

## **CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNRH**

Ref.: “Proposta de resolução que estabelece diretrizes gerais para a definição de vazões mínimas remanescentes”

Pedido de Vista: FONASC-CBH – Cons. João Clímaco Soares de Mendonça Filho

Parecer: Assessoria Jurídica do FONASC-CBH – Otávio Gonçalves Freitas

### **I. DO PEDIDO DE VISTA – Justificativas**

Na esteira do disposto no Art. 15 do RI do CNRH (Portaria nº 377, de 19 de setembro de 2003, publicada no DOU em 22.09.2003), ou seja:

**“É facultado a qualquer Conselheiro, com direito a voto, requerer vista, devidamente justificada, de matéria não julgada, ...”** (grifamos e destacamos)

, e conforme verbalmente ressaltado na última Reunião Ordinária do CNRH, de DEZ/2010, as justificativas que fundamentaram o Pedido de Vista perpetrado e o presente Parecer são as seguintes:

**A primeira** delas alicerça-se na necessidade de aferição quanto à observância, aliás, imperiosa, dos ditames legais emanados da Lei nº 9.433/97 e, no particular, daquele disposto no Inciso III, do seu Art. 3º;

**A segunda** delas alicerça-se na necessidade de aferição quanto à observância, aliás, imperiosa, dos ditames legais emanados da Portaria nº 377/2003 e, no particular, daquele disposto no Inciso VIII do seu Art. 42;

**A terceira** delas alicerça-se na necessidade de aferição quanto à observância, aliás, imperiosa, dos “Objetivos específicos” da presente proposta de resolução e, no particular, daquele a título de “Uniformização de definição e conceito”;

**A quarta** delas, e independentemente das premissas supra/retro, alicerça-se no direito/dever do Conselheiro de, antes da prolação de seu voto e na existência de dúvida(s) não esclarecidas, bem analisar os temas/matérias/propostas submetidas à sua aprovação.

Assim, e considerando a existência de fundadas dúvidas, não devidamente esclarecidas quando da discussão da presente Proposta de Resolução, coube ao Conselheiro exercer o seu legítimo direito de solicitar vista, devidamente justificada, com o intuito único de bem analisar, com detalhe e aprofundamento, a matéria em discussão.

## **II. DOS IMPEDIMENTOS LEGAIS - Integração da Gestão de Recursos Hídricos com a Gestão Ambiental – INOBSERVÂNCIA**

Inicialmente, dispõe o Inciso III do Art. 3º da Lei nº 9.433/97 e o Inciso VIII do Art. 42 da Portaria nº 377/2003, respectivamente, que:

“Art. 3º Constituem diretrizes gerais de ação para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos:

(...);

III - **a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental**” (grifamos e destacamos)

e

“Art. 42. Para o desempenho de suas competências legais relacionadas no artigo anterior, **cabe à Secretaria-Executiva as seguintes atribuições**, entre outras:

(...);

VIII – promover a integração dos temas com interface entre o CNRH e demais Conselhos Colegiados.” (grifamos e destacamos)

E, em igual sentido, a doutrina (“Direito de Águas no Brasil” – Cid Tomanik Pompeu – 2ª edição, revista, atualizada e ampliada, Editora Revista dos Tribunais, pág. 204):

“6.7 A Política Nacional e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

(...).

Constituem diretrizes gerais de ação, para implementação da Política: a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade; a adequação dessa gestão às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais, das diversas regiões do País; a integração da sua gestão com a ambiental; a articulação do planejamento de recursos hídricos com o dos setores usuários e com o planejamento regional, estadual e nacional; a articulação da gestão com a do uso do solo; a integração da gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos e zonas costeiras. A União deve articular-se com os Estados, tendo em vista o gerenciamento dos recursos hídricos de interesse comum.” (grifamos e destacamos)

Por outro lado, e a despeito das disposições legais supra/retro transcritas que, aliás, são de observância obrigatória, extraí-se do Parecer Técnico objeto da presente discussão, no seu item “**4 – Resumo das atividades e encaminhamentos no âmbito da CTPOAR**”, as seguintes passagens:

“A partir da disponibilização dos documentos pela CTAP, a CTPOAR iniciou a sua análise, quando os seus membros perceberam a necessidade de obterem maiores informações para aprofundamento do tema, levando-os a adotar a mesma metodologia utilizada pela CTAP, assim foram realizadas as seguintes apresentações:

Inserindo o Hidrograma ecológico no SINGREH – IPH/RS – Sidnei Gusmão Agra

Regras operativas – NOS – Paulo Diniz

Prescrição de vazão ecológica – UHE Passo São João – ELETROSUL  
– Arnaldo Martins

Critérios de outorga – vazão de referência utilizada – Órgãos gestores de recursos hídricos que participam da CTPOAR - Representantes

Dentro do ciclo de oficinas relacionadas ao tema “Enfoque Ecosistêmico Aplicado a Gestão de Recursos Hídricos”, promovidas pela SRHU, participaram da:

- Oficina Enfoque ecossistêmico aplicado à gestão de recursos hídricos – 14 e 15 de abril de 2009, realizada em Brasília.
- Oficina Vazões Ambientais no contexto do SINGREH – 20 e 21 de outubro de 2009

Os resultados dessas oficinas encontram-se disponíveis no endereço: <http://pnrh.cnrh.gov.br>.

**A CTPOAR participou destas oficinas com o objetivo principal de obter a definição/diretrizes do que seria vazão ambiental.** Contudo os eventos não foram conclusivos, o que levou a CTPOAR a empenhar seus trabalhos para a conclusão da proposta de resolução.

Durante as reuniões 62ª (21 e 22 de fevereiro de 2008) à 75ª (19 e 20 de outubro de 2009) a CTPOAR aprimorou o objetivo da proposta de resolução e seu texto.

**Já na 1ª Reunião Conjunta, quando da apresentação dos documentos pela CTAP, membros da CTPOAR questionaram se uma resolução do CNRH deveria apresentar um conceito para “vazão ecológica” sem que o mesmo tenha sido discutido com a participação do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA.**

**Desta forma a CTPOAR ponderou quanto a necessidade de serem realizadas reuniões conjuntas com a Câmara Técnica afeta ao tema do CONAMA, entendendo que pela resolução, a área de recursos hídricos definiria os valores de vazão ecológica, por meio dos seus critérios de outorga, indo além de suas atribuições legais, quando deveria ser em articulação com a área ambiental.**

**A partir da necessidade apontada pela CTPOAR e da atribuição da Secretaria Executiva do CNRH de promover a integração dos temas com interface entre o CNRH e demais Conselhos colegiados foi articulada reunião conjunta entre a CTPOAR/CNRH e a CTCQA/CONAMA, o que não foi possível.** Mesmo assim, durante a 28ª CTCQA, ocorrida em 20 de julho de 2008 foi realizado relato das atividades da CTPOAR e apresentada a demanda sobre a definição de vazão ecológica e da diretriz para metodologia de seu cálculo, além de uma reunião conjunta. Na ocasião os membros da CTCQA solicitaram apresentação sobre o Hidrograma Ecológico.

A apresentação foi agendada para a 29ª Reunião da CTCQA, 07 de agosto de 2008, contudo no dia da reunião o assunto foi retirado de pauta. Mesmo assim foi reiterado, por parte da CTPOAR/CNRH o convite para reunião conjunta, o que, não foi acatado, ficando somente a apresentação sobre o Hidrograma Ecológico para a 30ª Reunião da CTCQA, 18 de dezembro de 2008, ocasião em que não foi dado um encaminhamento para a matéria.

Diante dos fatos, a CTPOAR acordou que não seriam mencionadas as vazões ecológica e ambiental no texto da proposta de resolução, pois caberia aos órgãos de meio ambiente defini-las, conforme está apontados nos princípios e objetivos da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 e da Resolução CONAMA nº 237, 19 de dezembro de 1997. Esta decisão ajudou na definição do nome e do seu conceito em si, a ser adotado na resolução, a partir das características que essa vazão teria, que foi o seguinte: vazão mínima remanescente: a menor vazão a ser mantida no curso da água em seção de controle visando o atendimento aos usos múltiplos de recursos hídricos.

(...).” (grifamos e destacamos)

Assim, e a despeito do esforço inicial aparente, seja através da CTPOAR/CNRH, seja através da Secretária Executiva do CNRH, verifica-se que, *in casu*, não foi observada, cumprida e, muito menos, alcançada a imperiosa imposição legal emanada das disposições legais retro transcritas no sentido de INTEGRAR a gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental e de PROMOVER a integração dos temas comuns à Política de Recursos Hídricos e Ambiental, o que, por si só, já seria suficiente à desaprovação da Proposta de Resolução em discussão.

Mas, não é só!

### **III. Do Comprometimento Técnico da Proposta de Resolução -** **Objetivo Específico – Uniformização de Definição e Concei-** **to**

Ao acordar “que não seriam mencionadas as vazões ecológicas e ambiental no texto da proposta de resolução” e ao declarar que “Esta decisão ajudou na definição do nome e do seu conceito em si, a ser adotado na

resolução, a partir das características que essa vazão teria, que foi o seguinte: vazão mínima remanescente: a menor vazão a ser mantida no curso de água em seção de controle visando o atendimento aos usos múltiplos de recursos hídricos”, a CTPOAR/CNRH também comprometeu, por óbvias razões, o 1º (primeiro) Objetivo Específico da Proposta de Resolução, consubstanciado na Uniformização de Definição e Conceito da vazão ecológica, vazão remanescente ou vazão mínima.

Ademais, e no particular, ao renunciar a sua competência, no mínimo, concorrente, quanto à Definição e Conceito da vazão ecológica, vazão remanescente ou vazão mínima, em conjunto com o CONAMA, a CTPOAR/CNRH - com a chancela da Secretaria Executiva do CNRH - se omite e/ou se recusa a participar da discussão central e de mérito da presente Proposta de Resolução que, dentre outras, passa pela discussão e análise das questões e metodologia referidas em **“Da Vazão Ecológica ao Hidrograma Ecológico”** – abaixo transcrito -, mesmo porque, umbilicalmente ligado à busca da adequada gestão dos recursos hídricos.

