

EM BUSCA DO HIDROGRAMA ECOLÓGICO

Walter Collischonn¹, Sidnei Gusmão Agra², Glauco Kimura de Freitas³,
Gabriela Rocha Priante⁴, Rutinéia Tassi⁵, Christopher Freire Souza¹

Resumo - Este texto apresenta algumas reflexões acerca dos 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 que aproxima a sustentabilidade ecológica da água, 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.

Abstract – This paper presents some reflections over the in-stream flow requirements subject, and aims to prove the insufficiency of the traditional in-stream flow criterion, as a unique reference value for every year and every season. The amount of water necessary to sustain riverine ecosystems are highly variable in time, so the in-stream flow requirements criteria should consider not only the low flow situations but also the other hydrological regime parts. A methodology is presented which may be an ecological sustainable water management tool, and that has been applied in North America. Challenges presented by the future implementation of such methodology in Brazil are presented and some research opportunities are highlighted.

Palavras chave - regime hidrológico; vazão ecológica; sustentabilidade ambiental

¹Instituto de Pesquisas Hidráulicas–UFRGS. Av. Bento Gonçalves 9500. Porto Alegre. CEP 91.501-970. Fone: (51) 3316 7511. email: collischonn@iph.ufrgs.br

² Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS. Doutorando. Rua Pelotas, 420/23 - Floresta. Porto Alegre – RS. CEP 90.220-110. Fone: (51) 3227-4364. e-mail: sgagra@terra.com.br

³ The Nature Conservancy – SHIN CA 05 Conjunto J Bloco B salas 301/309 Brasília DF – 71503-505 – gfreitas@tnc.org.br

⁴ FEMA MT – Diretoria de Recursos Hídricos – gabriela@fema.mt.gov.br

⁵ FURG Fund Univ Fed. do Rio Grande - Setor de Hidráulica e Saneamento - Departamento de Física. Av. Itália km 8/sn. Rio Grande/RS. rutineia@gmail.com

INTRODUÇÃO

As últimas décadas foram marcadas pela crescente preocupação com o efeito das atividades humanas na sustentabilidade ambiental. 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. Existe, também, a idéia 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).

A preocupação com os problemas ambientais causados pelo manejo inadequado das quantidades de água, como a redução da biodiversidade e a extinção de espécies, é mais recente. Entretanto, este reconhecimento dos problemas ambientais relacionados à quantidade de água esteve, por muito tempo, limitado à noção de que seriam necessárias vazões remanescentes ou residuais, que deveriam 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 para usos consuntivos (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 à jusante de um importante uso da água. Em alguns casos a vazão mantida à jusante é sempre superior à vazão definida como “ecológica”, e mesmo assim ocorrem danos ambientais importantes.

Neste trabalho é apresentada uma metodologia adaptativa, 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 um critério de vazão ambiental, e pode evoluir por intermédio da discussão em um fórum regional como um comitê de bacia.

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. Em diversos casos as alterações no regime fluvial contribuíram para a extinção de espécies nativas e para a invasão por espécies exóticas (Craig, 2000).

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, como 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 à 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, denominada vazão ecológica. Esta resposta visou, principalmente, evitar que a vazão remanescente nos rios durante as estiagens fosse tão baixa que resultasse na falta de oxigênio para os peixes e na conseqüente extinção de espécies, ou mesmo sua intermitência.

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 da 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 vem recebendo atenção crescente no Brasil, como demonstram os muitos trabalhos publicados recentemente (Marques et al., 2003; Garcia e Andrezza, 2004; Pelissari et al., 1999; Pelissari et al., 2000; Pelissari e Sarmiento, 2001; Sarmiento 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 grupos apresentados no quadro 1 (Lanna e Benetti, 2002):

Quadro 1 – Métodos para a determinação da vazão ecológica (Adaptado de Lanna e Bennetti, 2002)

| Grupo | Método |
|--------------------------------------|--|
| 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 Método da Área de Drenagem |
| Métodos Hidráulicos | Método do Perímetro Molhado Método das Regressões Múltiplas |
| Métodos de Classificação de Habitats | Método Idaho Método do Dep. de Pesca de Washington 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). Estes, contemplam várias etapas, incluindo uma identificação das características físicas e ambientais do local em estudo, 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 a pagar pela preservação ambiental e os benefícios gerados pelo uso da água, em busca do 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 à 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 à montante do reservatório.

