

INTERFACE GRÁFICA ONLINE QUE PERMITE A OBTENÇÃO DAS VAZÕES MÍNIMAS PARA A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS POR MEIO DE TECNOLOGIA DE WEBSERVICES E DADOS DISPONIBILIZADOS PELA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA)

Thomaz Júnior Soares Silva⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Civil na Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ).

Heber Tormentino de Sousa

Coordenador do Curso de Engenharia Mecatrônica da UFSJ. Bacharel em Ciência da Computação (2005) pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) e mestre em Engenharia Agrícola (Área de concentração: Recursos hídricos e ambientais) pela UFV (2009).

Endereço ⁽¹⁾: Rua Vilares, 251 – Siderurgia – Ouro Branco – MG - CEP: 36420-000 – Brasil – Tel: +55 31 8888-2016 – E-mail: silva.thomazjr@gmail.com.

Resumo: A água é recurso ambiental na categoria dos direitos difusos, ou seja, a dominialidade inerente não tem sinônimo de apropriação do bem, mas de gerenciamento. Assim os recursos hídricos devem ser qualificados como bem pertencente a uma coletividade indeterminada. Para exercer seus direitos, os cidadãos e gestores precisam estar municiados de informações adequadas obtidas com o uso de recursos computacionais acessíveis que processem os dados hidrológicos. Sendo assim, este trabalho teve por objetivo desenvolver uma interface gráfica online que permita a obtenção das vazões mínimas ($Q_{7,10}$; $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$) para a gestão de recursos hídricos, por meio de tecnologia de *webservices* que automatiza o processamento dos dados fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA). Os resultados obtidos foram validados por meio de um estudo de caso realizado para uma seção a jusante de Ponte Nova, MG utilizando a interface gráfica desenvolvida e que está disponível em <http://hidro-eng.com>.

Palavras-chave: Gestão de recurso hídrico, vazão mínima, *software online*.

1 INTRODUÇÃO

A água é recurso ambiental na categoria dos direitos difusos, ou seja, a dominialidade (MUKAY, 2002) inerente não tem sinônimo de apropriação do bem, mas de gerenciamento. Assim os recursos hídricos devem ser qualificados como um bem pertencente a uma coletividade indeterminada. Ora, o acesso a esse bem público é um direito fundamental que foi ameaçado pela crise de gestão dos recursos hídricos percebida em diversas cidades brasileiras ainda antes de 2015. Para que a sociedade evite essas situações é preciso que se exerça o monitoramento das ações dos gestores públicos de recursos hídricos, que só é possível mediante informações precisas obtidas por meio de processamento computacional de dados hidrológicos, com o correto entendimento da disponibilidade hídrica das bacias e assim garantir a sustentabilidade ambiental e a democratização do acesso à água, tanto para o consumo humano e sustentação de biomas, quanto viabilidade econômica de empreendimentos.

O processamento de dados hidrológicos depende de ferramentas computacionais sofisticadas de acesso restrito a pessoas com conhecimentos técnicos especializados. Por exemplo, o software desenvolvido por Sousa (2009), que embora seja um grande avanço na área, precisa ser baixado, instalado em computadores *desktops* e mediante uma série de etapas, obter as vazões mínimas. Por outro lado, a disponibilidade de recursos computacionais e o amplo acesso à Internet permitem que essas informações, após processamento adequado, sejam entregues diretamente ao cidadão, ao gestor público, ao engenheiro ou empreendedor por meio de interfaces gráficas *onlines* (*sites*), sem a necessidade de procedimentos complicados. Assim simplifica e democratiza o acesso às informações a serem utilizadas nos processos de outorga, licenciamento ambiental, em audiências públicas ou outros aspectos da gestão dos recursos hídricos.

Entende-se por outorga a licença concedida pelos governos estaduais (ou federal) para extração de volumes dos corpos de água. Para isso se estabelece o volume máximo outorgável, a vazão de referência, que é uma

fração estipulada por lei da vazão mínima de sete dias consecutivos com período de retorno de dez anos ($Q_{7,10}$), (Benetti *et al.*, 2003), ou da vazão de permanência que é a vazão superada ou igualada em 90% ($Q_{90\%}$) ou 95% ($Q_{95\%}$) do tempo (TUCCI, 2008). No Brasil cada Estado adota seus próprios critérios e a fração disponibilizada deve ser repartida entre os usuários. Por exemplo, Bahia, Tocantins e Rio Grande do Norte adotam a $Q_{90\%}$, Goiás, Paraná e Piauí, a $Q_{95\%}$, Minas Gerais e São Paulo, a $Q_{7,10}$ (ANA, 2008).

