para o intervalo de tempo $t + \tau$, são determinadas n previsões $Q_{t+\tau}^i$. Estes valores são ajustados a um distribuição estatística e obtidos o valor esperado e a banda de confiança desejada. Para um intervalo de tempo seguinte, uma vez recebido o valor previsto, os parâmetros a_i e b_i são atualizados, em cada conjunto independentemente, sendo realizada a próxima previsão. Desta forma, é possível manter a flexibilidade da atualização e transferir para a previsão incerteza da escolha do evento.

Estatísticas de avaliação

Uma estatística bastante utilizada para verificar a qualidade de um ajuste é o coeficiente de Nash, que pode ser expresso matematicamente por

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Q_{o_{i+\tau}} - Q_{c_{i+\tau}})^2}{\sum (Q_{o_{i+\tau}} - \bar{Q})^2},$$

onde $Q_{o_{i+\tau}}$ e $Q_{c_{i+\tau}}$ são as vazões observada e calculada, respectivamente, e \bar{Q} é a vazão média. Esta equação compara a redução do desvio quadrático do erro do modelo com o desvio quadrático do modelo alternativo de se prever sempre a média, o que não faz nenhum sentido. Na pior das hipóteses o modelo alternativo seria o de usar o valor atual, ou seja, no tempo t (Tucci, 1998). Desta forma teríamos:

$$RD = 1 - \frac{\sum (Q_{o_{i+\tau}} - Q_{c_{i+\tau}})^2}{\sum (Q_{o_{i+\tau}} - Q_{o_t})^2}.$$

Quando este coeficiente apresentar valores negativos, isto indica que o modelo apresenta resultados piores do que prever simplesmente o valor do tempo t .

APLICAÇÃO E RESULTADOS

Caracterização da bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica do Rio Uruguai tem uma área de drenagem de 276.000 km². O trecho de estudo fica entre Garruchos e Uruguaiana e tem de 314 km de extensão, com declividade média de 0,09m/Km, correspondente ao Médio Uruguai. Esta bacia tem 115.700 km² de área na seção do posto Garruchos e 189.300 km² no Uruguaiana, local em que foram realizadas as previsões. Neste trecho do rio Uruguai existe uma contribuição lateral importante, do Rio Ibicuí, que tem, na altura do posto Passo Mariano Pinto, uma bacia com área de 42.014 km², no entanto verificou-se que nos eventos de cheia a sua contribuição não foi significativa. Os dados utilizados foram apenas dos dois extremos do trecho, citados acima.

Seleção dos eventos

Para a etapa de ajuste dos parâmetros foram utilizados eventos de todas as magnitudes encontradas na série de dados de vazões diárias disponível, de 1965 a 1995, sendo a seleção realizada da seguinte forma:

- eventos de duração mensal foram ordenados de forma decrescente em função de suas vazões médias;
- os 286 eventos utilizados foram divididos em 30 classes de diferentes magnitudes, com aproximadamente 10 eventos em cada;

- foi escolhido um evento de cada classe, exceto da de maior magnitude da qual foram selecionados três, sempre procurando os eventos de cada classe em que o pico estivesse situado aproximadamente no meio do período, de forma a se ajustar tanto a ascensão quanto a recessão dos hidrogramas.

Na tabela 1 estão relacionados os 30 eventos selecionados para ajuste, onde Q_j é a vazão à jusante (Uruguiana), Q_m a vazão de montante (Garruchos) e Q_l a contribuição lateral considerada (Passo Mariano Pinto). P_i é um fator que representa a vazão que chega a montante e não está sendo considerada pelos postos de jusante em questão, ou seja, é uma proporção entre a vazão de jusante menos a de montante pela vazão de jusante.