Vejamos, pois:

**“Da Vazão Ecológica ao Hidrograma Ecológico**

**Walter Collischonn**

*Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS*

**Sidnei Gusmão Agra**

*Departamento de Recursos Hídricos/SEMA – RS*

**Glauco Kimura Freitas**

*Instituto The Nature Conservancy do Brasil*

**Gabriela Rocha Priante**

*Diretoria de Recursos Hídricos FEMA - MT*

**RESUMO**

Este texto apresenta algumas reflexões sobre os critérios utilizados para definir as vazões remanescentes em rios, e procura demonstrar a insuficiência do tradicional critério de vazão ecológica como um valor único, válido para todos os anos e para todas as estações do ano. A quantidade de água necessária para dar sustentabilidade ecológica a um rio é variável no tempo, e os critérios de definição de vazão remanescente nos rios devem contemplar não apenas as situações de vazões mínimas durante os períodos de estiagem, mas também os outros períodos que caracterizam o regime hidrológico. Também é apresentada uma metodologia de manejo adaptativo e ecologicamente sustentável da água, que vem sendo aplicada na América do Norte. Os desafios existentes no Brasil para a implementação de uma

metodologia semelhante são discutidos e algumas oportunidades e necessidades de pesquisa são destacadas.

**Palavras chave: regime hidrológico; vazão ecológica; sustentabilidade ambiental**

## **INTRODUÇÃO**

As últimas décadas foram marcadas pela crescente preocupação com a sustentabilidade ambiental das atividades humanas. A sociedade está ficando cada vez menos tolerante à poluição e aos problemas de degradação estética, doenças de veiculação hídrica e custo de tratamento para abastecimento, associados com a decrescente qualidade da água dos rios, lagos e aquíferos. Os problemas de qualidade da água vêm sendo reconhecidos como grandes causadores de degradação ambiental e admite-se que devem ser resolvidos com rapidez, embora se observe, na prática, que o ritmo das mudanças é mais lento do que o desejado. De qualquer forma, há uma noção clara de que os custos ambientais relacionados com a qualidade da água devem ser internalizados nas atividades humanas poluidoras (Turner et al., 1994; Silva e Pruski, 2000).

Também existe uma tendência de intolerância por parte da sociedade para com os problemas ambientais causados pelo manejo inadequado das quantidades de água, como a redução da biodiversidade e a extinção de espécies. Entretanto, este reconhecimento dos problemas ambientais relacionados à quantidade de água esteve, por muito tempo, limitado à noção de que são necessárias vazões remanescentes ou residuais, que devem ser mantidas no rio durante as épocas de estiagem, as chamadas “vazões ecológicas”.

Estas idéias dão suporte à legislação relacionada ao uso dos recursos hídricos nos Estados brasileiros, e são importantes, porque evitam, em muitos casos, que rios inteiros sejam completamente utilizados pela atividade de irrigação, chegando a secar seu leito. Porém, os períodos de estiagem são apenas uma das faces do regime hidrológico.

A qualidade ambiental de um rio e dos ecossistemas associados é fortemente dependente do regime hidrológico, incluindo a magnitude das vazões mínimas, a magnitude das vazões máximas, o tempo de duração das estiagens, o tempo de ocorrência das cheias, a frequência das cheias, a época de ocorrência dos eventos de cheias e estiagens, entre outros (Poff et al., 1997; Bunn e Arthington, 2002; Postel e Richter, 2003; Naiman et al., 2002). Por isto não é suficiente a definição de uma vazão mínima a ser mantida a jusante de um importante uso da água. Em alguns casos a vazão mantida a jusante é sempre superior à vazão definida como “ecológica”, e mesmo assim ocorrem danos ambientais importantes.

Neste trabalho é apresentada uma metodologia, proposta por Richter et al. (2003) para definição de vazões a serem mantidas nos rios para compatibilizar a sustentabilidade ambiental e os usos humanos. Esta metodologia é mais ampla do que o critério de vazão ambiental, que é adotada na legislação de muitos Estados do Brasil, e pretende ser adaptativa, isto é, pode evoluir através da discussão em um fórum regional como um comitê de bacia. O trabalho aponta ainda um caminho para a implementação da metodologia em bacias hidrográficas brasileiras, com base em experiências já realizadas e nas oportunidades e potencialidades previstas na legislação brasileira.

## **VAZÃO ECOLÓGICA**

As atividades humanas como a irrigação, o abastecimento público e industrial de água e a geração de energia elétrica têm causado profundas alterações nos regimes naturais de vazão dos rios. Ao longo do tempo, percebeu-se que esta alteração de regimes tem profundos impactos sobre os ecossistemas associados ao rio e à área de inundação, que são bastante sensíveis a estas alterações. Em diversos casos as alterações no regime contribuíram para a extinção de espécies nativas e para a invasão por espécies exóticas (Craig, 2000).

A noção de uso sustentado dos recursos hídricos começou a surgir quando as consequências da sua utilização irresponsável começaram a ficar claras. Isto ocorreu primeiro com a questão da qualidade da água para abastecimento urbano, à medida que começou a ficar evidente a ligação entre a saúde pública e a qualidade da água. Os problemas de qualidade da água são, até hoje, um grande desafio a ser vencido, especialmente nos países menos desenvolvidos. Entretanto, grandes conflitos estão surgindo relacionados à quantidade de água. Estes conflitos iniciaram com a utilização excessiva de água para irrigação, que resultou no colapso de alguns rios, cuja vazão tem sido completamente desviada durante os períodos secos, coincidentes com os períodos de irrigação intensa.

Atualmente, há uma grande preocupação com a questão da modificação do regime hidrológico. Ao longo do século XX foram construídas muitas barragens em todo o mundo, com o principal objetivo de modificar o regime hidrológico para algum uso humano, por exemplo, aumentar a disponibilidade de água durante a estiagem ou reduzir os problemas de inundação durante as cheias. Estas modificações tiveram impacto significativo sobre a biodiversidade, facilitaram a introdução de espécies exóticas, contribuíram para o desaparecimento de espécies comercialmente interessantes, inviabilizaram algumas atividades de comunidades tradicionais dependentes dos recursos naturais e resultaram na perda de fertilidade de solos de planície, que dependiam dos nutrientes depositados durante as cheias (Craig, 2000).



No Brasil, questões relativas ao impacto ambiental das centrais hidrelétricas têm sido discutidas, de forma mais intensa, a partir da formulação da Resolução 01/86 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), estabelecendo a obrigatoriedade de elaboração do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), durante a década de 80. Pode-se dizer que, antes disso, os empreendimentos hidrelétricos eram impostos à sociedade como uma necessidade básica, justificando os prejuízos ambientais como um “mal necessário”. Mais recentemente, estes empreendimentos tornaram-se alvo de críticas e de questionamentos quanto às alternativas tecnológicas e locais (Santos et al., 2003).

No caso da construção de barragens, inicialmente, os impactos ambientais que causavam maior preocupação eram os impactos da inundação de uma grande área de floresta e a transformação do ambiente típico de rio (lótico), em um ambiente típico de lago (lêntico), e as alterações de qualidade de água associadas a esta transformação.

Ao longo do tempo, entretanto, os impactos causados a jusante dos barramentos e dos pontos de retirada de água para irrigação foram ficando mais evidentes. Estes impactos estão, quase sempre, associados à modificação do regime hidrológico.

A primeira resposta a estes impactos foi a busca por restrições à quantidade de água que poderia ser retirada de um rio, na forma da especificação de uma vazão mínima que deveria permanecer no rio após todas as retiradas de água para uso humano. Esta resposta visou, principalmente, evitar que os rios secassem durante as estiagens, ou que a vazão remanescente nos rios durante esta época fosse tão baixa que resultasse na falta de oxigênio para os peixes e na conseqüente extinção de espécies.

A vazão mínima residual, ou vazão ecológica, é um valor de referência que deve ser mantido no trecho de rio a jusante de um barramento ou de uma retirada de água. O conceito de vazão ecológica surgiu ao longo da segunda metade do século XX, quando os problemas associados ao manejo da água começaram a ser percebidos no meio ambiente. Nos Estados Unidos, por exemplo, pesquisadores constataram que a redução na vazão de um rio estava associada à redução da diversidade de espécies ou da população de determinada espécie. As observações destes pesquisadores, que resultaram no que atualmente é conhecido como o Método Tennant, ou Montana, de determinação de vazão ecológica, indicaram qual a porcentagem de vazão que deveria ser deixada no rio para manter diferentes níveis de qualidade de habitat para peixes (Benneti, Lanna e Cobalchini, 2003).

A necessidade de avaliar benefícios incrementais ao meio ambiente com incrementos de vazão o que permitiria comparar estes benefícios aos benefícios de obras hidráulicas e de usos humanos, motivou o desenvolvimento de novos estudos, que resultaram em métodos como o IFIM (Instream Flow Incremental Methodology). Uma das ferramentas mais importantes deste

método é o PHABSIM (Physical Habitat Simulation Model) (Benneti, Lanna e Cobalchini, 2003).

O tema da vazão ecológica vêm recebendo atenção crescente no Brasil, como demonstram os muitos trabalhos publicados recentemente (Marques et al., 2003; Garcia e Andreazza, 2004; Pelissari et al., 1999; Pelissari et al., 2000; Pelissari e Sarmento, 2001; Sarmento e Pellissari, 1999; Santos et al., 2003; Benneti et al., 2003; Gonçalves et al., 2003; Mortari, 1997) muito embora poucos trabalhos têm abordado outros aspectos do regime hidrológico, além das vazões mínimas.