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma interface gráfica online que permita a obtenção das vazões mínimas ($Q_{7,10}$; $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$) para a gestão de recursos hídricos por meio de tecnologia de *webservices* que automatiza o processamento dos dados fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 RECURSOS COMPUTACIONAIS

Será empregada a linguagem de computador baseada em *Scripts* PHP para o desenvolvimento da interface gráfica online. A escolha leva em conta essa linguagem por ser de utilização livre (*freeware*), adequada para o desenvolvimento e amplamente utilizada em soluções desse tipo.

O relatório final entregue ao usuário com as informações hidrológicas processadas estará em conformidade às regras estabelecidas para o HTML5, que é uma linguagem computacional de marcação de texto de livre utilização (*freeware*) e reconhecida, processada e renderizada pelos navegadores (*browser*) da Internet. Essa característica é importante por não restringir o acesso às informações.

Um dispositivo com acesso a Internet, capaz de executar um navegador tradicional, é o recurso computacional físico (*hardware*) exigido do usuário. Ou seja, pode ser um *smartphone*, ou *tablet*, ou *laptop*, ou *desktop*. O processamento pesado e o acesso à base de dados da ANA ficarão a cargo da máquina servidora onde o site estará hospedado. No entanto, a velocidade de transferência dos dados entre o site e o dispositivo do usuário dependerá da capacidade da conexão à Internet.

Tecnologias *Webservices* oferecem soluções baseadas na integração de sistemas para a comunicação entre aplicativos diferentes, possibilitando acessibilidade remota de recursos, redução da complexidade e diminuição do número de plataformas que precisam ser acionadas numa mesma interação.

3.2 ESTUDO DE CASO: ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA 56110005.

Será aplicado um estudo de caso à bacia do Rio Piranga, em seção à jusante de Ponte Nova, MG, referente a estação fluviométrica de código 56110005 localizada na Latitude "20°23'2.04" Sul e Longitude "42°54'10.08" Oeste e de responsabilidade ANA.

3.3 MÉTODOS ESTATÍSTICOS

Para estimar as vazões mínimas em diversos períodos de retorno (horizonte de projeto) serão utilizadas funções de distribuição de densidade de probabilidade, cujos parâmetros são obtidos da série de dados históricos de vazões. A seleção do método de distribuição adequado vale-se dos intervalos de confiança dos eventos. Conforme a recomendação da ANA, serão empregados os seguintes métodos: *Weibull*, *Log-Normal II*, *Log-Normal III*, *Log-Pearson III* e *Pearson III*.

As funções de distribuição de densidade de probabilidade, dos parâmetros de validação dos modelos e métodos foram obtidas de KITE (1988) e estão descritas abaixo.

A estimativa da magnitude de um evento com determinado horizonte de projeto é dada pela Equação 1.

$$\chi(t) = \chi_m + \kappa * \sigma \quad \text{Equação (1).}$$

Onde:

$\chi(t)$ é a vazão para horizonte de projeto t , dado em anos;
 χ_m é a média das vazões anuais da série histórica;
 κ é o fator de frequência; e
 σ é o desvio padrão da amostra.

O valor κ é obtido conforme as funções de distribuição de densidade de probabilidade indicadas a seguir:

3.3.1 DISTRIBUIÇÃO WEIBULL

Recomendada para série de eventos mínimos e seu fator de frequência K é dada pela Equação 2.

$$K = A_\alpha + B_\alpha \left(\left(-\ln \left(1 - \frac{1}{t} \right) \right)^\alpha - 1 \right) \quad \text{Equação (2)}$$

em que t é o horizonte de projeto, dado em anos.

A estimativa de α é dada pela Equação 3, cuja assimetria só tem validade para os valores situados entre -1,02 e 2,00.

$$\alpha = \frac{1}{0,27777 + 0,31326\gamma + 0,05756\gamma^2 - 0,00130\gamma^3 - 0,00815\gamma^4} \quad \text{Equação (3)}$$

em que γ é a assimetria.