Tabela 1. Classificação dos eventos selecionados para ajuste e fator P_i .

| N | Classe | Data | Qméd (m ³ /s) | Sem P. M. Pinto | | Com P. M. Pinto | |
|----|--------|----------|--------------------------|-----------------------------|--------|----------------------------------|--------|
| | | | | Qj - Qm (m ³ /s) | Pi (%) | Qj - (Ql+Qm) (m ³ /s) | Pi (%) |
| 1 | 1 | 01/06/90 | 12606 | 111518 | 22.77 | 63653 | 13.00 |
| 2 | 1 | 01/06/72 | 10530 | 129675 | 29.10 | 63639 | 14.28 |
| 3 | 1 | 01/08/65 | 8219 | -26238 | -11.48 | -54153 | -23.69 |
| 4 | 2 | 01/10/90 | 7209 | 116862 | 34.34 | 59361 | 17.44 |
| 5 | 3 | 01/02/94 | 5674 | 37549 | 19.12 | 1398 | 0.71 |
| 6 | 4 | 01/05/85 | 5109 | 74255 | 31.92 | 41743 | 17.94 |
| 7 | 5 | 01/01/95 | 4537 | 13143 | 8.55 | 7218.7 | 4.69 |
| 8 | 6 | 01/11/69 | 4032 | 79074 | 39.53 | 58192 | 29.09 |
| 9 | 7 | 01/06/74 | 3714 | 68565 | 38.10 | 48329 | 26.85 |
| 10 | 8 | 01/03/93 | 3524 | 6534 | 5.64 | -9018 | -7.79 |
| 11 | 9 | 01/08/75 | 3189 | 81478 | 45.18 | 36281 | 20.12 |
| 12 | 10 | 01/12/63 | 2846 | 100696 | 53.30 | 63373 | 33.54 |
| 13 | 11 | 01/10/86 | 2819 | 69818 | 44.41 | 46442 | 29.54 |
| 14 | 12 | 01/12/66 | 2577 | 121383 | 60.31 | 60573 | 30.09 |
| 15 | 13 | 01/11/68 | 2405 | 113950 | 61.23 | 78942 | 42.42 |
| 16 | 14 | 01/01/87 | 2237 | 32773 | 32.10 | 18099 | 17.73 |
| 17 | 15 | 01/10/91 | 1985 | 20868 | 25.32 | | |
| 18 | 16 | 01/05/65 | 1930 | 59151 | 49.71 | 51559 | 43.33 |
| 19 | 17 | 01/09/74 | 1724 | 73551 | 58.71 | 44998 | 35.92 |
| 20 | 18 | 01/08/63 | 1535 | 29884 | 38.58 | 16086 | 20.77 |
| 21 | 19 | 01/06/89 | 1433 | 8006 | 15.70 | 3119 | 6.11 |
| 22 | 20 | 01/01/75 | 1375 | 59771 | 58.37 | 48616 | 47.48 |
| 23 | 21 | 01/02/72 | 1200 | 14202 | 28.98 | 10733 | 21.90 |
| 24 | 22 | 01/09/69 | 1087 | 41956 | 56.27 | 26801 | 35.94 |
| 25 | 23 | 01/07/68 | 990 | 48271 | 61.14 | 32839 | 41.59 |
| 26 | 24 | 01/09/68 | 825 | 19987.2 | 44.69 | 10223.2 | 22.86 |
| 27 | 25 | 01/06/63 | 750 | 28242 | 55.64 | 22638 | 44.60 |
| 28 | 26 | 01/11/62 | 679 | 28191 | 58.04 | 25376.2 | 52.25 |
| 29 | 27 | 01/05/72 | 492 | 50906 | 76.94 | 35327 | 53.39 |
| 30 | 28 | 01/04/65 | 273 | 29292.7 | 78.15 | 21556 | 57.51 |

Desta forma, podemos ter uma estimativa da importância da contribuição do rio Ibicuí as vazões em Uruguaiana. Foram testadas então simulações com as vazões do posto Passo Mariano Pinto, mas as mesmas não se mostraram significativas.

Para a fase de previsão foram escolhidos outros dois eventos, de novembro de 1963, da primeira classe e de junho de 1973, da sétima classe.