Atualmente os métodos de determinação da vazão ecológica podem ser classificados nos seguintes grupos (Lanna e Benetti, 2002):

- Métodos Hidrológicos:
- Vazão Q7,10;
- Curva de Permanência de Vazões;
- Vazão mínima anual de 7 dias;
- Método Tennant//Montana;
- Método da Vazão Aquática de Base;
- Método da Mediana das Vazões Mensais e;
- Método da Área de Drenagem.
- Métodos Hidráulicos:
- Método do Perímetro Molhado e;
- Método das Regressões Múltiplas.
- Métodos de Classificação de Habitats:
- Método Idaho;
- Método do Dep. de Pesca de Washington e;
- Método IFIM.
- Métodos Holísticos:
- Método de construção de blocos (BBM).
- Outros Métodos:
- Vazão de Pulso e de enchentes.

Os métodos hidrológicos não analisam o aspecto ambiental, apenas presumem que a manutenção de uma vazão de referência, calculada com base em alguma estatística da série histórica, possa acarretar em benefício ao ecossistema. A principal vantagem destes métodos está na pequena quantidade de informações necessárias para sua implementação, em geral apenas a série histórica de vazões.

Os métodos hidráulicos relacionam características do escoamento com necessidades da biota aquática. Estes métodos têm maior consideração ecológica que os métodos hidrológicos, mas para sua correta aplicação, os métodos hidráulicos necessitam de relações específicas para a região em estudo.

Os métodos de classificação de habitats e os métodos holísticos são mais completos em termos de consideração de aspectos ambientais (Benneti et al., 2003a). Contemplam várias etapas, iniciam-se com uma identificação das características físicas e ambientais do local em estudo, passam por um plano de estudo elaborado por uma equipe multidisciplinar, chegando até a análise

de diferentes alternativas antes da tomada de decisão. Estes métodos podem considerar aspectos econômicos, valorando a disposição de pagar pela preservação ambiental e os benefícios gerados pelo uso da água, buscando o ponto ótimo da quantificação da vazão ecológica (Pante et al., 2004).

## LIMITAÇÕES DA VAZÃO ECOLÓGICA

A grande limitação das metodologias baseadas no conceito de vazão ecológica, vazão remanescente ou vazão residual é que estas metodologias estão focadas sobre uma vazão mínima, apenas. Não há preocupação em definir outros aspectos do regime hidrológico que são fundamentais para a manutenção dos ecossistemas.

O manejo de água tradicional teve sempre o objetivo de reduzir a variabilidade natural da vazão dos rios, de forma a garantir ofertas de água estáveis para irrigação, abastecimento, geração de energia e navegação, e de forma a reduzir o impacto de situações extremas, como cheias e estiagens prolongadas. Assim, a degradação ecológica foi, em geral, uma consequência indesejada da gestão dos recursos hídricos, devida à falta de conhecimento sobre as relações entre o regime hidrológico e os ecossistemas (Richter et al., 2003).

A figura 1 mostra os hidrogramas observados no rio São Francisco em Juazeiro e Morpará. A cidade de Juazeiro está localizada a jusante do reservatório de Sobradinho, cuja operação iniciou na década de 70, e que tem uma grande capacidade de regularização das vazões. O posto fluviométrico de Morpará está localizado a montante do reservatório.

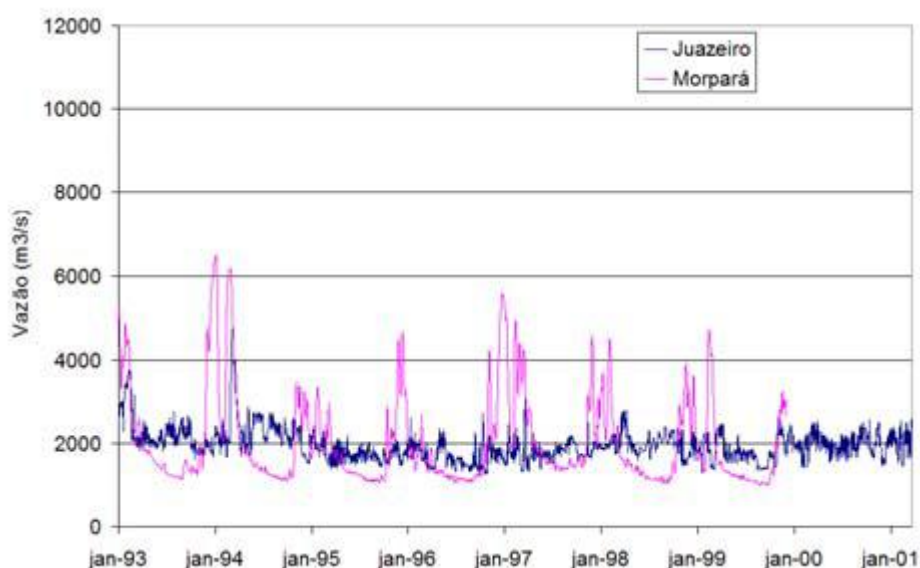


Figura 1: Hidrogramas do rio São Francisco a montante (Morpará – linha rosa) e a jusante (Juazeiro – linha azul) do reservatório de Sobradinho.

Observa-se na figura 1 que o hidrograma a montante do reservatório apresenta ciclos sazonais de cheias e estiagens. No

período apresentado na figura ocorreram apenas cheias relativamente pequenas, que foram completamente amortecidas no reservatório, de tal forma que a vazão em Juazeiro não apresenta mais nenhum ciclo sazonal reconhecível, tornando muito semelhantes os valores de vazão durante a estiagem e a cheia. Pode-se observar, também, que em nenhum momento a existência do reservatório desrespeitou os critérios de vazão ecológica.

Pelo contrário, a vazão a jusante do reservatório durante as estiagens é, até, superior à vazão afluente ao reservatório.

Como consequência desta modificação no regime hidrológico, e da retenção de sedimentos no reservatório, grandes alterações ocorreram no ambiente fluvial e estuarino localizado mais a jusante.

Em outros rios brasileiros ocorreram alterações semelhantes e, em alguns casos, já existem importantes impactos conhecidos. No rio Tocantins, por exemplo, a construção da barragem de Tucuruí resultou na redução drástica de abundância de dez espécies de peixes originalmente comuns (Craig, 2000).

Também nestes rios não houve o desrespeito à valores de vazão mínima durante a estiagem. O que ocorreu foi a alteração do regime hidrológico natural, caracterizado pela variabilidade sazonal e interanual. Este regime foi substituído pelo regime controlado, com altas vazões durante a estiagem e cheias parcialmente ou completamente amortecidas. A variabilidade sazonal foi substituída pela variabilidade provocada pela operação das turbinas e comportas, que pode apresentar ciclos muito curtos, como o diário ou semanal, atendendo à demanda por energia.

Ao regime hidrológico natural de vazões estão associadas diversas outras variáveis ambientais, como a temperatura da água, a concentração de sedimentos, nutrientes e oxigênio dissolvido (Poff et al., 1997).

Cada componente do regime hidrológico é importante na manutenção dos ecossistemas associados ao rio. Entre estes componentes estão as estiagens, as cheias e o tempo e o período de ocorrência das cheias. Nos parágrafos a seguir são apresentadas algumas características ecológicas importantes, associadas aos diferentes componentes do regime hidrológico (Petts e Maddock, 1994; Postel e Richter, 2003). Nem todas estas características são encontradas juntas em um rio particular, entretanto várias podem ser importantes.

Vazões mínimas

- São suficientemente baixas para concentrar presas em áreas limitadas, e assim, favorecer os predadores durante um período limitado do tempo;
- São suficientemente baixas para eliminar, ou reduzir a densidade de espécies invasoras;

- São suficientemente altas para manter o habitat das espécies nativas;
- São suficientemente altas para manter a qualidade da água, especialmente a temperatura e a concentração de oxigênio dissolvido;
- São suficientemente altas para manter o nível do lençol freático na planície;
- São suficientemente baixas para expor bancos de areia e praias que são utilizados para reprodução de tartarugas ou aves;
- São suficientemente baixas para secar áreas de inundação temporária.

#### Vazões altas

- Determinam o tipo de sedimento do fundo do rio;
- Evitam a invasão do leito do rio por plantas terrestres;
- Renovam a água armazenada em lagos marginais, braços mortos do rio e em regiões de estuários.

#### Cheias

- Modificam a calha do rio, criando curvas, bancos de areia, ilhas, praias, áreas de maior ou menor velocidade de água, e diversidade de ambientes;
- Inundam as planícies, depositando sedimentos e nutrientes necessários para a vegetação terrestre;
- Inundam e criam lagoas marginais na planície, criando oportunidades de reprodução e alimentação para peixes e aves;
- Indicam o início do período de migração ou de reprodução para algumas espécies de peixes;
- Eliminam ou reduzem o número de espécies invasoras ou exóticas;
- Controlam a abundância de plantas nas margens e na planície;
- Espalham sementes de plantas pela planície.

As cheias são acompanhadas por muitas mudanças físicas e químicas no ambiente aquático. O aumento do nível e da velocidade da água pode ser acompanhado por uma queda na temperatura e por uma elevação da turbidez. Onde estes efeitos ocorrem sazonalmente, a vida aquática está adaptada para tirar

vantagem das condições de cheias. Os peixes respondem às mudanças nas condições dos rios movendo-se bastante e migrando para montante ou jusante. A maioria dos peixes fluviais tropicais reproduz-se no início da estação das cheias. O período de águas altas é o principal período de alimentação e crescimento e de acúmulo de reservas de gordura, que servirá para que os peixes resistam ao período de estiagem, quando comem pouco. Os peixes nascem, portanto, em períodos de fartura de alimentos, em que, além disso, há abrigo contra os inimigos entre a vegetação (Lowe-McConnel, 1999). As águas que se espalham sobre a planície recebem muitos nutrientes, devido à rápida decomposição da vegetação, de restos animais ou da camada húmida da floresta. Isto leva a um rápido crescimento de microorganismos, seguido de uma grande explosão de crescimento de macroinvertebrados (insetos, crustáceos e moluscos) dos quais se alimentam os peixes. A biomassa dos peixes aumenta rapidamente durante as cheias. Ao final deste período, conforme as águas baixam, muitos peixes ficam retidos em poças que secam, onde inúmeros pássaros deles se alimentam. Os peixes jovens que ainda conseguem retornar ao rio principal sofrem predação nos canais que ligam os lagos da planície ao rio.

