

Estimativa da Disponibilidade Hídrica Através da Curva de Permanência

Jussara Cabral Cruz

Universidade Federal de Santa Maria

jussaracruz@pesquisador.cnpq.br

Carlos Eduardo Morelli Tucci

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

tucci@iph.ufrgs.br

Recbido: 04/12/06 – revisado: 10/09/07 – aceito: 12/12/07

RESUMO

O gerenciamento sustentável dos recursos hídricos pressupõe a regulação do uso das águas mediante o conhecimento da oferta hídrica da bacia hidrográfica e do balanço do mesmo frente às demandas de uso e de conservação ambiental. Considerando a variação temporal e espacial das vazões dos rios, juntamente com a demanda, a estimativa adequada da disponibilidade hídrica é fundamental para a eficaz implantação dos instrumentos de gestão, destacadamente a outorga. A disponibilidade hídrica ou a vazão num rio depende da variabilidade temporal expressa por várias funções hidrológicas. A curva de permanência é uma função que caracteriza a frequência da oferta das vazões, o que permite avaliar a disponibilidade frente às demandas de um rio. Este artigo avalia dois critérios utilizados para estimativa da curva de permanência e mostra a diferença nos resultados referentes à estimativa de disponibilidade em treze estações fluviométricas no Rio Grande do Sul. Pelas diferenças de estimativas entre os métodos estudados da “série toda” e o do “ano a ano” os resultados mostram que o primeiro - com mais frequência utilizado para as estimativas de vazões - pode não ser o mais adequado à instrução de processos de outorga, pois considera como referência o limite inferior do valor esperado da vazão de referência adotada.

Palavras-chave: : disponibilidade hídrica, curva de permanência, sazonalidade.

INTRODUÇÃO

O gerenciamento de recursos hídricos procura distribuir a água para sustentar e fomentar o desenvolvimento econômico e social, conservando o meio ambiente. O crescimento econômico e populacional tem provocado mudanças institucionais, jurídicas e administrativas sem precedentes em todo o mundo (Saleth et Dinar, 2000). Os países da União Européia procuram adaptar-se à Diretiva 2000/60/CE (CE, 2000), que estabelece um marco comunitário de atuação no âmbito da política das águas. Esse marco resultou de um processo que teve início em 1988, no Seminário Ministerial sobre a política das águas, celebrado em Frankfurt. Quase todos os países da América Latina e Caribe também empreenderam ações orientadas a melhorar a gestão dos recursos hídricos e do meio ambiente, induzidos pela Carta de Dublin e pelas recomendações da Agenda 21 (CEPAL, 1999b). As Nações Unidas estabeleceram as metas do milênio e conferências

internacionais de Joahannesburg estabeleceram mecanismos com a gestão integrada dos recursos hídricos e os Planos dos países como caminhos para a gestão sustentável.

No Brasil, a Constituição Federal de 1988 (Brasil, 1998) estabeleceu a propriedade das águas como um bem público, sendo ou propriedade da União ou dos Estados. As figuras de propriedade privada da água, bem como de águas municipais, previstas no Código de Águas (Brasil, 1934), não existem mais. Cabe, então, à União e aos Estados promover a gestão do uso dos recursos hídricos de sua competência.

A lei Federal 9433, de 08 de janeiro de 1997, e a lei estadual 10350, de dezembro de 1994 (Rio Grande do Sul, 1994), instituem e regulamentam os sistemas Federal e Estadual de gestão de recursos hídricos. Um dos instrumentos da gestão das águas é a outorga para o uso dos recursos hídricos. O estabelecimento dos critérios de outorga de direito de uso das águas, além de estar vinculado à disponibilidade hídrica, é dependente dos sistemas jurídicos e

econômicos locais. Para instruir um processo de outorga, o mesmo deve estar vinculado a estudos referentes ao "*balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais*" (Art. 7º... III da Lei Federal 9433/97 - BRASIL, 1997).

Este artigo aborda a determinação da disponibilidade hídrica de um sistema hídrico. Objetiva apresentar uma análise de diferentes critérios utilizados para estimativa da curva de permanência e sua representatividade para caracterizar a disponibilidade hídrica, seja para uso antrópico da água como para a conservação ambiental, flora e fauna.

DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Uma bacia hidrográfica tem como resposta à precipitação que ocorre sobre a mesma, a vazão no tempo, que representa a integração dos efeitos da precipitação, tipo e uso do solo, geologia e morfologia da bacia. A *disponibilidade hídrica* é entendida como a parcela vazão que pode ser utilizada pela sociedade para o seu desenvolvimento, sem comprometer o meio ambiente aquático. De outro lado a vazão resultante no rio após o uso da água é denominada aqui de *vazão remanescente* ("instream flow", segundo a literatura inglesa, Kramer, 1998). Esta vazão tem a finalidade de manter a integridade do sistema fluvial conservando o meio ambiente aquático.

A disponibilidade hídrica tem condicionantes de variabilidade no tempo e no espaço e não está limitada ao uso consuntivo, mas também às alterações que pode produzir no hidrograma do rio em relação às condições pré-existentes. Estes condicionantes possuem restrições quantitativas e qualitativas estabelecidas para: (a) atender os diferentes usos ao longo do tempo e do espaço; e (b) manter a integridade ambiental como citado acima.

O exemplo tradicional é o do uso consuntivo que deriva volume de água para o abastecimento de água doméstico e industrial ou irrigação, reduzindo a vazão no curso de água. Isto tem implicações de diminuir a disponibilidade para jusante e alterar as condições ambientais e de qualidade da água.

No entanto, existem usos considerados não-consuntivos como para a geração de energia hidrelétrica que através de um reservatório pode não alterar de forma significativa o volume do escoamento, mas poderá atuar fortemente sobre o hidrograma ou a variabilidade das vazões no tempo.

Independente dos usos existentes em uma bacia, a curva de permanência é utilizada para estimativa de disponibilidade hídrica da vazão atualmente escoada pelo rio (vazão remanescente).

Métodos para estimativa da disponibilidade hídrica

A escolha da variável ou função hidrológica que caracteriza a disponibilidade é questionável devido à capacidade de representatividade dos processos físicos e ambientais. As funções hidrológicas tradicionais são: o hidrograma que representa a vazão no tempo, mas não indica a probabilidade de sua ocorrência, apenas é descritivo do comportamento; a curva de permanência que representa uma forma de expressão da frequência de ocorrência das vazões do rio, mas tem como limitação a falta de representatividade da seqüência temporal; a curva de probabilidade de vazões médias e mínimas que trabalham com valores médios, que não retratam a variância dos valores e a mínima, que trata de extremos e não a variação durante os períodos de estiagens.

A curva de permanência foi escolhida para esse estudo de análise da disponibilidade hídrica em função de sua representatividade dos períodos de estiagens.

Determinação da curva de permanência

A curva de permanência ou de duração de vazões relaciona a vazão (geralmente no eixo das ordenadas) e a porcentagem do tempo em que ela é superada ou igualada sobre todo o período histórico utilizado para sua construção (geralmente no eixo das abscissas). Representa o complemento da função distribuição cumulativa de probabilidade de vazões ou a probabilidade de excedência das vazões (Quimpo e McNally, 1983; Voguel e Fennessey, 1994). Não se pode dizer que a permanência refere-se à probabilidade das vazões em qualquer ano, mas pode ser interpretada como uma "garantia" ou probabilidade de ocorrência das vazões num horizonte de planejamento (Searcy, 1959 apud Voguel e Fennessey, 1994; Voguel e Fennessey, 1995), apesar de estatisticamente utilizar vazões dependentes entre si.

A Figura 1 apresenta de forma esquemática a relação entre fluviograma e curva de permanência. Considerando cada vazão, tem-se que a área sob a reta horizontal, correspondente a esta vazão, representa volumes iguais em cada gráfico. A curva de permanência sintetiza a variabilidade das vazões, caracterizando a base de comportamento para a sustentabilidade de sistemas aquáticos.

