

# VAZÕES ECOLÓGICAS E REMANESCENTES EM RIOS ALTERADOS POR BARRAGENS METODOLOGIA PROPOSTA PARA A PRESCRIÇÃO

---

*Geraldo Lopes da Silveira*  
*Rafael Cabral Cruz*  
*Jussara Cabral Cruz*  
*Fabio Silveira Villela*

O barramento de rios e, de modo geral, o uso consuntivo da água, alteram o regime natural de escoamento dos cursos de água, em muitos casos com a diminuição da vazão a jusante das seções de aproveitamento. Por outro lado, a manutenção dos pulsos naturais de escoamento com seus períodos de cheias e secas é condição importante para a sustentabilidade dos ecossistemas. Com base nessas premissas, formata-se um método para a prescrição de regime de vazões ecológicas a jusante de reservatórios em diferentes etapas, adaptado ao caso de barragens de usinas hidrelétricas. O método proposto discrimina as etapas hidrológica, ecológica, sanitária e hidroenergética. No que diz respeito ao trecho de vazão alterada ou reduzida, a etapa hidrológica concentra-se no balanço hídrico; a ecológica, na identificação dos pulsos e seus significados frente ao ecossistema; a sanitária, na manutenção do padrão de enquadramento do rio e outros usos; e a hidroenergética, na viabilidade da usina.

## Introdução

A implantação de um reservatório, ou barramento, produz alteração do regime hidrológico natural do rio, por meio: (a) da regularização das vazões, ou (b) pelo desvio de faixa de vazões naturais afluentes ao barramento para as turbinas. Em ambos os casos, verifica-se o surgimento dos trechos de vazão alterada do rio, os TVAs.

Da mesma forma, é reconhecida a importância da manutenção do regime hidrológico para a qualidade ambiental de um rio e dos ecossistemas associados, 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.<sup>1</sup>

No Brasil, a prática tradicionalmente utilizada para a prescrição de um regime de vazões em um TVA consiste no estabelecimento de vazão mínima, a ser mantida a jusante de um barramento. Essa estratégia metodológica fundamenta-se na definição de uma vazão mínima de referência, calculada com base em alguma estatística da série histórica, sem analisar, no entanto, se a mesma pode realmente acarretar algum prejuízo para o ecossistema, uma vez que reduz a variabilidade natural da vazão. Na tentativa de contornar tais problemas, novas abordagens vêm sendo desenvolvidas, de maneira a contemplar não só o valor mínimo da vazão residual a ser mantida no rio, como também valores máximos, época da ocorrência dos pulsos de cheias e secas, bem como suas durações. A esse novo enfoque deu-se o nome de hidrograma ecológico.<sup>2</sup>

Aperfeiçoando e adaptando o hidrograma ecológico à realidade do licenciamento de usinas hidrelétricas (UHEs) no Rio Grande do Sul, a Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) e a ELETROSUL firmaram parcerias no âmbito da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), para aplicar tais preceitos à realidade prática.

Após estudos iniciais consolidados, foi definida uma prescrição de regime de vazões remanescentes aos TVAs, tendo como estudo de caso a UHE São João, no rio Ijuí. Parte-se do princípio de que, uma vez autorizada a implantação de uma usina hidrelétrica, o impacto ocorre e a questão se concentra em avaliar qual a vazão remanescente conduz a um impacto menor, com maior adequação ambiental e mediante uma discussão socioambiental. Essa prescrição pode pressupor vazões mínimas menos conservadoras que o

<sup>1</sup> POFF, L. N.; ALLAN, J. D.; BAIN, M. B.; KARR, J. R.; PRESTEGAARD, K. L.; RICHTER, B. D.; SPARKS, R. E. & STROMBERG, J. C. The Natural Flow Regime: a paradigm for river conservation and restoration. *BioScience*, 47(11):769-784, 1997.

BUNN, S. E. & ARTHINGTON, A. H. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management*, 30(4): 492-507, 2002.

POSTEL, S. & RICHTER, B. *Rivers for Life: Managing Water for People and Nature*. Washington, D. C.: Island Press, 2003. 253 p.