Estudos realizados no rio Paraná mostram que cheias prolongadas afetam favoravelmente os estoques de alguns peixes (por exemplo os curimbas), reduzindo a mortalidade de peixes jovens porque prolongam o período de alta disponibilidade de abrigo e, assim, limitam o número de predadores potenciais pelo maior tamanho alcançado pela presa (curimba jovem) quando esta volta ao rio principal, durante a vazante (Lowe-McConnel, 1999). Resultados de estudos preliminares no Pantanal também indicam que as grandes cheias estão associadas ao sucesso reprodutivo e ao aumento do estoque de peixes (Catella, 2001).

As diferentes espécies de um ecossistema associado a um rio respondem de formas diferentes aos eventos hidrológicos como cheias e estiagens. Uma grande cheia pode beneficiar uma espécie de peixe, que desenvolve uma fase de sua vida em lagos ou na planície inundada, porém pode reduzir a população de insetos aquáticos, cujas larvas são carregadas para jusante. Já em anos com cheias pequenas, ou inexistentes, pode ocorrer o inverso, isto é, os peixes podem ser menos beneficiados do que os insetos. O regime hidrológico natural provê aos ecossistemas uma mistura de anos bons e ruins para cada espécie, se avaliada individualmente. Analisando ao longo de períodos longos, cada espécie individual é beneficiada por um número suficiente de anos bons e prejudicada por apenas uns poucos anos ruins, mantendo assim o ecossistema (Postel e Richter, 2003).

A figura 2 apresenta hidrogramas do rio Cuiabá observados no posto fluviométrico de Cuiabá, mostrando um ano tipicamente úmido (1994-1995), um ano tipicamente seco (1997-1998) e um ano médio (1982-1983). Esta variabilidade interanual também é

característica do regime hidrológico. Apesar da variabilidade, entretanto, alguns aspectos do hidrograma são mantidos, por exemplo o período de recessão durante os meses de inverno, em que não ocorrem cheias. Outro aspecto fundamental que se repete em todos os hidrogramas, são as pequenas cheias que ocorrem a partir dos meses de setembro a dezembro. As grandes cheias de janeiro a março apresentam uma variabilidade maior, sendo que no ano de úmido superam os  $3000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , enquanto no ano seco não chegam a atingir  $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

A manutenção de vazões iguais ou superiores a determinados limites (as vazões ecológicas), durante a época de estiagem, não é garantia, portanto, da manutenção da qualidade do ecossistema.

### **UMA METODOLOGIA DE MANEJO DE ÁGUA EM SEIS PASSOS**

Verificada a insuficiência do critério de vazão ecológica, como um limite inferior de vazão que não deve ser ultrapassado, é necessário buscar alternativas de manejo de quantidades de água que contemplem de forma mais completa o regime hidrológico. Alguns dos métodos descritos por Bennett et al. (2003), como o BBM na África do Sul, estão entre estas alternativas. Outro método alternativo foi proposto por Richter et al. (2003), e é denominada Manejo Ecologicamente Sustentável da Água (traduzido a partir de Ecologically Sustainable Water Management – ESWM). A proposta do Manejo Ecologicamente Sustentável da Água, doravante denominado MESA, busca o gerenciamento dos recursos hídricos de uma maneira que possa atender aos usos humanos ao mesmo tempo em que mantém ou recupera a integridade dos ecossistemas.

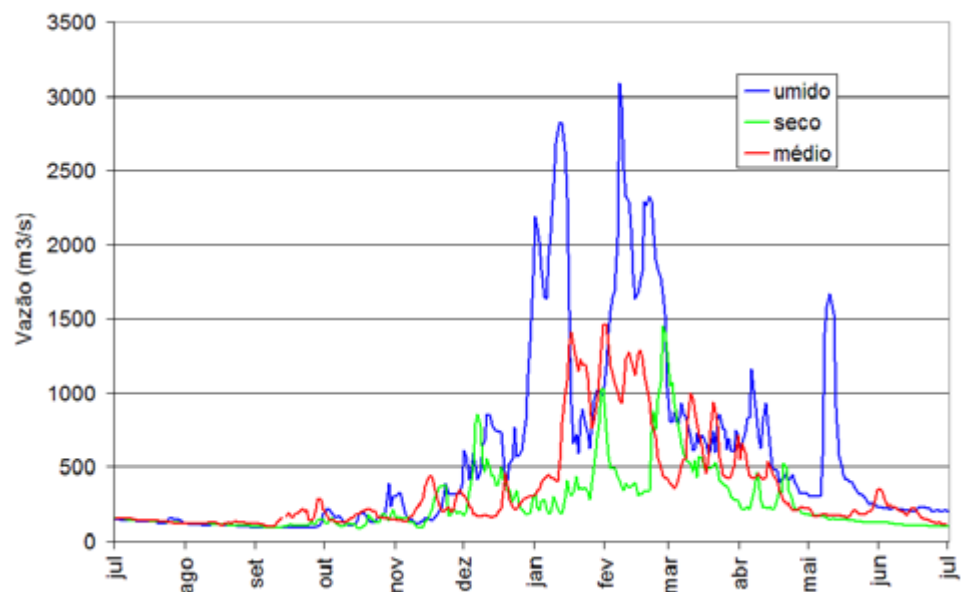


Figura 2: Hidrogramas de vazão do rio Cuiabá, em Cuiabá, durante um ano úmido (1994-1995), seco (1997-1998) e médio (1982-1983).

A metodologia MESA está organizada em 6 passos, que são: (1) estimar necessidades de vazão para conservar os ecossistemas naturais associados ao rio; (2) estimar as necessidades de vazão atuais e futuras para uso humano; (3) avaliar os conflitos entre usos humanos e necessidades dos ecossistemas; (4) buscar soluções para os conflitos de forma colaborativa; (5) realizar experimentos práticos de manejo de água; (6) desenvolver um programa de manejo adaptativo, baseado no monitoramento hidrológico e ambiental, com o objetivo de reduzir as incertezas envolvidas na resolução dos conflitos.

Um aspecto muito importante que deve ser destacado nesta metodologia é que ela é colaborativa, sobretudo no passo 4, envolvendo a participação dos diversos atores relacionados ao cenário de manejo de recursos hídricos. Outro aspecto fundamental é que a metodologia é adaptativa, ou seja, deve ser aprimorada ao longo do tempo, à medida que se aprofunda o conhecimento das relações entre regime hidrológico e ecossistemas, e que se desenvolvem as necessidades e as técnicas de manejo de água. Decorre deste segundo aspecto que a metodologia não define prazos para o encerramento do último passo.

### **Primeiro passo: estimar necessidades do ecossistema**

Os ecossistemas necessitam, para sua perfeita conservação, de água em quantidade e com qualidade idênticas à situação anterior às maiores intervenções humanas. Entretanto esta necessidade é, às vezes, incompatível com as necessidades humanas atuais. Por isso devem ser identificados os aspectos do regime hidrológico que são fundamentais para a manutenção dos ecossistemas, e estes aspectos devem ser quantificados.

O gerenciamento dos recursos hídricos é movido pela busca de objetivos quantificáveis, como níveis da água necessários para a navegação, vazões necessárias para gerar energia, níveis de proteção contra inundações, vazões necessárias para irrigação. Para compatibilizar os usos humanos e as necessidades dos ecossistemas, é necessário, de forma similar, quantificar objetivos ecológicos em termos de vazões ou níveis de água que devem ser atendidos ou evitados.

O objetivo deste primeiro passo é, portanto, identificar aspectos fundamentais do regime hidrológico que são importantes para o ecossistema, ou, em outras palavras, prescrever um hidrograma ecológico.

A quantificação de aspectos fundamentais do regime hidrológico para a manutenção dos ecossistemas concentra-se, em geral, nas seguintes características: (1) vazões de base no período úmido e no período seco; (2) cheias normais, que ocorrem quase todos os anos; (3) cheias extraordinárias, que não ocorrem todos os anos;



(4) vazões mínimas extraordinárias; (5) taxas de variação da vazão ao longo do tempo; (6) variabilidade interanual de todas as características anteriores (Postel e Richter, 2003).

As necessidades de vazão do ecossistema podem ser especificadas como faixas de valores em que o hidrograma deve ser mantido, ou como valores individuais que devem ser atingidos, superados ou evitados. Em geral, quanto maior o número de características (variáveis) utilizadas para descrever o regime hidrológico necessário para a manutenção dos ecossistemas, maior é a probabilidade de que o regime desejado seja atingido. Por questões práticas, entretanto, é conveniente manter o número de variáveis suficientemente reduzido.

Estimar as necessidades de vazão dos ecossistemas requer a contribuição de um grupo interdisciplinar de cientistas com relativa familiaridade com os processos ecológicos e hidrológicos da região. É importante contar, também, com o conhecimento que os moradores ribeirinhos têm de seu próprio ambiente, como mostrado por Calheiros et al. (2000). Na abordagem adotada na África do Sul (Building Block Method) esta etapa é executada durante um workshop, ou seminário, em que profissionais de áreas diferentes apresentam dados, resultados de pesquisas, análises com modelos hidrológicos e ecológicos, culminando com a proposta de alguns valores preliminares de vazões necessárias para manter o ecossistema (Benetti et al., 2003a; Benetti et al., 2003b).

Definir a ligação exata entre o regime de vazões do rio e a ecologia das espécies que dependem deste regime é um grande desafio. Para algumas espécies esta ligação dificilmente poderá ser bem compreendida, para outras, entretanto, poderão existir relações mais claras. A análise não deve, entretanto, ser limitada a uma ou poucas espécies individuais, porque as necessidades destas espécies são apenas uma pequena amostra do que é necessário para a manutenção de um ecossistema saudável. O regime natural (anterior às grandes modificações humanas) deve servir como um marco, para guiar o processo de busca. O hidrograma ecológico prescrito deve ser, tanto quanto possível, parecido com o hidrograma natural.