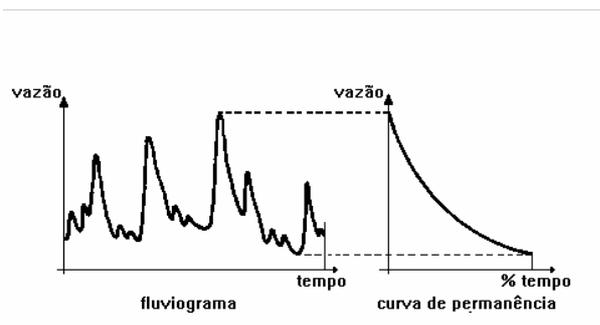


Figura 1 - Representação esquemática do fluviograma e respectiva curva de permanência – baseada em Quimpo e McNally (1983)

O primeiro uso da curva de permanência é atribuído a Clemens Herschel por volta de 1880 (Foster, 1934 apud Fennessey e Voguel, 1990). As curvas de permanência são amplamente utilizadas na prática da hidrologia para diversas finalidades. Segundo Smakhtin (2001), possivelmente a primeira revisão dos usos da curva de duração de vazões tenha sido feita por Searcy em 1959. Outra revisão foi feita posteriormente por Voguel e Fennessey (1995). Dentre esses usos, constam estudos de conciliação entre retiradas e lançamentos associados aos sistemas de gerenciamento de recursos hídricos (referência amplamente utilizada no Brasil, como, por exemplo: Ceará, 1994; Cabral, 1997; Bahia, 1995), gerenciamento da qualidade da água, abastecimento de água, estudos de potencial energético hidráulico, planejamento de irrigação, estudos de impactos na resposta hidrológica nos rios oriundos de diferenças regionais em geologia, clima e fisiografia entre bacias, manutenção de habitats (uso ambiental), estudos de sedimentometria em rios (Fennessey e Voguel, 1990; Voguel e Fennessey, 1995; Smakhtin, 2001).

A técnica mais freqüente de obtenção da curva de permanência é empírica e também amplamente descrita nos livros de hidrologia (Searcy, 1959 apud Voguel e Fennessey, 1994; Remenieras, 1971; Pinto, 1973; Villela e Mattos, 1975; Lanna, 1993; Tucci, 1993 e 2000, entre outros). Uma técnica consiste em estabelecer intervalos (ou classes) ordenados de vazões, de acordo com a magnitude das vazões, procurando, assim, ter uma quantidade razoável de valores ou “ogivas” em cada intervalo, bem como associar uma freqüência de ocorrência das vazões e acumulá-las. Como se trata de associar freqüências de ocorrências às vazões, outra alternativa é ordenar todos os valores de vazão em ordem decrescente e associar a cada valor uma freqüência de excedência, utilizando uma posição de plotagem

empírica, tal como m/n ou $m/n+1$, sendo m a ordem do valor ordenado e n o número de valores da série (Fennessey e Voguel, 1990; Jacobs e Voguel, 1998). Essas técnicas concebem as curvas de permanência como funções cumulativas de probabilidade essencialmente empíricas e não-paramétricas (Fennessey e Voguel, 1990). Pode-se, também, em função de objetivos específicos, parametrizar a curva, ajustando uma equação à curva assim obtida (Quimpo e McNally, 1983; Mimikou e Kaemaki, 1985; Fennessey e Voguel, 1990; Tucci, 1993; Lê Boutillier e Waylen, 1993; Cigizoglu e Bayazit, 2000).

A permanência de uma vazão representa a probabilidade de excedência dessa vazão no tempo, ou seja, é definida como a probabilidade de ocorrência da vazão média diária do rio ser maior ou igual a um determinado valor, no período de sua amostra. Usando a terminologia estatística, a curva de permanência é o complemento da função densidade cumulativa de probabilidade (FCP) das vazões médias diárias (Voguel e Fennessey, 1994). Essa definição representa uma aproximação de uma função estatística, uma vez que as vazões médias diárias não são variáveis independentes. O método consiste em atribuir a cada vazão q uma probabilidade de excedência associada p :

$$p = 1 - P\{Q \leq q\} \quad (1)$$

ou

$$p = 1 - F_Q(q) \quad (2)$$

onde p é a freqüência de excedência; q é a vazão; P é a função de probabilidade e $F_Q(q)$ é a função densidade cumulativa de probabilidade das vazões.

A vazão (percentil) Q_p é freqüentemente chamada de *função empírica* (Voguel e Fennessey, 1994) e pode ser estimada a partir de uma função empírica de percentis (probabilidades acumuladas), a partir da escolha de uma posição de plotagem. Uma das mais utilizadas para a determinação das curvas de permanência é a equação de Weibull, como nos trabalhos de Fennessey e Voguel (1990) e Jacobs e Voguel (1998).

Sendo i o número de ordem do *i*-ésimo valor ordenado de vazão $q(i)$, e n o número de dados ordenados, tem-se que a probabilidade de excedência p_i de $q(i)$ é dada por:

$$p_i = 1 - F_Q[q(i)] \quad (3)$$

onde a posição de plotagem de *Weibull* correspondente é dada por:

$$p_i = \frac{i}{n+1} \quad (4)$$

Voguel e Kroll (1990) utilizaram, ao ajustar uma função log-normal à curva de permanência, a posição de plotagem de Blom. Voguel e Fennessey (1994) apresentaram um estudo relativo à escolha de procedimento não-paramétrico de estimativa de percentis. Ao comparar a estimativa por *Weibull* com o método das “ogivas” ou divisão em classes, os estudiosos concluíram que *Weibull* produz uma curva ligeiramente mais suave e representativa que a técnica por classes. Nesse mesmo trabalho, Voguel e Fennessey (1994) revisaram outros tipos de estimadores de frequências de excedência. O primeiro, com base na média ponderada de duas estatísticas adjacentes, foi proposto por Parzen apud Voguel e Kroll (1990). Nele, cada percentil $p(i)$ é associado à vazão $Q(i)$ obtida pela ponderação dos valores ordenados das vazões amostrais $q(i)$ e $q(i+1)$. O autor constatou que a eficiência do estimador ponderado só é superior a *Weibull* quando utilizado com amostras pequenas. O segundo estimador baseia-se na consideração de que a função cumulativa $FQ[q(i)]$ segue uma distribuição Beta. Um terceiro tipo utiliza métodos de integração numérica. Os autores avaliam que, mesmo para pequenas amostras, a estimativa por *Weibull* e o estimador de média ponderada podem estimar tão bem quanto os estimadores mais complexos.

Variabilidade sazonal e inter-anual

Usualmente, a curva de permanência tem sido estimada, considerando na sua determinação, todo o período de dados da série histórica. Esse tipo de curva não contempla os efeitos a) da sazonalidade ao longo de cada ano e b) da variação inter-anual. O primeiro é decorrente da natural variação existente ao longo do ano das vazões de um determinado local.

Para considerar a sazonalidade pode-se determinar a curva para cada mês do ano com todos os anos da série. Dessa forma, a vazão de permanência 90%, por exemplo, não é necessariamente igual para janeiro e julho. Este tipo de resultado permite distinguir os condicionantes mensais de sazonalidade.

Quimpo e McNelly (1983), Silveira et al. (1993) e Voguel e Fennessey (1994) calcularam e

compararam curvas de permanências obtidas para diferentes períodos de uma mesma estação com dados, demonstrando quão dependente a curva de permanência é do período selecionado de dados utilizados, principalmente para os percentis maiores que 0,8 ou 80%. Este resultado está relacionado diretamente a representatividade da amostra utilizada. Em 1990, Parrett e Cartier estudaram três métodos regionais para estimativas, em bacias sem dados, de descargas médias mensais e vários pontos da curva de permanência de vazões diárias para cada mês. Smakhtin et al. (1997), em um estudo de regionalização de características de vazões mínimas na região de Eastern Cape, África do Sul, igualmente determinaram uma curva de permanência para cada mês do ano.