Os eventos escolhidos para a previsão estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Eventos para prognóstico, suas respectivas classes e fator P_i .

| N | Classe | Data | Q _{méd} (m ³ /s) | Sem P. M. Pinto | | Com P. M. Pinto | |
|---|--------|----------|--------------------------------------|---|--------------------|--|--------------------|
| | | | | Q _j - Q _m (m ³ /s) | P _i (%) | Q _j - (Q _l +Q _m) (m ³ /s) | P _i (%) |
| 1 | 1 | 01/11/63 | 8756 | 178100 | 40.40684 | 107830 | 24.46417 |
| 2 | 7 | 01/06/73 | 3830 | 127643 | 52.62652 | 65679 | 27.0791 |

Análise de resultados e intervalos de confiança

Realizadas as trinta previsões para cada intervalo de tempo dos dois eventos, inicia-se a fase de avaliação das incertezas dos resultados e determinação dos intervalos de confiança. Foi utilizada uma distribuição de probabilidades Normal. Os intervalos de confiança para 95% são dados por (Sallas et al, 1985):

$$r_k(95\%) = \frac{-1 \pm 1,96\sqrt{N-k-1}}{N-k}.$$

A cada previsão diária obteve-se então uma distribuição de trinta pontos referentes ao número do grupo de parâmetros obtidos no ajuste. A estes pontos, ordenados de forma decrescente, foi ajustada uma distribuição empírica de posição de locação. Esta foi comparada a distribuição Normal, com o objetivo de verificar a validade na determinação de intervalos de confiança de uma distribuição teórica, ao representar a distribuição dos pontos obtidos nas previsões.

Agora para cada previsão, ajustada a distribuição Normal, pode-se obter o valor esperado e um intervalo de confiança, o qual se define por uma probabilidade de que os valores de vazão que ocorrerão estejam incluídos. Nas figuras 1 e 2 são apresentados os ajustes de dois intervalos de tempo como amostra do conjunto. Pode-se observar que o ajuste de uma distribuição as previsões é aceitável.