É muito importante que sejam feitas hipóteses explícitas sobre a relação entre a vazão dos rios e a biota durante este primeiro passo da metodologia. É aconselhável desenvolver certos modelos conceituais que descrevem as relações que se acredita que existam entre a hidrologia e a biota, certificando-se de que estes modelos podem ser testados através de experimentos.

As estimativas preliminares de necessidades de vazão do ecossistema, obtidas durante o primeiro passo da metodologia, devem ser obtidas sem considerar sua viabilidade em termos de manejo dos recursos hídricos. A análise dos usos humanos e os conflitos existentes fazem parte de etapas posteriores desta metodologia. No primeiro passo é necessário definir apenas quais características do regime hidrológico seriam desejáveis para a

manutenção da qualidade ambiental. É necessário presumir que, apesar dos conflitos inevitáveis, o regime hidrológico ecológico possa representar um objetivo de longo prazo. Segundo os autores da proposta, há muitos casos em que a aparente inviabilidade de um hidrograma ecológico prescrito preliminarmente foi contornada com criatividade e com o aprofundamento da análise. Em outros casos, mudanças na estrutura social e econômica de uma região permitiram realizar o que parecia impossível uma ou duas décadas antes (Richter et al., 2003).

A etapa de estimativa das necessidades de vazão do ecossistema pode ser beneficiada se houver participação dos diferentes atores, inclusive das instituições responsáveis ou das partes interessadas pelo manejo da água para uso humano. Profissionais relacionados ao manejo da água como os representantes de associações de irrigantes, da defesa civil ou os representantes de empresas de geração de energia elétrica e de abastecimento, podem auxiliar os especialistas em ecologia a prescrever vazões e hidrogramas que podem ser efetivamente implementados. Por outro lado, estes profissionais podem compreender melhor como as decisões de manejo de água afetam os ecossistemas, ampliando sua sensibilidade e a possibilidade de busca de solução para estes problemas.

Um aspecto importante no primeiro passo da metodologia é que todos os atores devem perceber o elevado grau de incerteza que existe na prescrição de um hidrograma ecologicamente aceitável, e o quanto são necessários, por este motivo, os experimentos de manejo e a flexibilidade do processo, descritos nos passos 5 e 6. É fundamental que os gestores de água, os conservacionistas e os usuários de água entendam que os cientistas (biólogos e ecólogos) não poderão definir valores precisos das vazões necessárias para espécies individuais, nem para todo o ecossistema associado ao rio. No primeiro passo, estes cientistas deverão gerar apenas estimativas preliminares de vazões, que serão testadas e refinadas, de acordo com os próximos passos da metodologia.

A figura 3 apresenta um exemplo fictício de um hidrograma prescrito, baseado em alguns hidrogramas observados (figura 2). Neste hidrograma há considerações sobre a vazão mínima que deve escoar pelo rio ao longo dos 12 meses, sobre a vazão máxima que pode ocorrer durante os meses de estiagem e sobre a mínima vazão de cheia que deve ocorrer, pelo menos uma vez em um dos meses em que ocorrem as cheias naturais. Os aspectos mais importantes do hidrograma prescrito da figura 3 estão numerados de 1 a 4, e estão explicados nos parágrafos que seguem.

No hidrograma prescrito da figura 1 há uma definição da vazão mínima em cada mês (1). Esta vazão deve ser tal que o habitat não seja excessivamente reduzido. Critérios tradicionais de estimativa de vazões ecológicas podem ser utilizados para

determinar estas vazões mínimas, no entanto é importante destacar que o valor varia de acordo com a época do ano.

Além da vazão mínima, há um limite para a vazão máxima, que deve ser respeitado durante o período de estiagem (2). É importante que a vazão durante a estiagem seja inferior a um limite para que certas características do ambiente sejam preservadas, por exemplo, em um trecho de rio com lagoas marginais é necessário que a vazão seja suficientemente baixa para interromper a ligação entre as lagoas e o rio, porque as lagoas funcionam como berçários para certas espécies de peixes que precisam estar livres dos predadores maiores que estão no rio. O limite máximo de vazão durante a época de estiagem também pode ser necessário para secar uma área inundável adjacente ao rio, onde cresce um tipo de vegetação específico (Richter e Richter, 2000), fonte de alimentação para mamíferos como cervos, ou para expor os bancos de areia nas margens, onde diversas espécies de aves e de tartarugas nidificam anualmente.

O hidrograma prescrito também pode determinar valores mínimos de vazão que devem ocorrer pelo menos uma vez, com duração não inferior a um limite pré-estabelecido, durante o período de cheias. Na figura 3 esta vazão mínima de cheias está identificada pelo número 3. A importância desta vazão mínima de cheia é que ela pode ser necessária para estabelecer a ligação entre o rio e uma lagoa, reconhecida como berçário de várias espécies de peixes.

Finalmente, o hidrograma prescrito do exemplo da figura 3 destaca as pequenas cheias no início do verão, que ocorrem como consequência dos primeiros eventos chuvosos ao final da estiagem, e que atuam como gatilhos de processos ecológicos importantes, como a migração e o acasalamento. Idealmente estas pequenas cheias do início do período devem ser mantidas inalteradas pelos usos humanos.

Este exemplo é bastante simplificado, porque não estão contemplados, por exemplo, aspectos importantes como a duração das cheias, a taxa de variação da vazão e a variabilidade interanual, entretanto, mostra porque um hidrograma ecológico é melhor do que uma vazão ecológica.

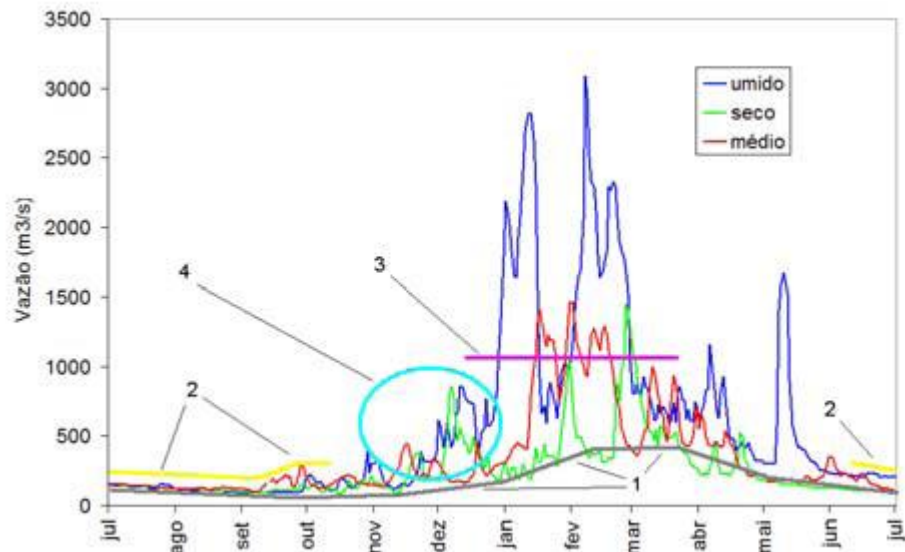


Figura 3: Exemplo fictício de um hidrograma prescrito: (1) vazão mínima em cada mês (necessária para não reduzir o tamanho do habitat); (2) máxima vazão durante a estiagem; (3) mínima vazão de cheia; (4) pequenas cheias no início do verão.

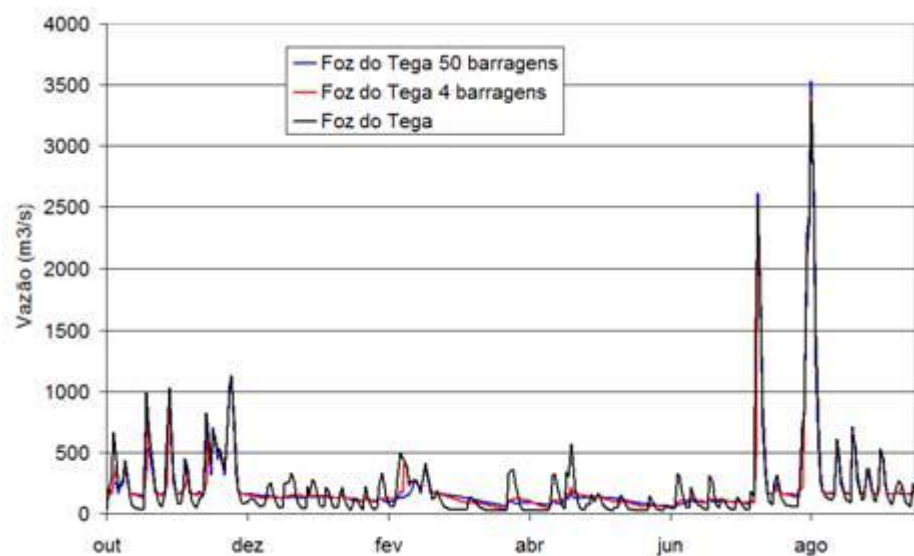
### Segundo passo: estimar necessidades humanas

Alguns usos da água modificam o regime hidrológico em maior ou menor grau. É necessário avaliar o quanto o regime hidrológico natural é modificado pelos usos de água atuais e o quanto será modificado pelos usos futuros. Esta avaliação deve considerar a variabilidade temporal e espacial destas modificações.