No Brasil, a idéia de considerar esse aspecto da sazonalidade do regime hidrológico, através da estimativa de uma curva de permanência para cada mês do ano, foi sugerida por Kelman (1997) e Silveira et al. (1998). Também Ribeiro (2000, 2003), nos seus estudos relativos a critérios de outorga, ensaiou outorgas considerando vazões de permanência empíricas mensais, tendo comprovado, através de simulações, que a estratégia sazonal obteve melhores resultados que a utilização de um único valor anual. Nos estudos da bacia do Baixo Jacuí, RS (CRH, 1999), foram obtidas as curvas de permanência e também as vazões $Q_{7,10}$ para cada mês. As curvas de permanência foram calculadas para estabelecer vazões de referência para outorga e as $Q_{7,10}$ para serem utilizadas como referência de demanda ambiental. Nesse estudo, ficou evidente a necessidade da disponibilidade sazonal, principalmente devido ao fato de as demandas para irrigação variarem mês a mês, de dezembro a março, tendo-se identificado situações com reduzida capacidade de expansão da demanda, uma vez que os meses de plantio coincidem com a redução da oferta hídrica para outorga.

Os procedimentos tradicionais estabelecem a curva de permanência com os dados disponíveis sem considerar a distribuição o intervalo de confiança de cada probabilidade da curva de permanência, admitindo-se que o valor médio esperado para o nível p de probabilidade é suficiente para a tomada de decisão. A distribuição dos valores de vazão para um nível de probabilidade p pode ser importante para a definição da vazão de outorga e caracteriza a variabilidade inter-anual das curvas de permanência anual como sazonal.

Para considerar a variabilidade da série quanto à sazonalidade e entre anos (inter-anual) são utilizadas amostras anuais de curva de permanência, sejam para cada mês do ano ou para cada ano. A

curva de permanência é determinada para cada mês ou ano, representando uma mostra de n valores para valor de percentil da mesma. LeBoutillier e Waylen, (1993) ajustou uma distribuição estatística para cada percentil, determinando o intervalo de confiança, Voguel e Fennessey (1994) apresentaram a mesma abordagem, porém sugeriram a utilização de métodos não paramétricos para a construção das curvas de permanência. Jehng-Jung e Bau (1996) usaram a mesma estratégia, só que considerando a sazonalidade, ou seja, calculando uma curva de permanência para cada mês, cada ano. Segundo Voguel e Fennessey (1995), já em 1959, Searcy teria sugerido examinar as curvas de permanência ano a ano; para isso, teria sugerido a adoção de um ano climático, dividido com base nos períodos de estiagem.

MATERIAL E MÉTODOS

A bacia do estudo de caso para o teste das metodologias é a bacia Baixo rio Jacuí, correspondente ao curso inferior do rio Jacuí, a qual é uma das 23 bacias hidrográficas integrantes do sistema estadual de recursos hídricos, pertencente à região hidrográfica do Guaíba. Na Figura 1 apresenta-se um mapa esquemático da bacia, com suas Seções Hidrológicas de Referência utilizadas no estudo.

As seções fluviométricas com dados disponíveis e utilizados para a análise, constam na **Tabela 01** e pertencem a Bacia Hidrográfica do rio Jacuí, na região central do Rio Grande do Sul.

A análise baseou-se na comparação dos dois critérios de obtenção das curvas, *critério da série toda e critério ano a ano*:

- *critério da série toda*: considera a série completa de vazões disponíveis no período histórico de dados em termos mensais ou totais.
- *critério ano a ano*: o método baseia-se na hipótese de que um ano hidrológico pode ser analisado como sendo uma realização estatística independente de uma série de ocorrências anuais. Através dessa abordagem, é possível avaliar o comportamento hidrológico em função da ocorrência de anos secos e úmidos ao longo do tempo e tratar estatisticamente a curva de permanência, tomando-se como variáveis aleatórias cada permanência de vazão que se queira estudar.

Tabela 1 – Estações Fluviométricas Utilizadas no Estudo

Código	Estação Fluviométrica	Bacia Km ²	Período Dados Consistidos
85610000	Passo do Freire	62	1984 a 1994
85615000	Passo do Lageado	69	1983 a 1999
85623000	São Sepé Montante	721	1985 a 1999
85830000	Santa Cruz Montante	784	1979 a 1999
85438000	Restinga Seca	914	1976 a 1999
85470000	Ponte São Gabriel	973	1967 a 1999
85740000	Candelária	1376	1984 a 1994
85480000	Passo do Rocha	2968	1969 a 1999
85462000	Passo São Lourenço	27416	1984 a 1997
85645000	Fandango Jusante	30318	1984 a 1997
85681000	Dom Marco Jusante	34648	1984 a 1997
85900000	Rio Pardo	38753	1939 a 1999
87040000	Passo do Raso	71454	1984 a 1997

A metodologia consiste no seguinte, para o critério ano a ano:

- Determine a curva anual de permanência do período j dias, onde j pode ser 1,2 ou j meses, ou ainda um ano.
- Considerando-se a existência de " n " anos, com dados de vazões, pode-se obter " n " curvas de permanência. A Figura 3 ilustra como são agrupados os conjuntos de cada variável aleatória considerada no trabalho.
- Para cada percentil haverá um valor esperado e uma distribuição estatística dos valores. É provável que os valores se distribuam segundo a normal. Com base na média e desvio padrão é possível determinar o intervalo de confiança desejado para cada percentil da curva de permanência.