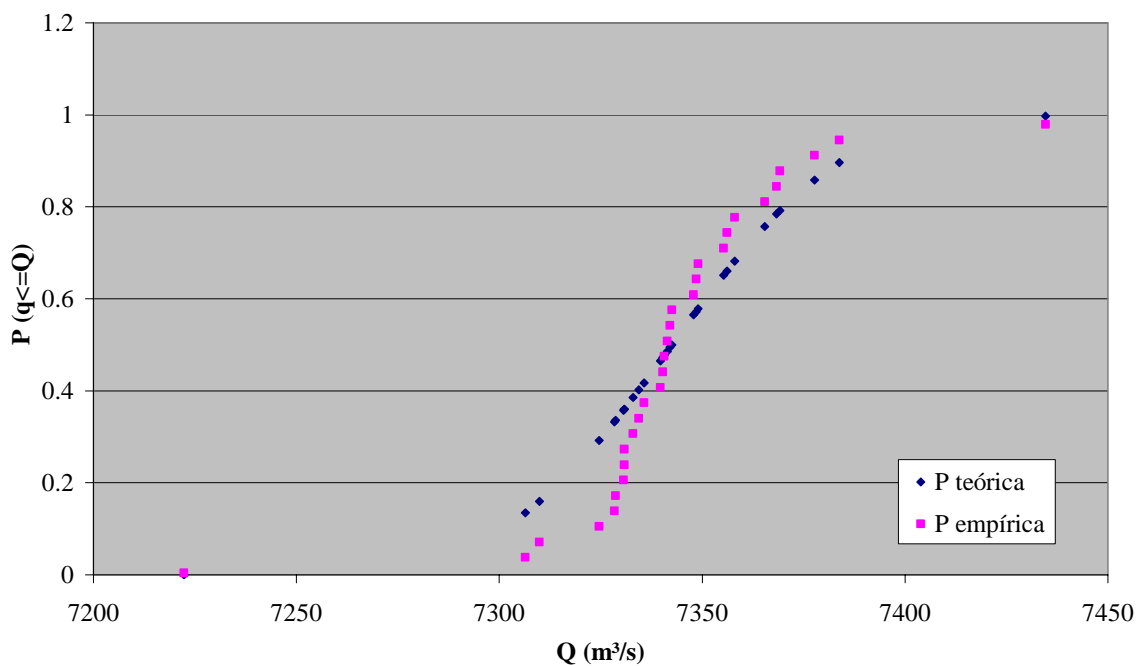


Figura 1. Intervalo de tempo 1 de previsão do evento de junho de 73.

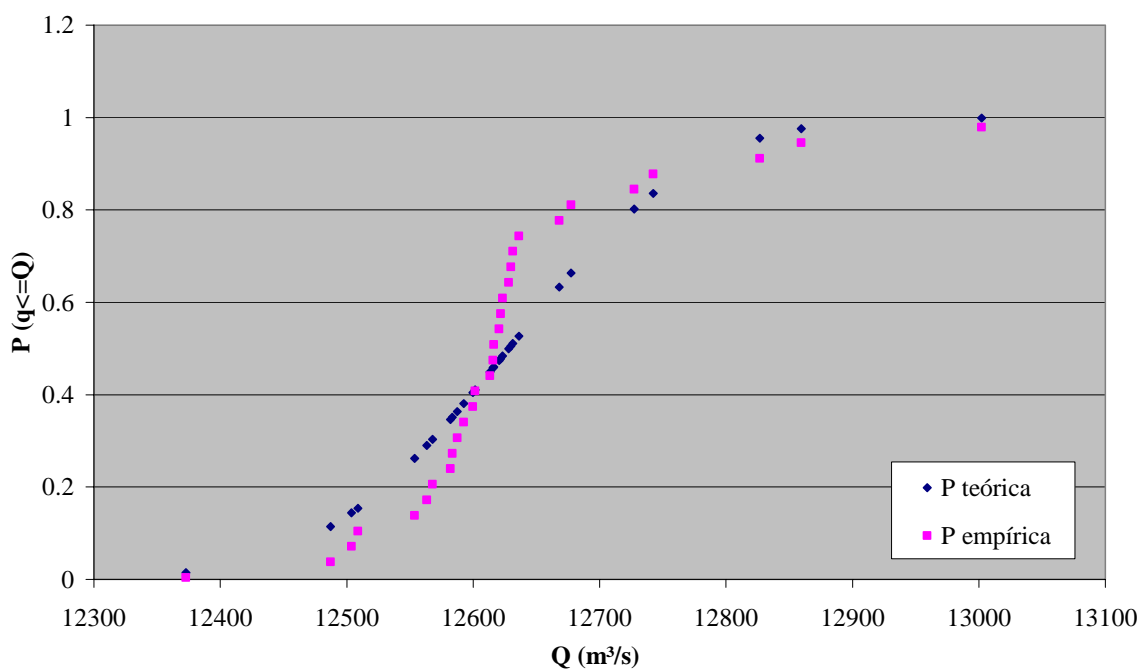


Figura 2. Intervalo de tempo 3 de previsão do evento de novembro de 63.

Os valores observados de vazão e os respectivos desvios padrão em torno do valor esperado em cada previsão diária estão nas figuras 3 e 4. A seguir, nas figuras 5 e 6, pode-se observar também os hidrogramas com as vazões observadas, valores esperados de vazão e os intervalos para 95% de confiança. Os valores de R^2 e RD dos dois eventos, considerando o valor esperado como

previsão, foram respectivamente 0,9987 e 0,8225 para novembro de 1963 e 0,9579 e 0,5231 para junho de 1973.