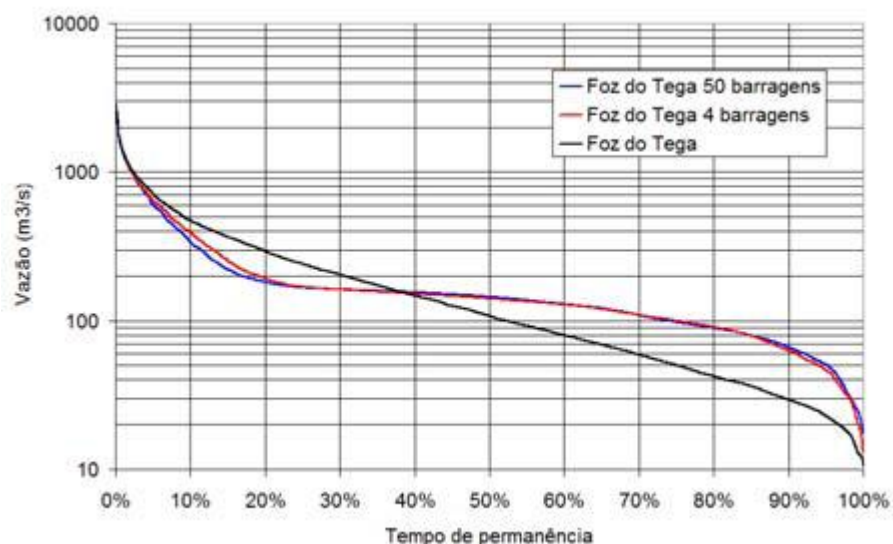
A avaliação da influência humana sobre o regime hidrológico natural pode ser realizada utilizando simulação hidrológica. Nos últimos anos as técnicas de representação da hidrologia através de modelos matemáticos em computadores avançaram o suficiente para auxiliar na compreensão dos impactos humanos sobre o regime hidrológico natural. Os modelos hidrológicos necessários para cumprir este passo devem ser capazes de simular as vazões resultantes em um rio afetado por estruturas propostas, tais como tomadas de água para irrigação em diferentes locais da bacia, e por diferentes regras de operação destas estruturas. O intervalo de tempo em que estes modelos devem calcular os hidrogramas é de 1 dia ou menos, o que permite representar situações de alta variabilidade temporal, como as cheias.

As figuras 4 e 5 apresentam um exemplo de aplicação de um modelo deste tipo, no processo de avaliação dos impactos de um conjunto de 50 reservatórios em processo de implantação na bacia do rio Taquari-Antas, no Rio Grande do Sul. Esta bacia tem uma área de drenagem de 26.000 km<sup>2</sup>, aproximadamente, e está localizada em uma área de grande declividade, na encosta da Serra Gaúcha.

Durante a fase de Inventário Hidrelétrico da Bacia, realizado durante as décadas de 1980 e 1990, foram identificados 56 locais para possível aproveitamento hidrelétrico. Inicialmente todos os seis aproveitamentos localizados no rio Guaporé, um importante afluente do rio Taquari-Antas, foram descartados pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM-RS), com o objetivo de manter um dos principais afluentes do rio completamente livre de barramentos, possibilitando a subida de peixes de piracema. Dos 50 aproveitamentos restantes, 4 já estão implantados ou em processo de implantação. As modificações do regime hidrológico do rio que serão causadas pelas barragens foram avaliadas utilizando um modelo matemático, considerando três cenários: (1) o cenário sem barragens; (2) o cenário com quatro barragens em implantação; (3) o cenário com 50 barragens.



(a)



(b)

Figura 4: Hidrogramas (a) e curvas de permanência (b) do rio das Antas, junto à foz do Arroio Tega, com e sem a influência de um conjunto de reservatórios na bacia (linha preta: hidrograma

natural; linha vermelha – hidrograma modificado por 4 barragens; linha azul: hidrograma modificado por 50 barragens).

Nos hidrogramas apresentados na figura 4, que correspondem à situação simulada em um ponto ao longo do rio Taquari Antas (a foz do Arroio Tega), percebe-se que as maiores cheias não serão modificadas, devido a pequena capacidade de amortecimento dos reservatórios, entretanto a vazão será mais alta durante as estiagens. Pequenas cheias que ocorrem após períodos relativamente longos de estiagem poderão ser completamente amortecidas. A modificação das vazões mínimas é mais evidente na comparação entre as curvas de permanência de vazões diárias com e sem o conjunto de reservatórios (figura 4b). Observa-se que, no caso do rio Taquari-Antas na foz do Arroio Tega, a vazão  $Q_{90}$  passa de 30 para mais de 60  $m^3 \cdot s^{-1}$ , mesmo considerando o cenário em que apenas 4 barragens são construídas.

Estes resultados foram obtidos a partir da utilização de um modelo matemático que representa os principais aspectos da hidrologia da bacia, e que pode representar também o efeito de futuras obras hidráulicas (Larentis et al., 2003; Tucci et al., 2003).

### **Terceiro passo: avaliar conflitos**

Neste passo da metodologia devem ser identificadas as incompatibilidades entre o hidrograma ecológico prescrito no passo 1 e as necessidades humanas identificadas no passo 2. Estas incompatibilidades transformam-se no ponto de partida para as discussões nos passos 4 e 5. É desejável, portanto, que estejam claramente definidas, para que os esforços nos passos 4 e 5 possam estar voltados para sua resolução.

Ressalta-se que não são buscados conflitos entre dois ou mais usos da água na bacia, o que se busca são incompatibilidades entre as necessidades de vazões do ecossistema e as demandas avaliadas.

As incompatibilidades devem ser verificadas tanto dentro do período de um ano, considerando a variação sazonal típica, como entre anos diferentes, considerando a variação interanual. A avaliação intra-anual (dentro do período de um ano) revelará os meses em que, muito provavelmente, algumas necessidades de vazão dos ecossistemas não serão atendidas. A avaliação inter-anual (comparando anos diferentes) revelará a frequência com que as incompatibilidades ocorrem.

Alguns conflitos que, potencialmente, podem ocorrer são:

1. geração de energia durante a estiagem x vazões baixas durante a estiagem;
2. atenuação de grandes cheias para evitar inundações em cidades x cheias para inundar planícies e conectar lagos marginais;

3. atenuação de pequenas cheias no início do período úmido para recuperar o armazenamento em reservatórios x necessidade de pequenas cheias que atuam como gatilhos para disparar processos ecológicos como a migração;
4. retirada de água durante a estiagem para irrigação x necessidade de água no rio durante a estiagem;
5. flutuações de alta frequência na vazão turbinada de uma usina para atender demanda de pico x necessidade de estabilidade da vazão;
6. necessidade de níveis (e vazões) altos durante a estiagem para a navegação x vazões baixas durante a estiagem;
7. necessidade de liberar vazões para criar volume de espera em reservatórios de uso múltiplo x vazões baixas durante a estiagem.

É importante salientar que as incompatibilidades entre usos humanos e o hidrograma ecológico prescrito devem ser avaliadas para os diferentes trechos do rio ou da bacia, uma vez que a natureza e o grau do conflito podem ser bastante diferentes ao longo de um rio. A análise estatística das diferenças entre o regime hidrológico necessário para a manutenção do ecossistema e o regime hidrológico resultante das atividades humanas pode auxiliar na quantificação das diversas incompatibilidades (Richter et al., 1996).

É importante enfatizar que os conflitos devem ser identificados de forma bastante específica. Há exemplos em que conflitos aparentes foram evitados quando se constatou que o ecossistema associado ao rio não dependia da mesma vazão máxima ou mínima a cada ano, mas somente em alguns anos com a frequência certa, e que os usos humanos não necessitavam realmente das vazões inicialmente especificadas ao longo de todo o ano, mas apenas em certas épocas (Richter et al., 2003).

Neste passo é interessante, novamente, utilizar modelos matemáticos para explorar diferentes estratégias de uso ou manejo de água. Em alguns casos mais simples, é possível que sejam encontradas soluções para as incompatibilidades nesta fase. Em geral, entretanto, os usuários da água, os cientistas, as entidades responsáveis pela gestão dos recursos hídricos, e os outros atores do processo deverão buscar formas de minimizar as incompatibilidades verificadas, como descrito no passo 4.

#### **Quarto passo: colaboração na busca de soluções**

Os passos anteriores levam à identificação dos pontos de incompatibilidade entre as necessidades de vazão dos ecossistemas e os outros usos da água, considerando a variabilidade destas incompatibilidades ao longo do rio ou da

bacia e ao longo do tempo. A partir daí é necessário envolver os diferentes atores do processo em um diálogo aberto na busca da eliminação ou minimização das incompatibilidades.

Todas as necessidades de água, para todos os usos, incluindo a manutenção dos ecossistemas, devem ser expressas como um conjunto de objetivos que, coletivamente, representam os interesses dos atores. Estes objetivos devem ser inicialmente definidos de forma geral e, após, especificados como metas quantificáveis, tais como: quantidade de energia hidrelétrica a ser gerada e níveis a serem mantidos em rios e lagos.

Neste passo os atores devem negociar buscando um conjunto de objetivos que compatibilize os seus interesses, e que pode ser utilizado para subsidiar o manejo dos recursos hídricos.

Cada uma das incompatibilidades identificadas deve ser analisada, com os dados adequados e com as informações sendo compartilhadas pelos atores. Nesta análise devem ser buscadas formas alternativas de satisfazer as mesmas necessidades humanas e as mesmas necessidades dos ecossistemas de formas alternativas às formas inicialmente propostas ou tradicionalmente adotadas. Um dos meios mais poderosos para resolver os conflitos envolve a alteração do local ou do tempo em que ocorrem os usos humanos, de maneira que a nova situação seja mais compatível com as necessidades do ecossistema. Em alguns casos, por exemplo, uma importante tomada de água, que retira água do rio para outros usos, localizada a montante de uma importante área de desova de peixes, pode ser mudada para jusante desta área. Em outros casos, quando é necessário armazenar água, é possível, por exemplo, iniciar a recuperação do armazenamento do reservatório um ou dois meses mais tarde, para não eliminar pequenas cheias do início do período úmido, freqüentemente identificadas como gatilhos ecológicos.