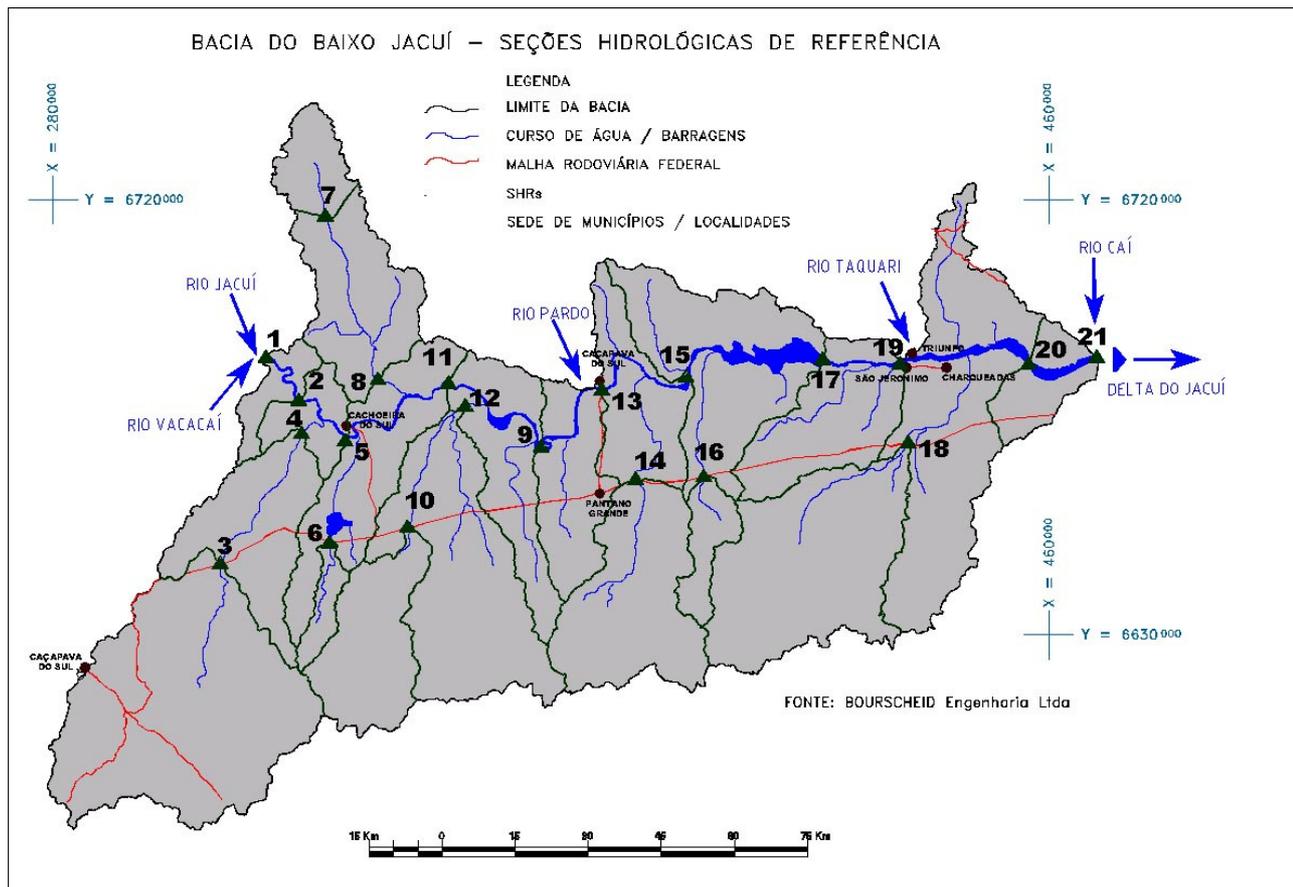


Figura 2 - Mapa da bacia de gerenciamento Baixo Jacuí, com as seções hidrológicas de referência utilizadas no estudo.

O uso do método da série toda implica que o valor de cada percentil se refere à ocorrência do período da amostra. Os anos de maior estiagem influenciarão os valores da parte inferior da curva de permanência, geralmente para percentis acima de 95%. Por exemplo, numa série de 30 anos, existem $30 \times 365 + 7 = 10957$ valores. Considerando que a estiagem represente um período de 3 meses, os cinco anos com menores vazões representam um total de 540 dias e cerca de 4,1 % dos valores, o que indica que na curva de permanência da série toda estes anos devem definir as vazões para percentis acima de 96%, como se todos os cinco anos ocorressem em seqüência.

No uso das curvas de ano a ano, representa o valor esperado de um ano médio e não de um ano de estiagem. Portanto deve-se ter o cuidado na interpretação dos valores. Por exemplo, o valor de 95% médio, significa que 50% dos anos existirão valores inferiores. Ao se adotar a média, deve-se

esperar que 50% do tempo esta condição seja rompida.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na **Tabela 02**, são apresentados as curvas de permanências calculadas ano a ano, para o mês de agosto, utilizando-se como exemplo a estação Passo do Rocha.

A média dos valores - para cada percentil - representa a curva de permanência calculada conforme o critério *ano a ano*.

Na **Tabela 03** consta esta curva com os limites de confiança de 95 e 99%, além da curva de permanência calculada pelo método da *série toda* - para efeito de comparação.

Somente para a curva de permanência avaliada com o critério *ano a ano* é possível calcular as

estatísticas, pois se dispõe de uma série amostral de valores de vazão para cada percentil. A cada série obtida, foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov para avaliar a variabilidade dos dados, como forma de verificar a hipótese de que os dados seguem uma distribuição normal.

Tabela 02 – Curvas de permanência para cada ano

Estação Fluviométrica Passo do Rocha							
Ano	Q _{40%}	Q _{50%}	Q _{60%}	Q _{70%}	Q _{80%}	Q _{90%}	Q _{95%}
1969	53,1	41,1	32,1	25,8	20,7	17,9	16,5
1971	101,6	80,1	65,7	56,3	46,8	39,2	31,0
1972	205,6	128,0	111,8	108,0	102,8	99,2	97,0
1973	118,6	88,2	76,0	56,3	45,5	40,0	35,9
1974	56,2	45,8	33,8	27,8	21,0	17,7	13,6
1975	204,4	153,0	124,0	115,2	98,9	81,2	69,5
1976	118,2	89,5	39,7	26,6	21,5	20,4	20,2
1977	114,6	96,1	83,3	63,3	51,7	44,7	42,5
1978	34,0	22,6	15,2	13,5	12,7	12,0	11,4
1979	171,2	99,0	63,3	46,3	30,5	22,9	19,4
1980	54,6	27,6	23,3	20,1	17,6	14,0	12,0
1981	14,1	13,0	11,9	10,4	8,4	7,5	7,2
1982	108,4	83,1	55,7	39,8	35,3	31,5	30,6
1983	56,5	48,0	44,8	32,8	26,6	25,0	24,3
1984	52,6	43,1	33,2	30,3	29,6	26,5	24,3
1985	225,4	152,0	114,6	68,7	42,5	37,3	36,6
1986	65,7	57,2	46,5	43,9	33,0	28,8	27,8
1987	190,8	139,0	94,6	75,7	70,9	58,5	52,0
1988	19,2	17,0	15,6	12,5	9,6	8,5	8,1
1989	14,2	13,3	12,5	10,6	8,6	3,5	2,8
1991	24,7	19,8	16,5	14,2	12,6	11,9	11,9
1992	39,0	35,8	34,7	33,2	32,4	30,8	30,4
1993	23,4	21,0	17,6	15,2	14,6	13,6	12,7
1994	84,5	62,1	54,5	48,6	30,4	27,2	26,4
1995	98,8	67,2	47,6	30,3	23,4	19,0	17,7
1996	10,0	7,5	5,7	4,9	4,3	4,0	4,0
1997	24,1	22,1	20,5	18,8	16,7	13,1	11,8
1998	49,5	48,2	39,9	36,0	33,1	31,1	30,6
1999	25,7	21,4	18,1	15,7	14,9	14,3	13,6

A normalidade a um nível de significância de 10% foi aceita para 87,3% das séries. Analisando-se cada estação, observou-se que a estação Passo das Tunas não seguia a tendência de aceitação. Retirando-se Passo das Tunas das estatísticas, encontrou-se um nível de rejeição da normalidade dos dados da ordem de 8,2% entre todas as séries amostrais. Esse percentual permitiu admitir a normalidade das séries de percentis de curvas de permanência e calcular os intervalos de confiança a partir das equações

da distribuição normal, conforme apresentado na Tabela 03.

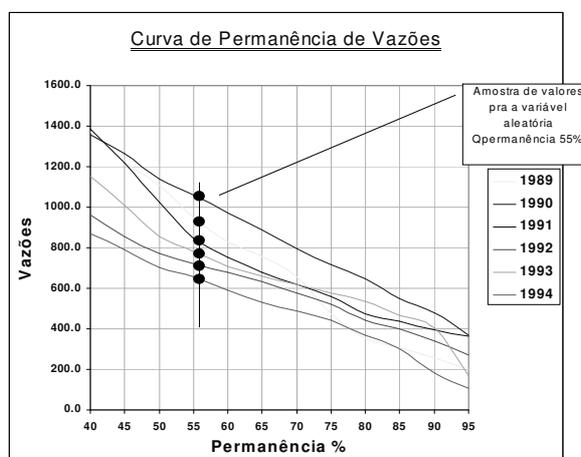


Figura 3 Conjunto de dados das variáveis aleatórias “Vazão de Permanência X%”