A assimetria γ pode ser calculada pela Equação 4.

$$\gamma = \frac{\mu_3}{\mu_2^2} \quad \text{Equação (4)}$$

O valor de A_α pode ser obtido pela Equação 5.

$$A_\alpha = \left(1 - \Gamma \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right) \right) B_\alpha \quad \text{Equação (5)}$$

O valor de B_α pode ser obtido pela Equação 6.

$$B_\alpha = \frac{1}{\sqrt{\Gamma \left(1 + \frac{2}{\alpha} \right) - \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right)}} \quad \text{Equação (6)}$$

O valor da função Gama $\Gamma(x)$ pode ser obtido pela Equação 7.

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty X^{\lambda-1} e^{-x} dx \quad \text{Equação (7)}$$

3.3.2 DISTRIBUIÇÃO LOG-NORMAL TIPO II

O fator de frequência pode ser obtido pela Equação 8, desde que aplicada a série de logaritmos dos eventos da série de dados.

$$k = \frac{\left(e^{\sqrt{\ln \left(\left(\frac{\sigma}{\mu} \right)^2 + 1 \right)} t} \cdot t - \frac{\ln \left(\left(\frac{\sigma}{\mu} \right)^2 + 1 \right)}{2} \right) - 1}{z} \quad \text{Equação (8)}$$

3.3.3 Distribuição Log-Normal tipo III

O fator de frequência k pode ser obtido pela Equação 9, desde que aplicado a série de logaritmos dos eventos da série de dados.

$$k = \frac{\left(e^{\sqrt{\ln(z^2+1)}t} \cdot t - \frac{\ln(z^2+1)}{2} \right) - 1}{w} \quad \text{Equação (9)}$$

Sendo que w pode ser obtido pela Equação 10.

$$w = \frac{1 - \psi^{\frac{2}{3}}}{\psi^{\frac{1}{3}}} \quad \text{Equação (10)}$$

O valor de w pode ser obtido pela Equação 11.

$$\psi = \frac{-\gamma + \sqrt{\gamma^2 + 4}}{2} \quad \text{Equação (11)}$$

3.3.4 DISTRIBUIÇÃO PEARSON TIPO III

O fator de frequência pode ser obtido pela Equação 12.

$$k = D + (D^2 - 1) \frac{\gamma}{6} + \frac{1}{3}(D - 6D) \left(\frac{\gamma}{6}\right)^2 - (D^2 - 1) \left(\frac{\gamma}{6}\right)^3 + D \left(\frac{\gamma}{6}\right)^4 + \frac{1}{3} \left(\frac{\gamma}{6}\right)^5 \quad \text{Equação (12)}$$

O desvio padronizado D pode ser calculado pela Equação 13.

$$D = t - \frac{2,30753 + 0,27061 t}{1 + 0,99229 t + 0,04481 t^2} \quad \text{Equação (13)}$$

O valor da assimetria γ pode ser obtido pela Equação 14.

$$\gamma = \frac{N}{(N-1) - (N-2)} \sum_{i=1}^N \left(\frac{(x_i - \mu)^3}{\sigma^3} \right) \quad \text{Equação (14)}$$

3.3.5 DISTRIBUIÇÃO LOG-PEARSON TIPO III

A distribuição Log-Pearson tipo III pode ser obtida aplicando-se a Equação 12, Equação 13 e Equação 14 sobre os logaritmos gerados a partir da série de dados históricos de vazão.

3.4 ESTACIONARIEDADE.

A estacionariedade será utilizada para verificar o ajuste da série de dados históricos de vazão à distribuição normal (TUCCI, 2002). Ela é obtida a partir da média e da variância de dois subperíodos distintos por meio do teste *Fisher* (Equação 17). Avalia, dessa forma, se houve mudanças no regime hidrológico que possam comprometer as análises. As séries amostrais devem pertencer a populações normais e serem formadas por eventos independentes.

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad \text{Equação (17)}$$

em que S_1 é a variância maior e S_2 é a variância menor.

3.5 INTERVALO DE CONFIANÇA

A estimativa de limites do intervalo de confiança a 95% é da forma $(\bar{x} - 1,96 * \frac{\sigma}{\sqrt{n}} , \bar{x} + 1,96 * \frac{\sigma}{\sqrt{n}})$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interface gráfica online para obtenção das vazões $Q_{7,10}$, $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$ (*Hidro-Eng*), cuja interface pode ser vista na Figura 1, permite analisar computacionalmente as séries de dados históricos de vazão das estações fluviométricas. Todo o processo é automatizado e pode ser realizado em navegadores padrões dos dispositivos do usuário.