Observa-se na figura 1 que o hidrograma à 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 à 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 à jusante.

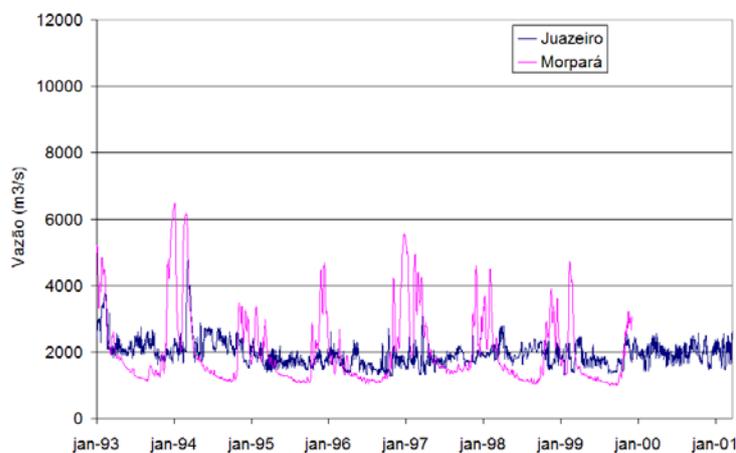


Figura 1 - Hidrogramas do rio São Francisco à montante (Morpará – linha rosa) e à jusante (Juazeiro – linha azul) do reservatório de Sobradinho.

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 essas componentes estão as estiagens, as cheias e o tempo e o período de ocorrência das cheias.

No quadro 2 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.

Os eventos de cheia podem ser acompanhados 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.

Quadro 2 – Características ecológicas associadas a componentes do regime hidrológico

| Vazões mínimas | Vazões altas | Cheias |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • 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 répteis ou aves; • São suficientemente baixas para secar áreas de inundação temporária. | <ul style="list-style-type: none"> • 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. | <ul style="list-style-type: none"> • 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. |

A maior parte da biota que faz parte de um sistema fluvial é relacionada com os pulsos de inundação e seca (Large e Prach, 1995). Os peixes, por exemplo, 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-McConnell, 1999). Durante o período de cheias há uma conexão entre o rio e a planície de inundação, e as águas na planície recebem muitos nutrientes, devido à rápida decomposição da vegetação, de restos animais ou da camada húmifera 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 e, ao final deste período, conforme as águas baixam, muitos peixes podem ficar retidos em poças (podendo ser a fonte de alimento para inúmeros pássaros) enquanto outros peixes jovens conseguem retornar ao rio principal (podendo sofrer predação posterior 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 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, como 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 $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

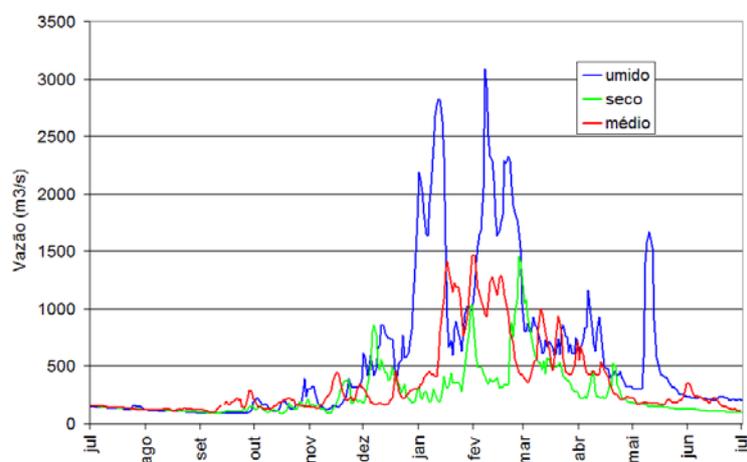


Figura 2 - Hidrogramas de vazão do rio Cuiabá, em Cuiabá, durante um ano úmido (1994-1995), seco (1997-1998) e médio (1982-1983).