Tabela 03 – Cálculo das curvas de permanência com os diferentes critérios

Estação Fluviométrica Passo do Rocha							
Critério	Q _{40%}	Q _{50%}	Q _{60%}	Q _{70%}	Q _{80%}	Q _{90%}	Q _{95%}
<i>série toda</i>	60,0	44,8	33,1	25,6	18,7	13,2	10,2
<i>ano a ano</i>	84,4	62,2	48,2	39,2	32,6	28,5	26,4
<i>90- ano a ano</i>	63,6	48,2	37,5	30,3	24,7	21,4	19,8
<i>90+ ano a ano</i>	105,3	76,2	58,9	48,2	40,5	35,5	32,9
<i>95- ano a ano</i>	59,6	45,5	35,5	28,6	23,2	20,1	18,5
<i>95+ ano a ano</i>	109,2	78,9	61,0	49,9	42,0	36,9	34,2
<i>98- ano a ano</i>	55,0	42,4	33,1	26,6	21,5	18,5	17,1
<i>98+ ano a ano</i>	113,9	82,0	63,4	51,9	43,8	38,5	35,6
<i>99- ano a ano</i>	51,9	40,3	31,5	25,2	20,3	17,5	16,1
<i>99+ ano a ano</i>	117,0	84,1	65,0	53,2	45,0	39,5	36,6

onde 90+, 95+, 99+, 90-, 95-, 99- são bandas de confiança da curva calculada pelo critério “ano a ano”.

A Figura 04 apresenta gráficos da estação Passo do Rocha e representa a síntese dos valores apresentados anteriormente na Tabela 03. Em sua parte superior, a Figura 04 apresenta as curvas com escala completa de 0 a 100% de permanência. A parte inferior da figura apresenta as mesmas curvas com escala modificada de 40 a 100%, de modo a permitir avaliar melhor os detalhes para as disponibilidades menores.

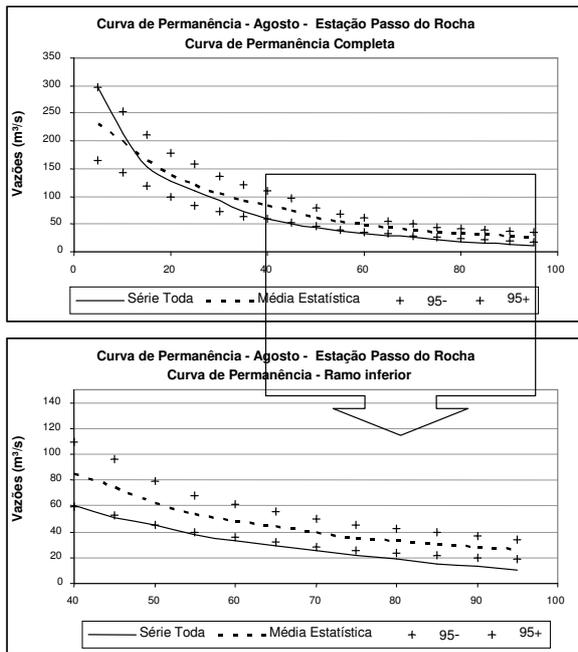


Figura 4 - Curva de permanência em Passo do Rocha – 85480000

Para as permanências mais baixas, a dispersão nos valores das vazões com relação à média estatística é maior, o que parece ser natural, já que corresponde ao intervalo das vazões de maior magnitude, que, além de representarem os escoamentos de origem, inclusive superficial, caracterizam-se pela maior variabilidade no tempo, elevando, assim, a dispersão dos valores na curva de permanência. Porém, se considerarmos as vazões relativas (adimensionalizadas pelas respectivas médias em cada percentil), observa-se uma tendência de homogeneidade em todos os percentis na maioria dos casos (Figura 5), embora poucas exceções ocorram em algumas estações para alguns meses principalmente de verão, quando então se percebe uma dispersão maior nos percentis menores (Figura 6).

Para todas as estações fluviométricas, a vazão média (Q_{pAA}) para as permanências maiores que 40% em quase todos os casos é superior à vazão de permanência empírica (Q_{pST}), como era de se esperar (Figura 4), pois a representatividade da curva média da curva de permanência estatística é de um ano médio, enquanto que a curva que utiliza toda a série se refere a todo o período. Observa-se da Tabela 2 que o valor médio obtido pelo método estatístico para 80% da curva de permanência de um ano médio corresponde a cerca de 60% quando a análise é

para *série toda*. Considerando os intervalos de confiança, observa-se, que neste caso, o valor de 80% de toda a série é obtido aproximadamente para o intervalo de confiança inferior de 95%, ou seja, dois desvios padrões abaixo da média.

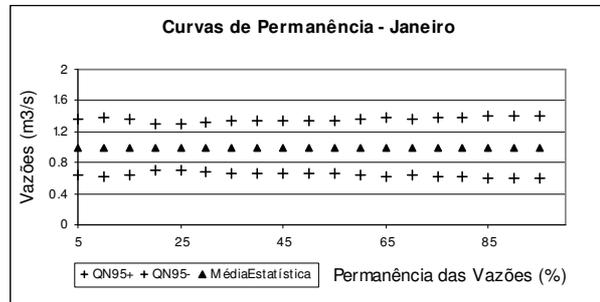


Figura 5 - Curvas de permanência adimensionalizadas e respectivos intervalos de confiança – Dom Marco Jusante – 8568100 – mês Janeiro

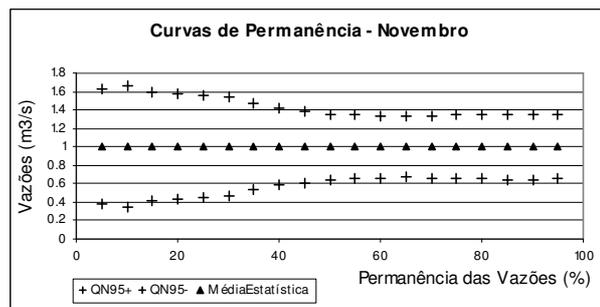


Figura 6 - Curvas de permanência adimensionalizadas e respectivos intervalos de confiança – São Sepé Montante – 8562300 – mês novembro

Em resumo, a curva de permanência média (Q_{pAA}) representa os valores esperados de permanência em um ano qualquer, enquanto que a curva empírica (Q_{pST}), baseada em um período suficientemente longo, representa a probabilidade de ocorrência no período da amostra dos dados. Essa probabilidade, na faixa das vazões mínimas, segundo a conceituação de Smakhtin (2001), representa o *limite inferior da distribuição de probabilidades das vazões* para o período histórico selecionado, devido ao fato de os valores auto-correlacionados estatisticamente serem tratados como valores independentes.

Como para a determinação das permanências das vazões pelo *critério da série toda* todos os valores de todos os anos estão juntos e ordenados, a curva resultante não se constitui em estimadora da

probabilidade de ocorrência para um ano qualquer e sim a um período de anos igual ao período analisado.

Os resultados obtidos com os cálculos das curvas de permanência pelos dois critérios estão de acordo com essas afirmações, estando a curva empírica para as vazões mínimas *sempre* abaixo da curva média e quase sempre tangenciando a parte inferior da banda de confiança de 98 e 99% e caracterizando-se como realização estatística possível, embora para a vazão do percentil de 95%, muitas vezes, os valores empíricos sejam menores que os do limite inferior do intervalo de confiança (Figura 7).