NAIMAN, R. J.; BUNN, S.; NILSSON, C.; PETTS, G. E.; PINAY, G. & THOMPSON, L. C. Legitimizing fluvial ecosystems as users of water: an overview. *Environmental Management*, 30(4): 455-467, 2002.

<sup>2</sup> POSTEL, S. & RICHTER, B. *Op. cit.*

COLLISCHONN, W.; AGRA, S. G.; FREITAS, G. K.; PRIANTE, G.; TASSI, R. & SOUZA, C. F. Em busca do Hidrograma Ecológico. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, Nov. 2005, *Anais*. CD-ROM.

usual, proporcionando maior geração de energia, mas com a manutenção de pulsos de vazão de interesse ecológico e vazões de base que garantam os outros usos nos trechos de vazão reduzida/alterada.

Busca-se, portanto, apresentar aqui a metodologia desenvolvida para definição da prescrição de vazões e a proposição de associá-las a uma prática de manejo adaptativo.

### Vazões remanescentes: situações tipo

Após a implantação da barragem, o sistema fluvial que outrora era um rio contínuo, agora está compartimentado em (1) *trecho de montante*; (2) *Reservatório*; (3) *Alça ou Trecho de Vazão Reduzida ou Alterada*; e (4) *trecho de jusante*. Todos esses trechos, após a obra, têm sua dinâmica hídrica alterada, provocando impactos diversos que devem necessariamente ser minimizados frente às necessidades de viabilização socioambiental do empreendimento, além da viabilidade econômica.

Por interferência direta da barragem, podem surgir trechos de rio com regime de vazões alterado em relação à vazão natural e a barreiras significativas para a piracema. O esquema apresentado na figura 1 ilustra a repercussão do impacto das regras operacionais de um aproveitamento hidrelétrico no fluxo de um rio.

A alteração do regime de vazões pode decorrer do efeito da operação de reservatórios de regularização, que acumulam volumes de águas de períodos chuvosos para o período de estiagens. Pode-se ter regularização interanual e intra-anual.

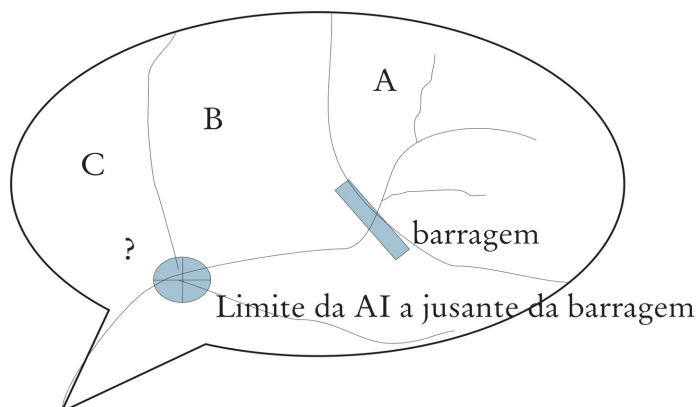


Figura 1: Área de influência (AI) a jusante de barragem

O reservatório em si afeta e é afetado diretamente pelas decisões de manejo, ou seja, pela operação do reservatório. As decisões de manejo devem ser tomadas antes da construção do reservatório, pois as características construtivas, incluindo o dimensionamento das turbinas e de sua faixa operacional de vazões, acabam determinando a maior parte dos impactos sobre o regime hidrológico do trecho de rio impactado.

Também pode ocorrer trecho de vazão reduzida em segmento de rio situado entre o eixo da barragem e as estruturas de descarregamento das vazões turbinadas. Este trecho de rio, a Alça de Vazão Reduzida, pode ocorrer em desenhos de aproveitamento de quedas de rios de planalto, que apresentam alças formadas pelo encaixe da drenagem nos lineamentos (fraturas, falhas) ocorrentes no embasamento geológico. No caso das áreas de planalto situadas sobre a Formação Serra Geral, existe uma abundância de alças com este formato, configurando um padrão de rios que apresenta falsos meandros e grandes declividades, permitindo o aproveitamento da queda por aduções em túneis através do “pescoço” da alça. Nestes casos, a Alça de Vazão Reduzida (AVR) pode estender-se sobre vários quilômetros, causando uma forte fragmentação do rio, mediante alteração do seu regime de pulsos e da disponibilidade de habitats para a fauna e a flora nativas.

