

AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA REGIONALIZAÇÃO DE CURVAS DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES PARA A BACIA DO RIO DAS VELHAS

JORGE ANTONIO DE OLIVEIRA PINTO¹, MAURO NAGHETTINI²

¹ Engenheiro Agrícola, Mestrando, Depto de Engenharia Hidráulica e de Recursos Hídricos, UFMG, Belo Horizonte – MG, (0XX31) 3238.1944, e-mail: jaop_be@yahoo.com.br.

² Engº Civil, Prof., PhD., Depto de Engenharia Hidráulica e de Recursos Hídricos, UFMG, Belo Horizonte – MG.

Escrito para apresentação no

XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola

31 de julho a 04 de agosto 2006 – João Pessoa - PB

RESUMO: Para o adequado planejamento e gerenciamento da disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica, é necessário o conhecimento do comportamento hidrológico da mesma, sendo de importância vital o conhecimento das vazões mínimas. Índices de vazões mínimas são essenciais para previsão ou estimativa de vazões em períodos de estiagem. Um índice comumente utilizado está relacionado a uma certa vazão que é igualada ou superada durante uma alta porcentagem do tempo (e.g. 95%), obtida das curvas de permanência. A elaboração de curvas de permanência, frequentemente é prejudicada pela inexistência ou pouca disponibilidades de dados no local, sendo necessário o uso de estudos regionais. Nesse trabalho, métodos para regionalização de curvas de permanência propostos por Claps e Fiorentino (1997) e Tucci (1993), foram aplicados à Bacia do Rio das Velhas e avaliados quanto a seus respectivos desempenhos.

PALAVRAS-CHAVE: VAZÃO MÍNIMA, CURVAS DE PERMANENCIA, REGIONALIZAÇÃO

METHODOLOGIES EVALUATION FOR REGIONALIZATION OF FLOW DURATION CURVES FOR RIO DAS VELHAS BASIN

ABSTRACT: In order to make an adequate planning and management of the water availability of a watershed it is necessary to know its hydrologic behavior particularly the one related to minimum flow information. Low flow indexes are essential for flow forecast or estimation during dry periods. A commonly used index, is related to a certain flow which is equal or exceeded during a high percentage of time (e.g. 95%), obtained from the flow duration curves.(FDCs). The elaboration of the FDCs is frequently affected by the inexistence or restricted data availability in the region, therefore making it necessary to make regional studies. In this work, methods for FDCs regionalization proposed by Claps and Fiorentino (1997) and Tucci (1993), were applied to Rio das Velhas Basin and were, as well, evaluated on the basis of their different performances.

KEYWORDS: LOW FLOW, FLOW DURATION CURVE, REGIONALIZATION

INTRODUÇÃO: Com o aumento da demanda pelo uso da água devido ao crescimento populacional, industrialização, expansão das fronteiras agrícolas, torna-se necessário o desenvolvimento de ferramentas de análise e simulação, como suporte ao planejamento e gerenciamento e, conseqüentemente, tomadas de decisão quanto ao uso, ou, múltiplos usos dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, tais como: análise, projeto, regulamentação legal, operação e planejamento de projetos de abastecimento de água, irrigação, recuperação ambiental e geração energia elétrica. O conhecimento das vazões mínimas possui importância vital dentro desse contexto. Um índice de vazão mínima muito utilizado está relacionado a uma vazão que é igualada ou

superada durante uma alta porcentagem do tempo (e.g. 95%), obtida da chamada curva de permanência. A curva de permanência é o complemento da função cumulativa de distribuição de vazões diárias, mensais, anuais (ou de outro intervalo de tempo) e representa a magnitude e frequência com que essas vazões são igualadas ou superadas em um dado período de tempo. Com frequência, a elaboração de curvas de permanência fica comprometida devido à inexistência de uma rede hidrológica que cubra a totalidade dos locais de interesse em uma bacia. Uma forma de resolver esse problema é o estudo regional para regionalização de curvas de permanência. Claps e Fiorentino (1997) ajustaram curvas de permanência anuais de dados de vazões médias diárias a uma distribuição log-normal e os parâmetros desses ajustes foram utilizados em análises regionais com informações hidrogeológicas. Tucci (1993) propôs um método que é caracterizado pela regionalização das Q_{50} e Q_{95} das curva de permanência e posterior ajuste dessas vazões a uma curva exponencial. O objetivo do presente trabalho é aplicar e comparar ambos métodos da bacia do Rio das Velhas.