Nos locais em que foi adotada a metodologia de Manejo Ecologicamente Sustentável da Água (MESA), descrita aqui, novas estratégias de manejo têm sido propostas e testadas, buscando a minimização dos conflitos (Postel e Richter, 2003). Regras de operação de barragens vêm sendo modificadas para readaptar os hidrogramas modificados pelos usos humanos para que fiquem mais “naturais” ou compatíveis com as necessidades dos ecossistemas, ao mesmo tempo em que mantém o atendimento aos usos humanos para os quais foram originalmente construídas. Em alguns casos, novas tecnologias de conservação de água em cidades, indústrias e na agricultura estão reduzindo o volume de água consumido para atender os usos humanos, ou reduzindo a necessidade de construção de novos reservatórios.

A legislação brasileira de recursos hídricos criou a figura dos Comitês de Gerenciamento de Bacias Hidrográficas, estes se constituem como o fórum ideal para a discussão compartilhada dos conflitos identificados, buscando a concretização do passo 4 da metodologia.



### **Quinto passo: realização de experimentos de manejo**

Ao longo dos quatro passos anteriores um grande número de incertezas sobre as necessidades de água dos ecossistemas ou dos usos humanos pode surgir. Mesmo que um alto grau de colaboração tenha sido atingido nos diálogos anteriores, é muito provável que os cientistas envolvidos na definição das necessidades dos ecossistemas não tenham certeza sobre os resultados ecológicos de alterações propostas no manejo da água. Da mesma forma, os responsáveis pela gestão dos recursos hídricos e os usuários da água não tem certeza se as alternativas propostas são viáveis na prática.

Estas incertezas podem influenciar negativamente o ambiente de discussão colaborativa. Quando solicitados a apresentar uma solução de manejo que represente um compromisso entre os usos humanos e as necessidades ecológicas, os usuários de água, cientistas, responsáveis pela gestão de água e conservacionistas podem negar-se a chegar a um consenso na presença de grandes incertezas, inviabilizando a busca por soluções compatíveis. Esta paralisação do processo pode ser evitada pela adoção de uma estratégia baseada em experimentos de manejo de água, cujo objetivo é reduzir as incertezas descritas acima.

Experimentos de manejo de água devem ser cuidadosamente projetados e executados para, efetivamente, reduzir destas incertezas. É essencial que os experimentos tenham uma base científica e que as variáveis de resposta, que deverão ser monitoradas, sejam cuidadosamente escolhidas, para permitir a detecção de modificações ao longo do período de duração do experimento, que pode ser de alguns anos.

Os experimentos devem ser cuidadosamente monitorados e medidos e, para isto, é necessário contar com apoio financeiro adequado. Sem os requisitos de projeto e monitoramento cuidadosos e de apoio financeiro, os experimentos de manejo podem ser contraproducentes, introduzindo confusão sobre causas e efeitos e intensificando os conflitos entre os envolvidos nas discussões.

Em alguns casos a busca da solução para os conflitos entre usos humanos e usos ecológicos da água apontou para “cheias controladas” que deveriam ser liberadas por barragens para beneficiar o meio ambiente do vale a jusante, ou para manter as atividades econômicas das comunidades ribeirinhas tradicionais, como a pesca e o cultivo em várzeas após a inundação (Acreman, 2000). Um ou mais experimentos de cheias controladas podem ser projetados, executados e monitorados. Neste caso é importante avaliar com antecedência quais os objetivos que se deseja atingir, verificar se é fisicamente possível liberar vazão suficiente das barragens envolvidas e monitorar detalhadamente os benefícios e prejuízos advindos da cheia provocada de forma controlada. Se estes experimentos mostrarem que o benefício real

das cheias controladas projetadas foi inferior ao esperado inicialmente, então nova rodada de discussão deve ser iniciada, buscando aperfeiçoar os experimentos, ou mudar a estratégia de solução prevista anteriormente.

As variáveis a serem monitoradas devem refletir a integridade ecológica de uma forma bastante abrangente, de forma a permitir os testes das hipóteses desenvolvidas em passos anteriores da metodologia. Alguns indicadores ambientais que podem ser considerados para monitoramento são: (1) a própria vazão do rio em diferentes locais; (2) características geomorfológicas do rio, como praias e bancos de areia; (3) população de espécies chave da vegetação e estrutura desta população na mata ciliar ou área inundável; (4) distribuição espacial das espécies de peixes considerando faixas de tamanho ou maturidade; (5) diversidade de invertebrados bentônicos; (6) presença ou ausência de espécies de aves representativas do habitat aquático ou de mata ciliar, e de aves representativas de formas de alimentação (frugívoras, piscívoras, etc.); (7) parâmetros de qualidade de água comumente medidos, como pH, OD, amônia e temperatura. Cada um destes indicadores deve ter uma faixa de variação esperada, ou tolerável.

#### **Sexto passo: desenvolver programa de manejo adaptativo**

O último passo do Manejo Ecologicamente Sustentável da Água é o programa de manejo adaptativo, que, idealmente, não deveria ser finalizado nunca. Para ser ecologicamente sustentável, o manejo de água deverá ser permanentemente subsidiado pelo monitoramento hidrológico e ecológico, e pela repetição e extensão de experimentos, para contemplar novas situações de conflito ou novas incertezas. Em palavras simples, o manejo adaptativo pode ser substituído pela expressão “fazendo e aprendendo”.

Durante o primeiro passo da metodologia MESA, são geradas algumas hipóteses sobre as necessidades de água do ecossistema, e sobre como determinadas espécies deverão reagir sob determinadas condições hidrológicas. A partir das hipóteses sobre a relação do ecossistema com as variáveis hidrológicas é prescrito um hidrograma, e supõe-se que este hidrograma poderá atender as necessidades do ecossistema e alguns objetivos, como, por exemplo, que a população de uma espécie de peixes em determinada região vai flutuar numa determinada faixa de número de indivíduos, ou de densidade. Estas hipóteses serão testadas ao longo dos períodos de experimentos de manejo, descritos no passo 5. A medida em que os resultados dos experimentos, monitorados através de um número abrangente de indicadores ambientais, levam à confirmação ou não das hipóteses, novas hipóteses podem ser formuladas, ou novas faixas toleráveis podem ser definidas para cada um dos indicadores.

Conforme descrito no passo 4, o manejo adaptativo deve iniciar através da definição de um conjunto de objetivos que compatibilize os interesses de conservacionistas, usuários e gestores da água. Estes objetivos devem satisfazer a todos, em termos de benefícios econômicos, conservação ambiental e outras necessidades da sociedade. Atingir estes objetivos pode exigir uma sequência de iterações, ou tentativas, tais como sucessivas modificações nos calendários de demandas de água para irrigação, ou nas regras de operação de barragens. Também poderá ser necessário revisar os objetivos, se for verificado que não é realista o seu atendimento simultâneo.

Alguns aproveitamentos hídricos e seus planos de gestão associados, são difíceis de incluir neste tipo de procedimento adaptativo. Por exemplo, algumas licenças ambientais são especificadas com duração de algumas décadas, e modificar estas licenças antes do seu término pode ser legalmente impossível, ou problemático.

Outras limitações à adaptabilidade provêm da ausência de estruturas que permitam modificar as vazões que são liberadas por obras hidráulicas já existentes, como barragens antigas. Estas limitações ameaçam o sucesso de um programa de manejo adaptativo porque é absolutamente necessário que este programa tenha a possibilidade de ser alterado a medida em que novas informações venham a ser obtidas em experimentos de manejo ou pelo monitoramento contínuo de variáveis ecológicas.

Um programa de manejo adaptativo deve esclarecer quem deverá tomar as decisões sobre eventuais alterações no processo de manejo da água, e como serão tomadas estas decisões. Os autores da proposta (Richter et al., 2003) recomendam que uma espécie de comissão científica seja criada, com a responsabilidade de revisar o projeto de experimentos de manejo de água e seus resultados. Esta comissão se reportaria diretamente ao comitê de bacia, ou aos tomadores de decisão sobre o manejo da água na bacia.

O programa de manejo de água adaptativo deve identificar necessidades e oportunidades de suporte financeiro, com ênfase em fontes de recursos que podem prover relativa garantia em longo prazo. Este tipo de programa é intensamente prejudicado até mesmo por curtas interrupções no suporte financeiro, uma vez que o sucesso do monitoramento está baseado na continuidade, para que as mudanças sazonais e interanuais possam ser captadas adequadamente. Se possível, o suporte financeiro deve ser buscado em fontes cuja continuidade é segura, como em compensações pagas por empresas de geração de energia hidrelétrica.

## **DESAFIOS NA TRANSIÇÃO DA VAZÃO ECOLÓGICA PARA O HIDROGRAMA ECOLÓGICO**

A metodologia MESA tem um histórico de sucesso em aplicações em bacias nos Estados Unidos, onde existe uma realidade bastante diferente da brasileira em diversos aspectos como: a disponibilidade de dados hidrológicos; o conhecimento de relações entre o regime hidrológico e a ecologia de espécies locais, especialmente dos peixes; a preocupação da sociedade com os problemas ambientais.

A transição da metodologia de vazões ecológicas adotada atualmente, para os hidrogramas ecológicos, como descrito neste texto, deverá superar alguns desafios no contexto do manejo da água no Brasil.

Um dos maiores desafios está relacionado à história de uso da água no Brasil, tradicionalmente dominado pelo uso para geração de energia elétrica.

No caso do uso da água para geração de energia elétrica também existem problemas relacionados à forma centralizada com que é realizado o planejamento da geração. Isto significa que propostas regionais de uso de água e liberações experimentais de cheias induzidas pela operação de um reservatório individual, por exemplo, devem ser integradas no contexto da operação de todo o sistema elétrico nacional.

As dificuldades atuais, no entanto, não devem impedir que formas alternativas e mais abrangentes de manejo de água devam ser buscadas para o futuro. Neste ponto é fundamental atentar, por exemplo, para as estruturas que as novas obras hidráulicas devem ter para permitir a passagem de vazões variáveis no tempo, permitindo a liberação de pequenas cheias, que, juntamente com as cheias naturais dos afluentes a jusante, podem cumprir o papel ecológico das cheias no rio (Bergkamp et al., 2000). Devemos estar preparados para o futuro, quando as demandas de água dos ecossistemas passarão, certamente, a ser mais valorizadas.