Um exemplo da conformação do serpenteamento do rio pode ser observado na figura 2, em área próxima à região de Ijuí, Rio Grande do Sul.

Considerando os parâmetros de existência (ou não) no aproveitamento de: (a) alça de vazão reduzida; (b) volume para regularização; e (c) barreiras naturais para a piracema, configuram-se as seguintes situações-tipo referentes a impactos (quadro 1). Para as situações de I a IV – aproveitamento com alça de vazão reduzida – estabelecem-se parâmetros para valoração maior ou menor de impactos relacionados, por exemplo, à área incremental de bacia na alça de vazão reduzida, ao comprimento da alça e seus parâmetros relacionados ao índice de motorização do aproveitamento hidrelétrico. A priori, a motorização da usina é um fator diretamente relacionado aos impactos na alça de vazão reduzida. Motorização é sinônimo de potência instalada, e quanto maior a potência, maior é a vazão a ser engolida pela turbina. Por consequência, a vazão deixa de escoar na AVR, alterando suas condições naturais de escoamento. Este impacto deve ser contextualizado junto à bacia hidrográfica.

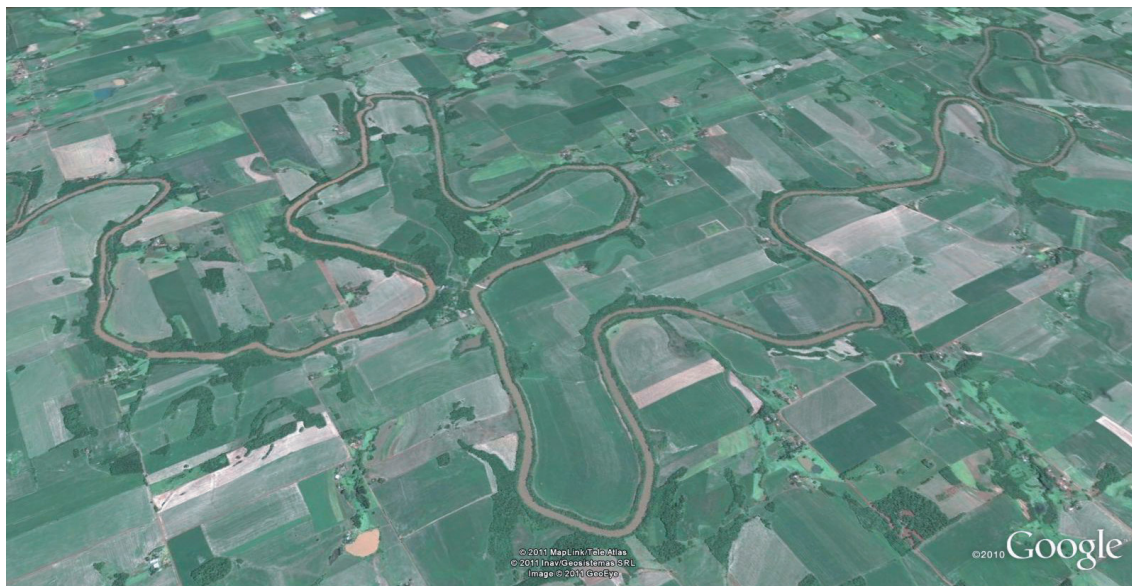


Figura 2: Serpenteamento do Rio Ijuí, na região de Ijuí, Rio Grande do Sul. Fonte: Google Earth

Para avaliar o impacto em trechos de vazão reduzida decorrentes do esquema operacional, deve-se realizar o balanço hídrico na usina, considerando-se as situações-tipo do quadro 1.