MATERIAL E MÉTODOS: A escolha da bacia do Rio das Velhas, de área de drenagem de 29.173 km², codificada pela ANNEL como sub bacia 41, se deve ao estudo de consistência dos dados de suas estações pluviométricas e fluviométricas e por um completo estudo hidrogeológico das sub bacias 40 e 41 da bacia do Alto São Francisco realizadas pelo CPRM (2001). De acordo com estudos realizados pela CPRM (2001), foram delimitadas três regiões homogêneas para regionalização de curvas de permanência que são: Alto, Médio e Baixo Rio das Velhas. Foram utilizadas respectivamente 7, 12 e 5 estações para as regiões citadas. Claps e Fiorentino (1997) utilizaram curvas de permanência anuais, pois estas são passíveis de serem tratadas estatisticamente do mesmo modo que se tratariam valores anuais máximos ou mínimos, admitindo-se uma independência entre as curvas de permanência anuais. Assim, é possível a elaboração de uma curva de permanência anual média ou mediana, ou para diferentes tempos de retorno que, como grande virtude, seriam menos sensíveis à influência de períodos atípicos dentro da série histórica de vazões. Com os dados de vazões médias diárias, foram elaboradas curvas de permanência anuais para serem utilizadas pelo método de Claps e Fiorentino (1997). em que as mesmas foram ajustadas à função:

$$\ln(q - q_0) = \alpha + \beta z \quad (1)$$

na qual, q representa a vazão diária adimensional dada por $q = Q/E(Q)$, onde $E(Q)$ representa a vazão média no ano considerado, α e β representam parâmetros de uma distribuição log normal, q_0 representa o parâmetro de ajuste com o significado de um limite inferior de descarga, e z é a variável normal reduzida que representa intrinsecamente a frequência da vazão q . Neste trabalho foi adotado $q_0 = 0$. Comparando α e β da equação (1) com a definição de variável normal reduzida $z = (\log q - \mu) / \sigma$, nota-se que podem ser expressos por:

$$\alpha = \mu(\ln q) \quad (2)$$

$$\beta = -\sigma(\ln q) \quad (3)$$

Cada aproximação probabilística representa um ano de dados e conseqüentemente α e β estão relacionados ao ano em questão. As séries de parâmetros anuais α e β são normalmente distribuídas e os momentos μ_α e μ_β tiveram alta correção com algumas características da bacia, destacando-se a variável índice de escoamento de base (IEB). Os parâmetros α e β foram estimados para regiões sem dados a partir do estudo regional entre os primeiros dois primeiros e IEB. O IEB é a proporção entre o escoamento de um corpo d'água proveniente da depleção do aquífero e o escoamento total, em determinado período. Este índice está intrinsecamente relacionado à capacidade de armazenamento e porosidade do complexo geológico. Os IEBs foram calculados utilizando-se o Método dos Mínimos Locais através do Programa Hysep, disponível a partir da URL <http://water.usgs.gov>.

μ_α e μ_β foram estimados na análise regional com IEB, os coeficientes de variação CV_α e CV_β regionais foram obtidos a partir de ponderação de CV_α e CV_β pelo número de anos disponíveis para cada estação. Com os μ_α , μ_β e CV_α e CV_β regionais, foram obtidos σ_α , σ_β regionais utilizados para a obtenção de α_ϕ e β_ϕ sendo:

$$\alpha_\phi = \mu_\alpha + u_\phi \sigma_\alpha \quad (4)$$

e

$$\beta_\phi = \mu_\beta + u_\phi \sigma_\beta \quad (5)$$

em que u_ϕ é a variável normal reduzida.

Em seguida, as equações (4) e (5) foram utilizadas na equação:

$$Q_{F,\phi} = \exp(\alpha_\phi + \beta_\phi z(F)).E(Q) \quad (6)$$

para elaboração da curva de permanência, sendo F a frequência dada por $F = n/(365 + 1)$.

O método de Tucci (1993) é muito utilizado em várias regiões do Brasil, dispensando uma discrição muito detalhada do mesmo.

Para a avaliação das metodologias foi utilizada a técnica *Jack-knife cross validation* que consiste em:

- Selecionar N estações com disponibilidade de dados na área de estudo;
- Uma dessas estações dita “s”, é excluída do conjunto;
- Uso de modelos regionais caracterizando dados de vazão e características geomorfológicas e climáticas das N-1 estações restantes;
- Uso dos modelos regionais identificados no item anterior para estimar a curva de permanência para a estação “s”; e
- Repetição do segundo item e do item anterior N-1 vezes considerando por sua vez, as estações restantes.