A partir da análise dos hidrogramas da figura 2, ressalta-se que a vazão ecológica não deve ser tomada como um valor único, mas sim como um conjunto de valores, que devem ser estabelecidos, respeitando a ocorrência temporal, de tolerância e necessidade das espécies. Logo, o atual critério utilizado no Brasil, da manutenção de vazões iguais ou superiores a determinados limites (as vazões ecológicas), durante a época de estiagem, não é garantia 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 *Building Block Method* (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.

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, essa necessidade é, às vezes, incompatível com as necessidades humanas atuais. Por isso devem ser identificados e quantificados os aspectos do regime hidrológico que são fundamentais para a manutenção dos ecossistemas.

Para compatibilizar os usos humanos e as necessidades dos ecossistemas, é necessário quantificar objetivos ecológicos em termos de vazões ou níveis de água que devem ser atendidos ou evitados. Portanto, o objetivo deste primeiro passo é 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.

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. Também é importante contar 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 na 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. A análise não deve, entretanto, ser limitada a uma ou poucas espécies individuais, pois uma vez que não sejam propiciadas condições de sobrevivência para espécies de nível trófico superior e inferior a estas (para todo o ecossistema), o desequilíbrio da cadeia alimentar surgirá, resultando possivelmente na extinção de espécies e no provimento de condições ótimas para a fixação de espécies exóticas.

O regime natural (anterior às grandes modificações humanas) deve servir como um marco, para guiar o processo de busca, uma vez que as espécies existentes neste ecossistema estão adaptadas para as condições deste regime. Pela dificuldade em predizer o comportamento do ambiente com segurança, 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 descrevam 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 (Richter et al., 2003).

A etapa de estimativa das necessidades de vazão do ecossistema pode ser facilitada 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 quanto à vazão mínima que deve escoar pelo rio ao longo dos 12 meses, quanto à vazão máxima que pode ocorrer durante os meses de estiagem e quanto à 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.