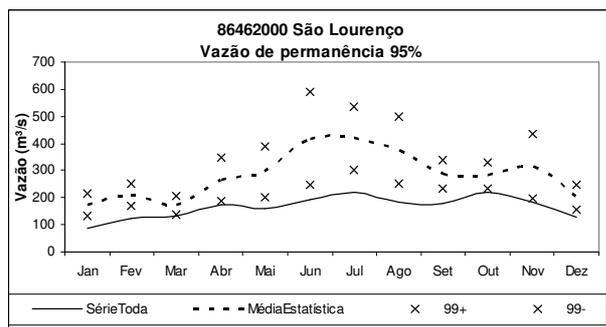


Figura 7 - Vazões de 95% de permanência – dois métodos de cálculo

Quando os ciclos anuais são organizados como ocorrências independentes, como no caso de obtenção das curvas de permanência pelo *método ano a ano*, minimiza-se o efeito da auto-correlação dos dados, de forma que, neste processo estatístico, remete à avaliação de um intervalo de ocorrências possíveis em cada ano para uma determinada variável. A *dispersão* próxima da média indica a *variabilidade* entre seqüências de anos secos ou úmidos, isto é, quanto mais significativas as diferenças entre as características hidrológicas de anos consecutivos, maior será a dispersão. (Quanto mais distribuídos entre os anos os eventos de extremos, menor será a dispersão dos dados e menor será a variabilidade entre anos).

Pelo *critério ano a ano*, a curva de permanência apenas aponta para o valor médio dentro do intervalo de confiança. A interpretação deste valor deve ser função dos objetivos, isto é, qual aplicação será dada para os resultados.

Pelo *critério da série toda* os valores das permanências maiores apontam para vazões menores e, portanto, com menor risco. Isso porque, no seu ramo inferior, encontram-se os menores valores de toda a série, agrupando todas as ocorrências de

estiagens em um mesmo conjunto, sendo que, próximo a 100%, o valor empírico é o menor valor de toda a série.

Nas Figuras 8 e 9 são apresentados os valores obtidos pelos dois métodos, tomando-se como referência as permanências de 50% e 95%, compararam-se os valores obtidos para os períodos sazonais: série toda (Q_{pST}) e média estatística (Q_{pAA}) com seus intervalos de confiança para cada mês; e os valores obtidos para o período anual. Pode-se observar, claramente, uma diferença de comportamento das vazões referentes aos meses de verão em relação ao resto do ano, refletindo as diferenças climáticas que definem a sazonalidade.

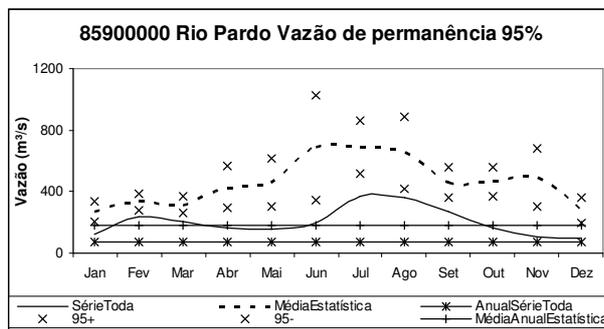


Figura 8 - Vazões de 95% de permanência – mensais e anual

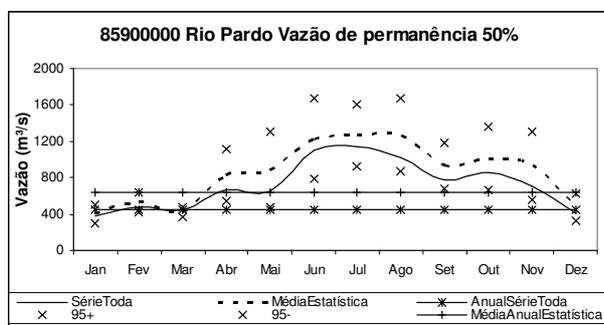


Figura 9 - Vazões de 50% de permanência – mensais e anual

Foram também comparadas as diferenças percentuais entre os valores das curvas médias estatísticas e das curvas empíricas.

As diferenças encontradas pró-média, entre os valores das curvas de permanência série total e média estatística, são maiores para as permanências mais elevadas e tendem a cair à medida que diminui a permanência de vazões. Percebe-se, também, que existe uma diferença de comportamento entre os

valores das bacias afluentes (bacias menores) e os valores para as seções no leito do rio Jacuí (bacias grandes). Isto é decorrência da maior regularização natural das bacias maiores. Quanto menores forem as áreas contribuintes das bacias, maiores serão as diferenças entre as disponibilidades, principalmente para os percentis acima de 80%, obtidas pelos critérios ano a ano e da série toda. Nesse caso, é de se esperar maior sensibilidade no sistema para as pequenas bacias. Devido a essa característica, no que diz respeito à estimativa de vazões em seções sem dados, a escolha do critério de cálculo da curva de permanência torna-se mais importante.

INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS FRENTE AO PROCESSO DE GESTÃO

O cálculo de vazões mínimas é informação fundamental para a instrução de processos de gestão de recursos hídricos relativos ao enquadramento, à outorga e à cobrança pelo uso da água, segundo prevêem as nossas legislações em nível federal e estaduais. Assim como ocorre em diferentes estados brasileiros, as vazões de referência adotadas para a outorga são valores geralmente oriundos de vazões representativas da curva de permanência de vazões, tais como $Q_{50\%}$, $Q_{90\%}$, $Q_{95\%}$ e $Q_{99\%}$ entre outros.

Conforme a interpretação hidrológica dos métodos de cálculos apresentados neste trabalho, – o da série toda e o ano a ano – ambos são tecnicamente corretos e usualmente utilizados para a determinação dos valores das vazões de referência para outorga: o método *ano a ano* apresenta como resultado o valor esperado da vazão e o da série toda, um limite inferior de ocorrência do valor esperado, quando analisadas as vazões mínimas.

A questão que se impõe é a seguinte:

Qual é o método de cálculo da curva de permanência mais adequado à instrução dos processos de gestão?

É importante avaliar-se a questão em função de gerência exercida: se a da oferta ou a da demanda.

O gerente da oferta é o poder público através do sistema de gestão estabelecido pela lei das águas, sendo o seu objetivo otimizar e fomentar o uso da água com benefício socioeconômico em bases ambientais.

Destacando o processo de outorga, é importante considerar que toda a autorização para o uso da água está associada a uma garantia e a um risco de não atendimento da demanda. Por consequência, a outorga concedida pelo poder público não representa a garantia absoluta, sendo cancelado o uso em períodos de estiagem.

O Rio Grande do Sul está outorgando para a bacia do Rio Santa Maria com base no critério de cálculo com embasamento estatístico, o método *ano a ano*, conforme definido no estudo SEMA/UFSM (2004). O usuário será outorgado pela média estatística, mas tem liberdade de assumir o risco de não atendimento em períodos de estiagem. Como vantagem, o produtor pode se programar para utilizar mais água do que utilizaria se a outorga fosse emitida pelo critério da permanência calculada pela série toda.

Quem é outorgado recebe uma garantia de uso condicionada ao racionamento em períodos de estiagem. Este período de estiagem está vinculado às vazões mínimas a serem escoadas pelo rio, necessárias ao abastecimento urbano, preservação ambiental e a dessedentação animal. Por isso é necessário estabelecer um controle. Esse pode ser exercido através do estabelecimento dos níveis correspondentes às vazões remanescentes em régua limnimétricas em diferentes seções. O risco de não atendimento deve fazer parte da estratégia do gestor da demanda – o usuário da água.

Com a estratégia de auferir ao usuário a gestão de risco de racionamento (a maior seca está sempre por vir), o órgão gestor estadual, induz o uso adequado da água, pois nenhum usuário quereará correr riscos desnecessários, procurando assessorar-se de previsões de fenômenos meteorológicas como o *el niño* e *la nina*.

Olhando ainda pela ótica da gerência da demanda, pode-se considerar diferentes estratégias e usos.

Por exemplo, se a finalidade for o uso da água para geração de energia, em estudos de inventários e pré-viabilidade, a adoção do valor esperado para a vazão da garantia selecionada vai remeter ao projeto de conjuntos de turbinas que funcionem com vazões dentro do intervalo de confiança da vazão média, isto é, que possam turbinar vazões afluentes entre o limite inferior e o superior. Dessa forma, a produção de energia em anos mais secos é compensada pela produção em anos mais úmidos, pois o fato de ocorrerem anos com vazões menores que a média não implica prejuízo financeiro para a atividade ao longo da vida útil do projeto.