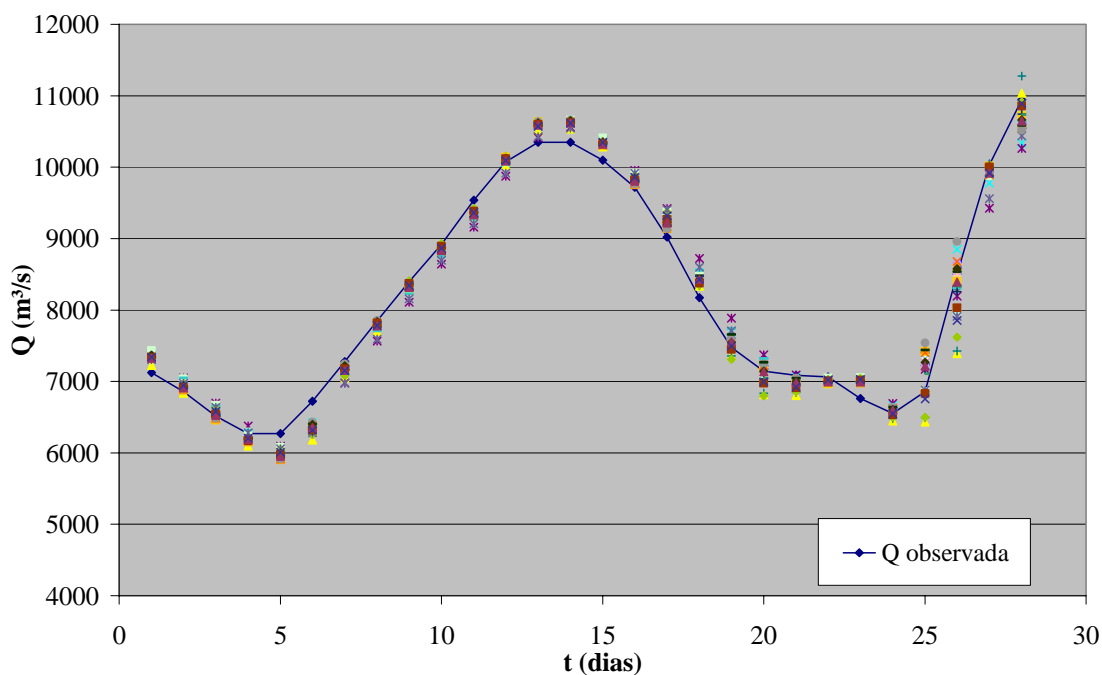


Figura 3. Vazões observadas e faixas de valores previstos para junho de 73.