Finalmente, um desafio importante está relacionado aos estudos interdisciplinares entre a hidrologia e a ecologia. É importante saber qual é o tipo de pesquisa que deve ser realizado em ecologia para responder às grandes indagações e para preencher as lacunas existentes no conhecimento sobre a relação entre o regime hidrológico e o ecossistema. É possível que grandes progressos neste sentido possam ser obtidos com o uso da rádio telemetria (Dos Anjos et al. 2005; Schulz et al., 2002), e com o aumento da disponibilidade e a miniaturização de ferramentas como o GPS. Entretanto, não deve ser esquecido o importante papel que pode ter o conhecimento empírico de comunidades ribeirinhas, como exemplificado em Calheiros et al. (2000).

Diferenças entre os regimes hidrológicos em um mesmo país, como o Brasil, dificultam a adoção centralizada dos mesmos critérios em diferentes regiões. Da mesma forma, a diversidade

dos usos humanos da água e do impacto já existente exigem que os critérios a serem adotados sejam diferentes em cada região ou mesmo em cada bacia.

## CONCLUSÕES

Este artigo apresentou uma discussão sobre as limitações existentes nos critérios de vazões ecológicas existentes e uma proposta de metodologia mais abrangente que vem sendo utilizada em alguns casos nos EUA.

A metodologia alternativa descrita é focada em vários aspectos do regime hidrológico e não apenas das vazões mínimas. Além disso, ela é participativa e adaptativa, o que poderá ser um importante fator para sua utilização dentro do contexto de comitês de bacias.

Entretanto, a adoção de uma metodologia mais abrangente, como a descrita neste texto, implicará em uma série de desafios nas atividades de gestão de águas e na pesquisa em Recursos Hídricos e Ecologia. Particularmente, existe uma lacuna imensa de pesquisas em ecologia que permitam responder de forma mais detalhada quais são as relações entre o regime hidrológico e o ecossistema.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACREMAN, M. 2000 *Managed flood releases from reservoirs: issues and guidance*. Contributing paper prepared for Thematic Review II.1: Dams, ecosystem functions and environmental restoration – World Commission on Dams. [www.dams.org](http://www.dams.org). 88p.
- BENETTI, A. D.; LANNA, A. E.; COBALCHINI, M. S. 2003a Current practices for establishing environmental flows in Brazil. *River research and applications*, Vol. 19 pp. 1-18.
- BENETTI, A. D.; LANNA, A. E.; COBALCHINI, M. S. 2003b Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Vol. 8 No. 2.
- BERGKAMP, G.; MCCARTNEY, M.; DUGAN, P.; MCNEELY, J.; ACREMAN, M. 2000 *Dams, Ecosystem Functions and Environmental Restoration*. World Commission on Dams. [www.dams.org](http://www.dams.org). 200p.
- BUNN, S. E.; ARTHINGTON, A. H. 2002 Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management* Vol. 30 No. 4 pp. 492-507.
- CALHEIROS, D. F.; SEIDL, A. F.; FERREIRA, C. J. A. 2000 Participatory research methods in environmental science: local and scientific knowledge of a limnological phenomenon in the Pantanal Wetland of Brazil. *Advances in Applied Ecological Techniques* Vol. 37 pp. 684-696.
- CATELLA, A. C. 2001 *A pesca no Pantanal de Mato Grosso do Sul, Brasil: Descrição, nível de exploração e manejo*. Tese de

Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus.

CRAIG, J. F. 2000 *Large dams and freshwater fish biodiversity*. Contributing paper prepared for Thematic Review II.1: Dams, ecosystem functions and environmental restoration – World Commission on Dams. [www.dams.org](http://www.dams.org). 59p.

Dos Anjos, C. S.; Schulz, U. H.; Leal, M. E. 2005 Radiotelemetria do Dourado (*Salminus brasiliensis*) no Rio dos Sinos, RS: Padrões de Movimentos e Uso de Habitat. Camila Saraiva dos Anjos; Uwe Horst Schulz; Mateus Evangelista Leal. *Anais do XVI Encontro Brasileiro de Ictiologia*. João Pessoa.

GARCIA, L. A. V.; ANDREAZZA, A. M. P. 2004 Estabelecimento de vazões ambientais efluentes de barragens: Sugestão Metodológica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Vol. 9 No. 2.

GONÇALVES, M.A., KOIDE, S., E CORDEIRO NETTO, O.M. 2003. Revisão e aplicação de alguns métodos para determinação de vazão mínima garantida em cursos d'água. *XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. CD-ROM. Curitiba.

LANNA, A. E. L. E BENETTI, A. D. 2002 *Estabelecimento de Critérios para Definição da Vazão Ecológica no Rio Grande do Sul: Relatório Final*. Fundação Estadual de Proteção Ambiental FEPAM: Porto Alegre, RS

LARENTIS, D. G.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M.; COBALCHINI, M. S. 2003 Modelo de qualidade de água para planejamento em grandes bacias. *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Curitiba.

LOWE-MCCONNELL, R. H. 1999 *Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais*. Edusp. 534 p.

MARQUES, M. G.; MARTINEZ, C. B.; CANELLAS, A. V. B.; PANTE, A. R.; TEIXEIRA, E. D. 2003 Influência dos métodos de determinação da vazão ecológica no custo de geração de energia em aproveitamentos hidrelétricos – estudo de caso. *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Curitiba PR.

MORTARI, D. 1997 Uma abordagem geral sobre a vazão remanescente em trechos “curto-circuitados” de usinas hidrelétricas. *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, ABRH, Vitória ES.

NAIMAN, R. J.; BUNN, S.; NILSSON, C.; PETTS, G. E.; PINAY, G.; THOMPSON, L. C. 2002 Legitimizing fluvial ecosystems as users of water: an overview. *Environmental Management* Vol. 30 No. 4 pp. 455-467.

PANTE, A. R.; MARQUES, M. G.; CANELLAS, A. V. B.; LANNA, A. E. L. 2004 Proposta de Metodologia Simplificada para Determinação da Vazão Ecológica em Aproveitamentos Hidrelétricos. *Submetido a Revista Brasileira de Recursos Hídricos*.

PELISSARI, V. B.; SARMENTO, R.; TEIXEIRA, R. L. 1999 Índices de preferência de habitat para peixes na determinação da vazão

residual do rio Timbuí. *Anais: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. ABRH: Belo Horizonte, MG.

PELISSARI, V. B.; SARMENTO, R.; TEIXEIRA, R. L. 2000 Vazão ecológica a ser considerada no licenciamento ambiental dos sistemas de abastecimento de água. *XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. ABES. Porto Alegre.

PELISSARI, V.B E SARMENTO, R. 2001 *Determinação da Demanda Ecológica para o Rio Santa Maria da Vitória, Estado do Espírito Santo*. Anais: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH: Aracaju, SE.

PETTS, G. E.; MADDOCK, I. 1994 *Flow allocation for in river needs*. In Calow, P.; Petts, G. E. 1994 *The rivers handbook*. Blackwell, Oxford. 523 p..

POFF, N. L.; ALLAN, J. D.; BAIN, M. B.; KARR, J. R.; PRESTEGAARD, K. L.; RICHTER, B. D.; SPARKS, R. E.; STROMBERG, J. C. 1997 The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. *Bioscience*, Vol. 47 No. 11 pp. 769-784.

POSTEL, S.; RICHTER, B. 2003 *Rivers for life: Managing water for people and nature*. Island Press. Washington. 253p..

RICHTER, B. D.; BAUMGARTNER, J. V.; POWELL, J.; BRAUN, D. P. 1996 A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology* Vol 10 No. 4 pp. 1163-1174.

RICHTER, B. D.; BAUMGARTNER, J. V.; WIGINGTON, R.; BRAUN, D. P. 1997 How much water does a river need? *Freshwater Biology*, Vol. 37 pp. 231-249.

RICHTER, B. D.; MATHEWS, R.; HARRISON, D. L.; WIGINGTON, R. 2003 Ecologically sustainable water management: Managing river flows for ecological integrity. *Ecological Applications*, vol. 13 No. 1 pp. 206-224.

RICHTER, B. D.; RICHTER, H. E. 2000 Prescribing flood regimes to sustain riparian ecosystems along meandering rivers. *Conservation Biology* Vol 14 No. 5 pp. 1467-1478.

SANTOS, A.H.M., RIBEIRO JUNIOR, L.U., GARCIA, M.A.R.A., E SEVERI, M.A. 2003b. Vazão remanescente no trecho de vazão reduzida de pequenas centrais hidrelétricas. *XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. CD-ROM. Curitiba.

SARMENTO, R.; PELISSARI, V.B. 1999 *Determinação da Vazão Residual dos Rios: Estado-da-Arte*. Anais: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH: Belo Horizonte, MG.

Schulz, U. H.; Macedo, T. B.; Costa, R. S. 2002 Habitat Use, Home Ranges and Spawning Migration of Dourado (*Salminus maxillosus*) in Rio dos Sinos, South Brazil. *In: Annual meeting of the American Fisheries Society*, Baltimore.

Silva, D. D. e Pruski, F. F. 2000 *Gestão de recursos hídricos: Aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais*. ABRH Porto Alegre. 659 pp..

TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W.; LARENTIS, D. 2003 *Simulação da qualidade da água da bacia do rio Taquari*. FEPAM – ANEEL 136p.

Turner, R. K.; Pearce, D.; Bateman, I. 1994 *Environmental economics: An elementary introduction*. Harvester Wheatsheaf New York. 328pp..”

Ante o exposto, deve ser acolhido e provido o presente Parecer para, complementando-se a análise e discussão da presente proposta, declarar a desaprovação da “Proposta de resolução que estabelece diretrizes gerais para a definição de vazões mínimas remanescentes”.

P. deferimento.

Belo Horizonte p/Brasília, 31 de janeiro de 2011

Otávio Gonçalves Freitas – OAB/MG 70.169

Assessoria Jurídica do FONASC-CBH