No caso da irrigação o mesmo não ocorre, pois se o usuário planejar o plantio considerando a necessidade de água igual à vazão média, nos anos mais secos, os agricultores sofrerão perdas devido à falta de água. Isso porque, conforme a definição da curva, existe 50% de chance de que, em um ano qualquer, a vazão seja menor do que média. Portanto, o planejamento do plantio deve ser feito considerando os riscos de perda para os casos em que os anos mais secos estiverem ocorrendo. Porém, para projetar com o valor do limite inferior do intervalo de confiança de 95%, tem-se que a probabilidade de ocorrência de um valor, menor ou igual a ele, é de 2,5% ou 40 anos. Nesse caso, em média, 39 vezes em 40 anos existirá uma vazão disponível superior a de referência de outorga. Conseqüentemente, o produtor, cuja permissão de uso da água está relacionada a esta referência, provavelmente produzirá menos do que poderia pela água existente.

Considerando-se, ainda, que os valores da curva empírica (*método da série toda*) para os percentis importantes para a agricultura, como o percentil de 95%, são compatíveis ou menores que as vazões do limite de confiança inferior de 99%, tem-se que o uso da vazão empírica para outorga é extremamente seguro, porém não é a melhor opção econômica. Nesse caso, o problema do usuário é identificar que vazão entre a média e o limite inferior do intervalo de confiança é a melhor vazão a ser efetivamente utilizada.

Para buscar essa resposta, foram realizadas simulações de balanço hídrico com as séries históricas e os valores outorgados. Verificou-se que, para a bacia do Baixo Jacuí, a vazão de referência que atende o risco de 5% de falha, está definida entre a média e o limite inferior do intervalo de confiança de 95%, em especial nos quatro meses críticos, o que permite a sugestão de que no planejamento da outorga seja utilizada a vazão do limite inferior do intervalo de confiança de 95%.

Outra avaliação realizada, a partir das simulações de balanço hídrico com a série histórica, foi a quantificação dos números máximos de dias consecutivos com falha, e respectivos volumes de déficit, a qual permite uma avaliação dos riscos de prejuízo. Se as falhas se distribuem entremeadas de dias com suficiência de água, não sendo freqüente a concentração das falhas, o risco de perdas é menor do que nos casos em que ocorre a concentração das falhas em seqüências de dias maiores e maior for o volume dessa seqüência. Isto é particularmente importante para o exemplo da agricultura, que dependendo dos dias de seca pode perder irreversivelmente a cultura, ao contrário de ocorrências de falhas entremeadas

com dias de suprimento da demanda. A análise desses riscos é subsídio à tomada de decisão sobre quais valores devem ser adotados como referência para a outorga. Para exemplificar, pode-se citar que o número máximo de falhas para a SHR2 foi o mesmo para as bandas 99-, 95- e 90-, porém a diferença entre os volumes de déficits é bem pequena entre 95- e 90-, de modo que se pode pensar em selecionar, por exemplo, 90- para referência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As curvas média estatística (*critério ano a ano*) e a empírica (*critério da série toda*), apresentam significativas diferenças para os percentis de interesse ao sistema de gestão da oferta hídrica. A razão para essas diferenças, na faixa das vazões mínimas, deve-se à forma com que os dados são tratados nos diferentes métodos ou critérios. Para a obtenção da *série toda*, os valores de vazão, auto-correlacionados estatisticamente, são tratados como valores independentes, com todos os valores de todos os anos juntos e ordenados. A estatística resultante é relativa ao conjunto dos anos e não informa sobre a variação interanual. No caso do *método ano a ano*, ao individualizar eventos anuais, consegue-se captar parte da variabilidade interanual do regime hidrológico, presente na realidade aleatória dos fenômenos hidrológicos, o que não é possível no método tradicional, sendo possível inclusive inferir o tempo de retorno.

Pelo *método ano a ano*, a curva de permanência apenas aponta para o valor médio dentro do intervalo de confiança, cuja interpretação depende dos objetivos de uso da informação. Para um sistema de outorga, a garantia de atendimento dos valores outorgados depende de duas estatísticas: do percentil adotado como referência e da probabilidade de ocorrência das vazões pertencentes ao intervalo de confiança. Por definição, existe 50% de chance de que, em um ano qualquer, a vazão seja menor do que média. Portanto, a escolha de um percentil não representa o risco que será adotado para a outorga e o uso desse critério deverá prever alternativas para os anos com menor oferta hídrica. Relativo ao processo de gestão, o cálculo de vazões de referência pelo *critério ano a ano* é uma alternativa promissora, pois não limita o uso da água para atividades socioeconômicas viáveis pelo limite inferior de disponibilidade de cada percentil, opção que pode comprometer ou inibir a capacidade produtiva ou econômica de uma região. Essa alternativa, porém, requer uma gestão racional e adequada do uso da água por

parte do usuário e da sociedade frente aos riscos inerentes da opção, e, portanto, um sistema de gestão mais complexo.

Como recomendação, pode-se sugerir a utilização, para a outorga, de um risco negociado que pode ser uma vazão dentro do intervalo, delimitado superiormente pelo valor esperado da curva média e, inferiormente, pelos valores de vazão da curva da série toda. O risco negociado é, também, dependente de outros fatores, função das características de cada tipo de uso. Por exemplo, no caso da irrigação, um modelo de gestão embasado no cálculo da curva de permanência média estatística ressalta a necessidade e a importância da busca de informações e previsões meteorológicas de longo prazo mais acuradas, para apoio a tomada de decisão de qual valor deverá ser adotado para a próxima safra em planejamento.

Pode-se também destacar a importância da implementação da sazonalidade através da determinação das curvas de permanências mensais. Essa estratégia, aprimora a informação para o gestor, permitindo a flexibilização e racionalização das liberações de uso das águas em função dos diferentes períodos de oferta de água.

Finalizando, a escolha do critério de cálculo é uma variável de decisão a ser considerada nos processos de negociação e que considera na sua essência, riscos assumidos, pelos usuários e órgão gestores, de não atendimento integral das demandas.