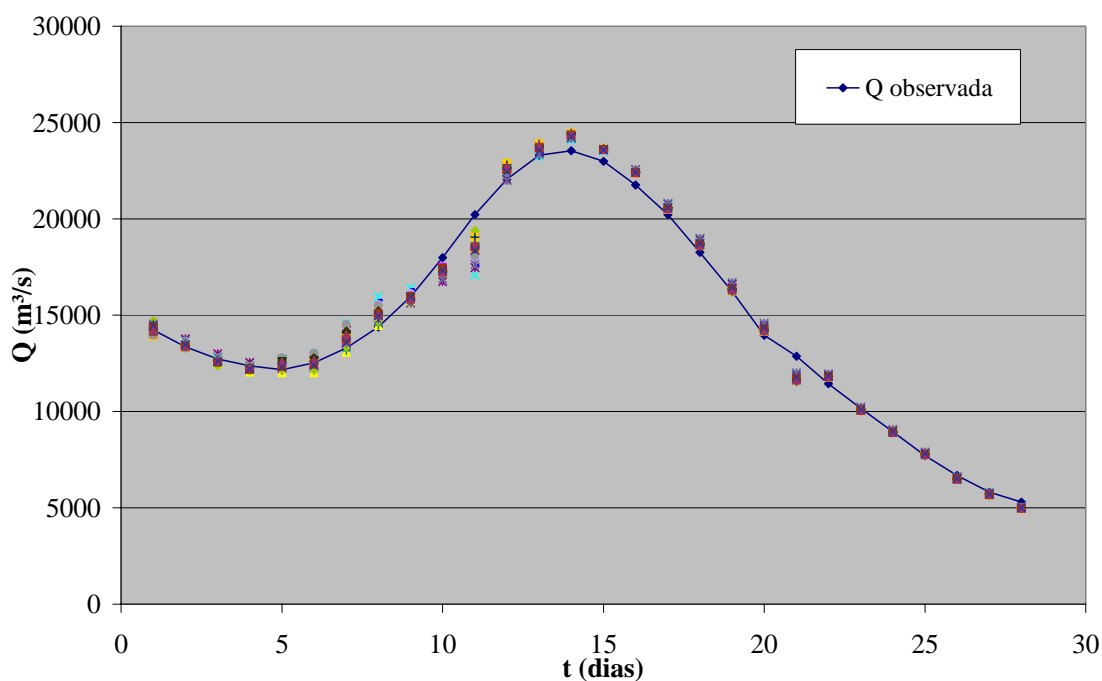


Figura 4. Vazões observadas e faixas de valores previstos para novembro de 63.

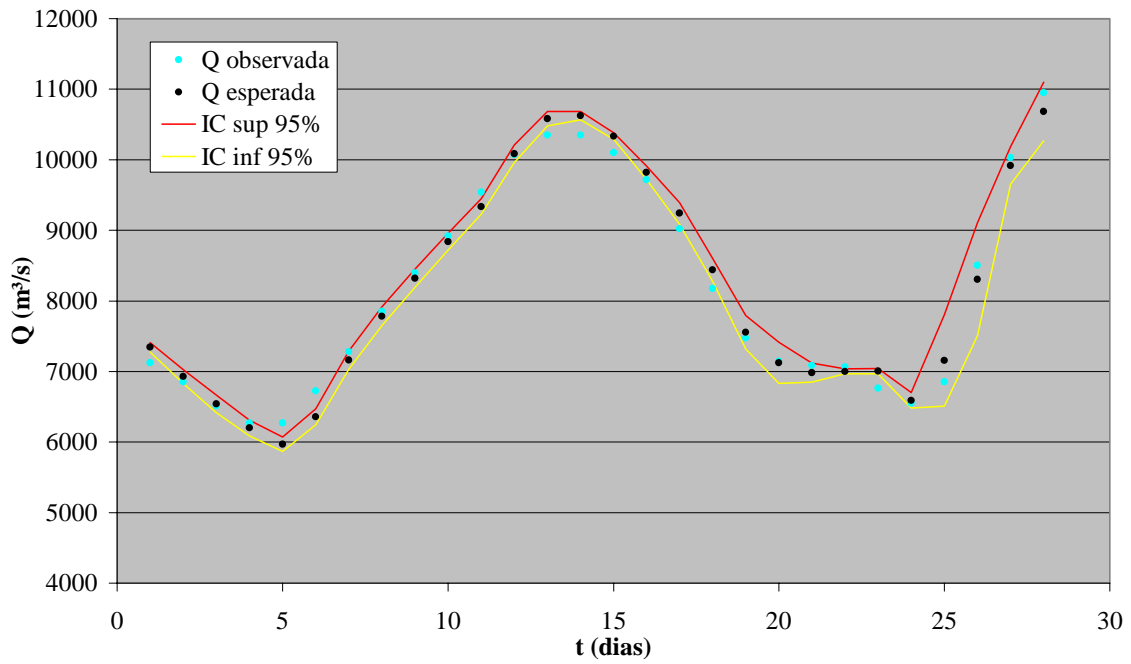


Figura 5. Previsão e intervalos de 95% de confiança para o evento de junho de 73.