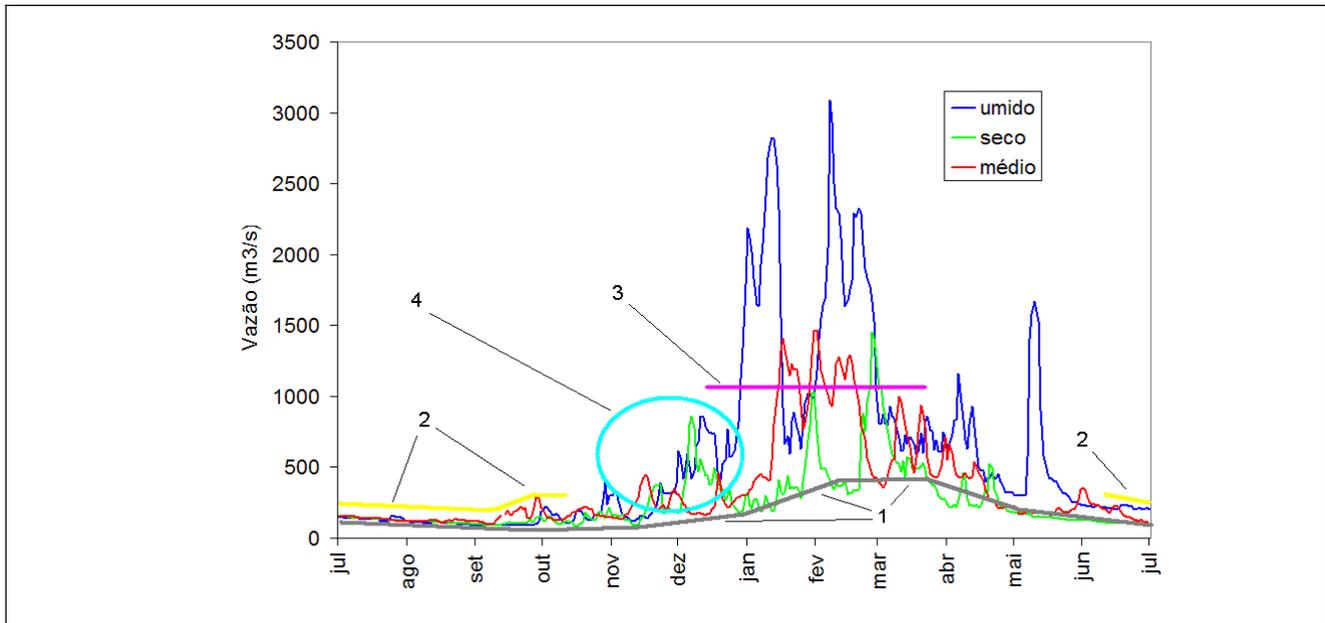


Figura 3 - Exemplo fictício de um hidrograma prescrito: (1) vazão mínima em cada mês (necessária para não reduzir o tamanho do habitat); (2) máxima vazão durante a estiagem; (3) mínima vazão de cheia; (4) pequenas cheias no início do verão.

No hidrograma prescrito da figura 3 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 presentes 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 marginal, 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 podem atuar 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 não menos 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.

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.

Terceiro passo: avaliar conflitos

Nesta etapa 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

as mesmas 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: geração de energia versus vazões baixas durante a estiagem; atenuação de grandes cheias para evitar inundações em cidades versus cheias para inundar planícies e conectar lagos marginais; atenuação de pequenas cheias no início do período úmido para recuperar o armazenamento em reservatórios versus necessidade de pequenas cheias que atuam como gatilhos para disparar processos ecológicos como a migração; retirada de água para irrigação versus necessidade de água no rio durante a estiagem; flutuações de alta frequência na vazão turbinada de uma usina para atender demanda de pico versus necessidade de estabilidade da vazão; necessidade de níveis (e vazões) altos durante a estiagem para a navegação versus vazões baixas durante a estiagem; necessidade de liberar vazões para criar volume de espera em reservatórios de uso múltiplo versus 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).

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 às necessidades humanas e às necessidades dos ecossistemas.. 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. Por exemplo, uma importante tomada de água, localizada à montante de uma importante área de desova de peixes, pode ser mudada para jusante desta área. Em outros casos, por exemplo, quando é necessário armazenar água, é possível iniciar a recuperação do armazenamento do reservatório um ou dois meses mais tarde, para não eliminar as 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 nesse artigo, 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 mantêm o atendimento aos usos humanos para os quais foram originalmente construídas.

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 estas 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.

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 à 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; (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 seqüência 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 à medida em que novas informações venham a ser obtidas em experimentos de manejo ou pelo monitoramento contínuo de variáveis ecológicas.

DESAFIOS NA TRANSIÇÃO DA VAZÃO ECOLÓGICA PARA O HIDROGRAMA ECOLÓGICO

A metodologia MESA tem 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 (Kelman, 2000).

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 à 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 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, evidenciam a necessidade de descentralização dos 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 integradas de ecologia e hidrologia que permitam responder de forma mais detalhada quais são as relações entre o regime hidrológico e o ecossistema.

BIBLIOGRAFIA

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. 88 p.

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. 200 p.

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. 59 p.
- 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.
- 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.
- KELMAN, J. 2000 *Evolution of Brazil's water resources management system*. In: Canali, G.; Correia, F. N.; Lobato, F.; Machado, E. S. 2000 *Water resources management: Brazilian and European trends and approaches*. ABRH. Porto Alegre. 328p.
- 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
- LARGE, A. R. G., PRACH, K., 1999. *Plants and water in streams and rivers*. In: Eco-hydrology: Plants and water in terrestrial and aquatic environments. Org: Baird, A e Wilby, R. Routledge Physical Environment Series. New Fetter Lane, London. p. 237 - 268.
- 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.
- 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 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.; 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. 2003. 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 p.

TURNER, R. K.; PEARCE, D.; BATEMAN, I. 1994 *Environmental economics: An elementary introduction*. Harvester Wheatsheaf New York. 328 p.