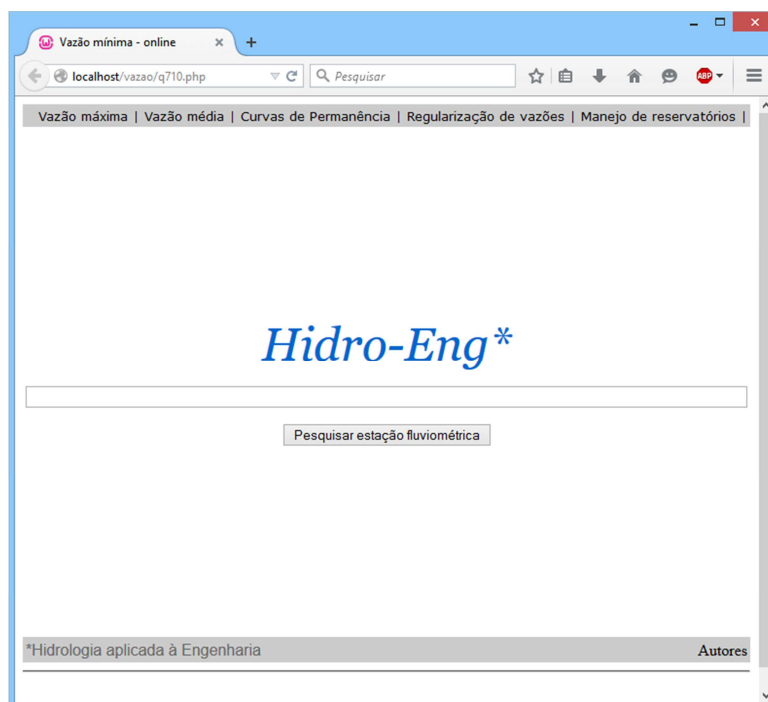


Figura 1: Tela inicial do *Hidro-Eng*, inspirada no *design* da Google®.

Para o estudo de caso em seção à jusante de Ponte Nova, MG, foi feito a importação dos dados diretamente do sistema *Hidroweb* (ANA, 2012), por meio de *Webservices*, incluindo a área de drenagem, a posição em coordenadas geográficas e o nome da bacia e do rio. Os dados utilizados fazem parte da base de dados públicos e oficiais do Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos (SNIRH).

Uma dificuldade comum nos estudos de vazão mínima é encontrar o número de identificação da estação. O *Hidro-Eng* oferece um sistema de sugestões bastando ao usuário digitar a bacia ou nome do rio e uma lista de estações do espaço geográfico selecionado será oferecida.

Após a seleção da estação, é exibido um relatório para usuário com os parâmetros da estação (Figura 2), que inclui número de identificação, nome, coordenadas da posição geográfica, o rio, área de drenagem e bacia. Na segunda seção do relatório podem ser vistos os parâmetros da série como o número de eventos, média, variância, desvio padrão, assimetria e estacionariedade. Esses dados são importantes para se aceitar a validade dos resultados. Por exemplo, para a vazão mínima espera-se um número mínimo de 20 eventos, mas o recomendável é que sejam 30.

A estacionariedade foi utilizada para verificar o ajuste da série de dados históricos de vazão à distribuição normal, a partir da média e da variância de dois subperíodos distintos aplicando-se o teste *Fisher*. O processo consistiu de comparar os primeiros cinco anos da série de dados (lado esquerdo) ao restante da série (lado direito). Em seguida, adiciona-se um ano ao lado esquerdo e retira-se o mesmo do lado direito. Aplica-se novamente o teste à essas duas subséries. Repete-se esse procedimento sucessivamente até que o lado direito contenha apenas cinco anos. Caso algum resultado não seja favorável, a estacionariedade não pode ser assegurada com nível de significância a 5%, assim a aplicação dos resultados de vazão mínima não é

recomendada. Para situações como a apresentada no estudo de caso, em que a estacionariedade foi definida como “Ok”, significa que não houve mudanças no regime hidrológico que possam comprometer as análises, que a série amostral pertence a populações normais e que é formada por eventos independentes em nível de significância a 5%.