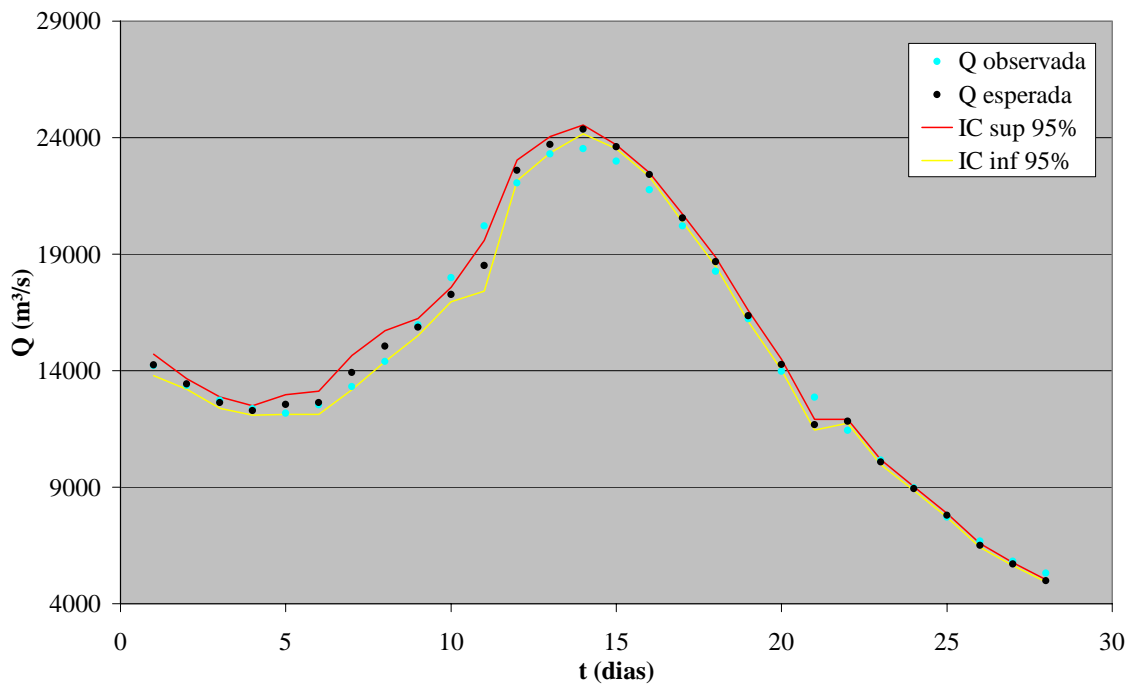


Figura 6. Previsão e intervalos de 95% de confiança para o evento de novembro de 63.

CONCLUSÕES

Quanto ao ajuste dos valores gerados a cada previsão, pode-se avaliar visualmente pelas figuras 1 e 2, que os mesmos apresentaram resultados aceitáveis. Da mesma forma, observou-se que, de forma geral, o ajuste empírico dos valores previstos apresenta menor desvio padrão que o ajuste da distribuição normal. Ou seja, os valores estão mais agrupados em torno de um valor médio, que também parece estar próximo da média da distribuição teórica.

A previsão com apenas dois eventos não é conclusiva, mas permite mostrar que a banda de confiança é pequena e o modelo prevê bem tanto a subida como a descida do hidrograma. Em estudos futuros, seria necessário avaliar qual a contribuição que esta metodologia poderia trazer para a previsão de eventos de diferentes magnitudes. Já que eventos pequenos são freqüentes e devem ser prognosticados com a mesma precisão de eventos mais raros, de grande magnitude, para que o processo de previsão não seja desacreditado.

O uso da banda de confiança pode permitir ao operador do sistema de previsão um certo grau de liberdade na avaliação dos resultados da previsão. Já para o usuário, o intervalo de confiança informa o grau de incerteza associada a inundação que está chegando.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SALAS J. D., DELLEUR, J. W., YEVJEVICH, V. LANE, W. L., 1985, Applied Modeling of Hydrologic Time Series, 2ª edição, Water Resources Publications, Colorado.
- TUCCI, C. E. M. , 1998, Modelos Hidrológicos, 2ª edição, Editora da UFRGS, Porto Alegre.