Uma forma de avaliar o desempenho dos métodos de regionalização foi apresentada por Castellarin (2004) e utilizada nesse trabalho, a qual consiste no uso do índice de desempenho E_s calculado para cada estação $s=1,2,\dots,3$, dada pela fórmula:

$$E_s = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{N_D} (\bar{q}_{s,j} - q_{s,j})^2}{\sum_{j=1}^{N_D} (q_{s,j} - \sum_{j=1}^{N_D} (q_{s,j}))^2} \quad (7)$$

em que N_D é o número de durações utilizadas, $\bar{q}_{s,j}$ e $q_{s,j}$ são respectivamente as vazões estimadas e as observadas. E_s varia entre 1 (Ajustamento perfeito) e $-\infty$. Os valores de E_s para cada estação são usados para calcular 3 termos adicionais de qualidade geral para as curvas de permanência estimadas, denominadas P_1, P_2 e P_3 , definidas como porcentagem de casos, sobre N possibilidades em que $E_s > 0,75$, (P_1 = ajuste de bom para médio), $0,75 \geq E_s > 0,50$, (P_2 = Ajuste de médio para pobre) e $E_s \leq 0,50$, (P_3 = ajuste pobre). Foram utilizadas 451 durações entre o intervalo de Q_{50} e Q_{95} .

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na figura 1 é apresentada a curva de permanência observada para a Estação 41715000-Fazenda Cachoeira e as curvas de permanência estimadas pelo método de Claps e Fiorentino (1997) e Tucci (1993) do Médio Rio das Velhas.

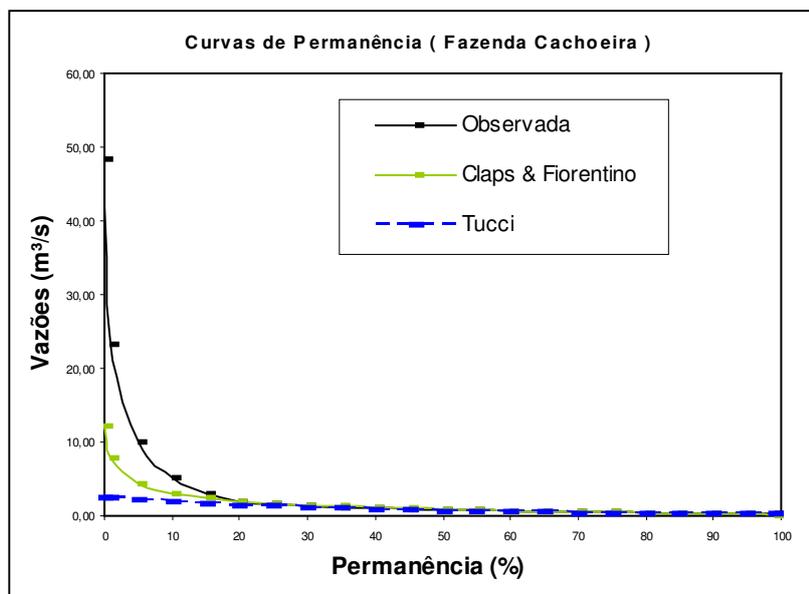


Figura 1. Curvas de Permanência Observadas e estimadas por Claps e Fiorentino (1997) e Tucci (1993)

Para o médio Rio das Velhas, o método de Tucci (1993) apresentou para as doze estações, $E_s > 0,75$. O método de Claps e Fiorentino (1997) apresentou para as estações Ponte Preta e Taquaruçu respectivamente E_s de 0,57 e 0,69, enquanto que para a Estação de Vespasiano, apresentou um $E_s = 0,28$. Esse método dá origem à curvas adimensionais, cujas vazões necessitam ser multiplicadas a uma vazão média para a obtenção de vazões em m^3/s . Para a estação Vespasiano, a vazão média anual estimada por regionalização foi $12,3 m^3/s$ sendo que a vazão média observada foi de $7,6 m^3/s$. Utilizando vazões próximas da observada, o E_s assume valores maiores do que 0,90. Para o método de Claps e Fiorentino (1997), as vazões médias anuais, bem como os IEBs, têm que ser estimados com o uso de metodologias robustas para que seu desempenho não seja comprometido.

CONCLUSÃO: O método de Tucci (1993) apresentou $P_1 = 100\%$ com E_s superior a 75% nas doze estações utilizadas no Médio Rio das Velhas, enquanto que o Método de Claps e Fiorentino (1997) apresentou $P_1 = 75\%$, $P_2 = 16,7$ e de $P_3 = 8,33$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CASTELLARIN, A.; LEATI, G.; BRANDIMARTE, L.; MONTANARI, A.; BRATH, A. Regional flow duration curves: reliability for ungauged basins *Advances in Water Resources*, 27, pp. 953-965, 2004.

CLAPS, P.; FIORENTINO, M. Probabilistic Flow Duration Curves for use in Environmental Planning and Management, in Harmancioglu et al. (eds.), *Integrated Approach to Environmental Data Management Systems*, NATO-ASI series 2 (31), pp. 255-266, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, 1997.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Regionalização das Curvas de Permanência e Curvas de Regularização, Convênio: 015/2000 ANEEL-013/CPRM/2000, Relatório Final, Volume III, 2001.

TUCCI, C. E. M. Regionalização de vazões. In TUCCI, C. E. M. (ed) **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1993. 944. Capítulo 15, p. 573-619.