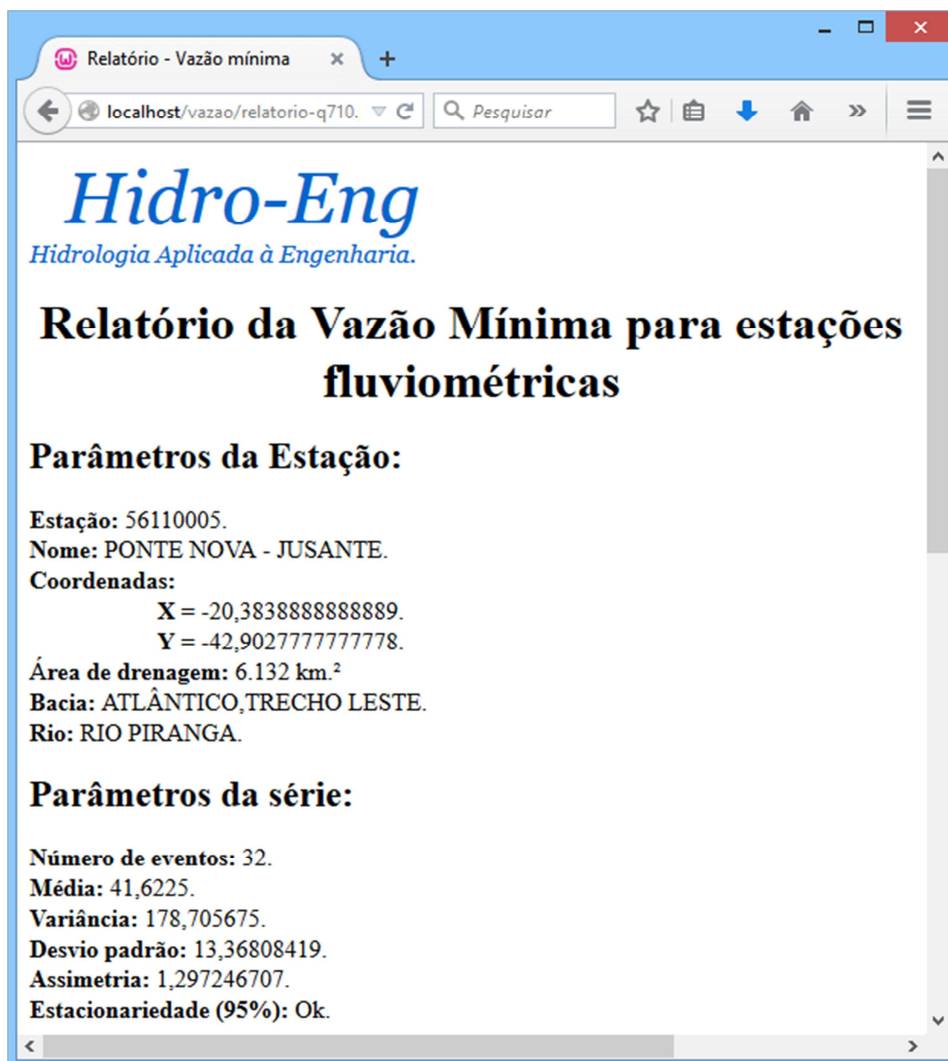


Figura 2: Tela parcial do relatório do Hidro-Eng.

Na Figura 3, pode ser vista a continuação do relatório da estimativa de vazões mínimas. É importante frisar que foram utilizadas cinco funções de distribuição de densidade de probabilidade (métodos estatísticos de distribuição).

O estudo de caso permite observar que estimativas de vazões mínimas dependem do parâmetro adotado. Para a situação em estudo as vazões de permanência superou todos os eventos obtidos para a $Q_{7,10}$. Sendo esta última, a metodologia preferida, mas não necessariamente a mais adotada no Brasil. As vazões obtidas são consideradas baixas para a manutenção de *habitats* aquáticos (OKAWA, 2009).

Os métodos hidrológicos estabelecem apenas vazões mínimas que devem ser mantidas no rio durante a estação seca e suspeita-se que um valor único de vazão mínima não seja suficiente para manter a sobrevivência dos biomas (POFF *et al.*, 1997). O volume de vazão necessário a sustentabilidade ambiental varia no tempo, assim os critérios deveriam contemplar as situações que caracterizam a sazonalidade do regime hidrológico. Assim, evitaria que em épocas de cheias os empreendimentos agrícolas não sofram as consequências dos chamados veranicos, situações em que há excesso de água nos rios, enquanto as plantações carecem de suprimento adequado de água.