REFERÊNCIAS

- BAHIA (1995). Lei nº 6.855, de 12 de maio de 1995.
- BRASIL (1934). Decreto nº 24.643 de 10 de julho, que aprova o Código de Águas Brasileiro.
- BRASIL (1997). Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências.
- BRASIL (1998). Constituição, 1998. "Constituição Federal do Brasil".
- CABRAL, B. (1997). *Legislação Estadual de Recursos Hídricos*. Vol. 2. Cadernos Legislativos nº 002/97. Senado Federal, Brasília, DF.
- CE - COMUNIDAD EUROPEA (2000) - Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y Del Consejo, 23 de octubre de 2000.
- CEARÁ (1994a). Decreto nº 23.067, de 11 de fevereiro de 1994, regulamenta o art. 4º da Lei nº 11.996 de 24 de julho de 1992 na parte referente à outorga do direto de uso dos recursos hídricos, cria o Sistema de Outorga pa Uso da Água e dá outras providências.
- CEPAL – Comisión económica para América Latina y el Caribe (1999a). *El Código de Aguas de Chile: entre la ideología y la realidad*. Marzo de 1999.
- CEPAL – Comisión económica para América Latina y el Caribe. (1999b) *Tendencias actuales de la gestión del agua en América latina y el Caribe. Avances en la implementación de las recomendaciones contenidas en el capítulo 18 del Programa 21*. Agosto de 1999.
- CIGIZOGLU, H. K.; BAYAZIT, M. (2000). *A generalized seasonal model for flow duration curve*. In: *Hydrological Processes*. Vol. 14, p. 1053-1067.
- CRH – Conselho de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul (1999). *Avaliação quali-quantitativa das disponibilidades e demandas de água na bacia hidrográfica do Baixo Jacuí*. Secretaria das Obras Públicas, Saneamento e Habitação do Governo do Estado do Rio Grande do Sul (SOPSH), Fundo de Investimentos em Recursos Hídricos. Porto Alegre. RS. (Relatório técnico)
- CRUZ, J.C. 2001. "Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Práticos e Conceituais". Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental di IPH/UFRGS. 205p. Porto Alegre.RS.
- FENNESSEY, N.; VOGUEL, R. M. (1990). Regional flow-duration curves for ungauged sites in Massachusetts. In: *Journal of Water Resources Planning and Management*. Vol. 116, nº 4, p. 530-549. Jul/Aug. 1990.
- JACOBS, J. M.; VOGUEL, R. M. (1998). Optimal allocation of water withdrawals in a river basin. In: *Journal of Water Resources Planning and Management*. Vol. 124, nº 6, p. 357-363. Nov/Dec., 1998.
- JEHNG-JUNG, K.; BAU, S. (1996). Risk analysis for flow duration curve based seasonal discharge management programs. In: *Water Resources Research*. Vol. 30, nº 6, p. 1369-1376, Jun., 1996.
- KELMAN, J. (1997). Gerenciamento de recursos hídricos. Parte I: Outorga. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1997, Vitória. *Anais...* Vitória: ABRH, 16 a 20/nov/1997, CD-ROM.
- KRAMER, K. (1998). *The challenge of protecting instream flows in Texas: closing the barn door after the horse has left? 25th Water for Texas Conference: Water planning strategies for Senate Bill 1*. Dec, 1-2; 1998, Austin, Texas. Disponível on-line em <http://twri.tamu.edu/~twricnf/w4tx98/papers/kramer.html>
- LANNA, A. E. L. (1993a). Cap 4: Elementos de Estatística e Probabilidades. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). *Hidrologia*:

- Ciência e aplicação*. Porto Alegre: Editora da Universidade –UFRGS/Edusp/ABRH.
- LEBOUTILLIER, D. W.; WAYLEN, P. R. (1993). A stochastic model of flow duration curves. In: *Water Resources Research*, Vol. 29, n° 10, p. 3535-3541. Oct., 1993.
- MIMIKOU, M.; KAEMAKI, S. (1985). Regionalization of flow duration characteristics. In: *Journal of Hydrology*. Vol. 82, p. 77-91.
- PARRETT, C.; CARTIER, K. D. (1990). *Methods for estimating monthly streamflow characteristics at ungaged sites in western Montana*. U. S. Geological Survey Water-Supply Paper. Reston, VA, United States of America, 30p.
- PINTO, N. L.de S. (1973). In: PINTO, N. L. de S.; HOLTS, A. C. T.; MARTINS, J. A. *Hidrologia de Superfície*. São Paulo: Ed. Edgard Blücher. Centro de Estudos e Pesquisas de Hidráulica e Hidrologia da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal do Paraná.
- QUIMPO, R. G.; McNALLY, T.A. (1983). Regionalized flow duration for Philippines. In: *Journal of Water Resources Planning and Management*. Vol. 109, n° 4, p. 320-330. Oct. 1983.
- REMENIERAS, G. (1971). *Tratado de Hidrologia*. Editores Técnicos Associados S.A. Barcelona, Espanha.
- RIBEIRO, M. M. R. (2000). *Alternativas para Outorga e a Cobrança pelo Uso da Água: Simulação de um Caso*. Porto Alegre: IPH/URGS, 2000. 200 p. Tese de doutorado do programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH/UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2000.
- RIBEIRO, M.M; LANNA, A.E. (2003). A outorga Integrada das Vazões de Captação e Diluição. In: *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Vol. 8, n° 3, Jul/Set., 2003, p. 151-168.
- RIGGS, H. C. (1972). Low Flow Investigations. In: *Techniques of water-resources of the US Geological Survey*. Book 4. Hydrological Analysis and interpretation. Geological Survey.
- RIO GRANDE DO SUL (1994). Lei nº 10.350 do Rio Grande do Sul, de 30 de dezembro de 1994.
- SALETH, M.; DINAR, A. (2000). *Institutional changes in global water sector: trends, patterns, and implications*. Water Policy, Elsevier Science Publishers BV. Vol. 2, p. 175-199.
- SEMA/UFSM (2004) *Desenvolvimento de ações para implantação da Outorga na bacia do Rio Santa Maria, RS*. Relatório Final UFSM/DRH/SEMA, 99 p. 2004.
- SILVEIRA, G.L. da; et al. (Coord.) (1993). *Projeto Rio Santa Maria – Sistema de Avaliação de Disponibilidades hídricas Fluviais para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria: Relatório do Projeto*. Porto Alegre: SPO/CRH-RS, UFSM/FATEC, 112 p. (Relatório).
- SILVEIRA, G. L.; ROBAINA, A. D.; GIOTTO, E.; DEWES, R. (1998). Outorga para uso dos recursos Hídricos: aspectos práticos e conceituais para o estabelecimento de um sistema informatizado. In: *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Vol. 3, n° 3, Jul/Set., 1998, p. 5-16.
- SMAKHTIN, V. Y., HUGHES, D. A., CREUSE-NAUDIN, E. (1997). Regionalization of daily flow characteristics in part of the Eastern Cape, South Africa. In: *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 42, n° 6, p. 919–936, December. 1997.
- SMAKHTIN, V. Y. (2001). Low-flow hydrology: a review. In: *Journal of Hydrology* 240. p. 147-186, 2001.
- TUCCI, C. E. M. (1993). *Cap 15 - Regionalização de Vazões*. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). *Hidrologia: Ciência e aplicação*. Porto Alegre: Editora da Universidade – UFRGS/Edusp/ABRH.
- TUCCI, C. E. M. (2000). *Regionalização de vazões (versão preliminar)*. Agência Nacional de Energia Elétrica– Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. (1975). *Hidrologia Aplicada*. São Paulo: Ed. McGraw-Hill do Brasil.
- VOGUEL, R. M.; FENNESSEY, N. M. (1994). *Flow-duration curves. I: New interpretation and confidence intervals*. In: *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 120, n° 4, p. 485-504. Jul/Aug. 1994.
- VOGUEL, R. M.; FENNESSEY, N. M. (1995). *Flow duration curves. II: A review of applications in water resources planning*. In: *Water Resources Bulletin*. Vol. 31, n° 6, p. 1029-1039. Dec., 1995.
- VOGUEL, R. M.; KROLL, C. N. (1990). Generalized low-flow frequency relationships for ungaged sites in Massachusetts. In: *Water Resources Bulletin*. Vol. 26, n° 2, p. 241-253. Apr., 1990.

Estimate of Water Availability Using the Permanence Curve

ABSTRACT

Sustainable management of water resources assumes water use regulation by knowledge of the water offer of the basin and its balance considering taking into account use and environmental conservation. Considering temporal and spatial variation of the river discharges,

together with demand, the appropriate estimate of water availability is essential for the effective implementation of management tools, especially granting concessions.

Water availability or river flow depends on temporal variability expressed by several hydrological functions. The permanence curve is a function that characterizes frequency of flow offer, which allows evaluating the availability to deal with the demands of a river. This article evaluates two criteria used to estimate the permanence curve and shows the difference in the results referring to the estimate of availability at thirteen rivergaging stations in Rio Grande do Sul. From the differences in estimates between the methods studied of the “entire series” and “year by year”, the results show that the former - most often used to estimate flows – may not be the most appropriate to inform the procedures to grant concessions, since it takes as reference the lower limit of the value expected from the reference flow adopted.

Key-words: water availability, permanence curve, seasonality.