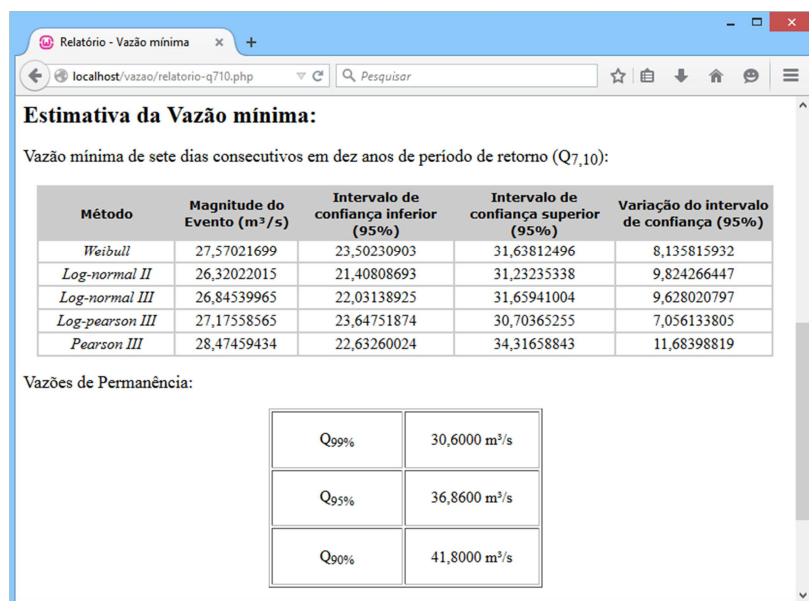


Figura 3: Tela parcial do relatório: seção das estimativas das vazões mínimas.

5 CONCLUSÕES

Conclui-se que foi desenvolvida uma interface gráfica *online* denominada Hidro-Eng (disponibilizado em <http://hidro-eng.com>), que permite a estimativa das vazões mínimas ($Q_{7,10}$; $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$) para a gestão de recursos hídricos por meio de tecnologia de *webservices* que automatiza o processamento dos dados fornecidos pela ANA e, portanto, a geração de informações hidrológicas confiáveis, de fácil acesso e de grande potencial em aplicações de engenharia.

6 RECOMENDAÇÕES

Importante ressaltar que foram aplicados critérios formais que são reconhecidos e convencionalmente aceitos como adequados para a realidade nacional. Mas recomenda-se que na utilização desses resultados sejam incluídos critérios políticos, sociais e de garantias de sustentabilidade ambiental.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MUKAI, Toshio. *Direito Ambiental Sistematizado*. Ed. 4ª. São Paulo: Forense Universitária, 2002.
2. SOUSA, H. T. *Sistema Computacional para Regionalização de vazões*. Dissertação de mestrado. 2009. Universidade Federal de Viçosa (UFV). Viçosa, MG.
3. TUCCI, C.E.M; CRUZ, J.C. *Estimativa de disponibilidade hídrica através da curva de permanência*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 13, nº 1, p. 111-124, 2008.
4. KITE, G. W. *Frequency and risk analyses in hydrology*. 5. ed.: Water Resources Publications Highlands Ranch - Colorado, 257p, 1988.
5. BENETTI, A. D.; LANNA, A. E. *Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 8, n.2, p. 149-160, 2003.
6. TUCCI, C.E.M. *Regionalização de vazões*. Porto Alegre: ABRH, 2002.
7. ANA. Agência Nacional de Águas. *HidroWeb – Sistema de Informações Hidrológicas*. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>, 2012.
8. OKAWA, C.M.P. *Em busca do hidrograma ecológico para a planície de inundação do alto rio Paraná: considerações iniciais*. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) - Universidade Estadual de Maringá, São Paulo, 2009.

9. POFF, N.L.; ALLAN, J.D.; BAIN, M.B.; KARR, J.R.; PRESTEGAARD, K.L.; RICHTER, B.D.; SPARKS, R.E.; STROMBERG, J.C. *The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration*. Bioscience, v. 47, n°. 11, p. 769 – 784, 1997.