Quadro 1: Enquadramentos para valoração de impactos

Situação Tipo	AVR	Regularização	Barreira Natural
I	sim	sim	sim
II	sim	sim	não
III	sim	não	sim
IV	sim	não	não
V	não	sim	sim
VI	não	sim	não
VII	não	não	sim
VIII	não	não	não

## Manejo adaptativo

Uma das limitações comuns à maioria dos processos de licenciamento de obras em cursos de água é a quase inexistência, na maior parte dos rios brasileiros, de uma coleta sistemática e longa de dados que permita a construção de modelos quali-quantitativos adequados para que se possam tomar decisões com uma carga relativamente pequena de incertezas. Muitas vezes, algumas variáveis possuem

boa quantidade de dados, no entanto, outros são inexistentes. De modo geral, os estudos de impacto ambiental têm sido indutores do início do estudo de inúmeros ecossistemas lóticos brasileiros, sendo inúmeras espécies descobertas nos inventários efetuados para estes estudos, bem como a atualização de áreas de distribuição de espécies de interesse particular.

Uma forma de atuar nessa realidade de carência de dados é definir um marco zero como referência de comparação para a análise de impactos. Dificilmente são encontrados ecossistemas em condições de integridade ecológica similar àquela que seria observada nestes ecossistemas em períodos anteriores à ocupação européia (supõe-se que o manejo das comunidades indígenas era adaptado aos ecossistemas), que seria representativa de uma situação de não-impacto. Encontram-se, entretanto, ecossistemas com graus variados de alteração antrópica, relacionados com diversos tipos de uso dos recursos naturais e com graus diferenciados de degradação da sua integridade. Como não se conhece como eram tais ecossistemas em condições de alta naturalidade, parte-se do pressuposto de que um dado empreendimento não deve reduzir a integridade de um determinado ecossistema mais do que ele já está degradado. Portanto, o projeto deve definir o critério do impacto zero como linha mestra (referência) para avaliação das estratégias para o empreendimento.

No entanto, mesmo em rios degradados, a legislação de recursos hídricos estabelece, entre os instrumentos de gestão, o enquadramento das águas como meta futura de qualidade que deve orientar os empreendimentos e o uso em geral dos recursos naturais dentro da bacia hidrográfica. As metodologias devem buscar um ajuste entre a meta de não somar degradação por ocasião de sua instalação, bem como contribuir para que as metas de qualidade previstas no enquadramento do curso de água sejam alcançadas dentro do horizonte de planejamento expresso no Plano de Bacia.

A utilização da abordagem tipo marco-zero em gestão de recursos hídricos foi proposta por Cruz<sup>3</sup>. A autora demonstra a utilidade deste tipo de abordagem para gestão de recursos hídricos no contexto de carência de dados.

Os conceitos atuais sobre “saúde ambiental dos rios” têm, de acordo com Gordon *et al.*<sup>4</sup>, um caráter científico normativo com valores pessoais associados; não constituem, portanto, uma contribuição imparcial para assessorar os tomadores de decisão. De acordo com os mesmos autores,

<sup>3</sup> CRUZ, J. C. *Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Técnicos e Conceituais*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 189 p. (Tese. Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). 2001.

<sup>4</sup> GORDON, N. D.; McMAHON, T. A.; FINLAYSON, B. L.; GIPPEL, C. J. & NATHAN, R. J. *Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists*. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2004. 429 p.

alcançar a saúde dos rios é uma tarefa dirigida por preferências da sociedade, sendo o grande desafio da política de gestão decidir entre diferentes conjuntos de preferências sociais aquelas que devem ser adotadas. Nesse contexto, a informação científica é apenas parte de um processo de decisão, mas que possui certa aura de imparcialidade e objetividade, o que a distinguiria dos outros atores do processo, que estariam representando unicamente os interesses setoriais ou privados. Como visto anteriormente, o conceito está impregnado de erro, dada a subjetividade inerente ao conceito.

Duas vias podem ser vislumbradas para reduzir o risco de os pontos de vista subjetivos dos cientistas – com sua visão de mundo e seus critérios pessoais – resultarem em um processo autoritário, mesmo quando a tomada de decisão se processe em estruturas participativas e democráticas: (a) a informação científica deve estar inserida em processo de gestão ambiental participativo, que adote a educação ambiental como eixo integrador, permitindo uma apreensão progressiva, pelos tomadores de decisão, dos conhecimentos necessários para uma decisão mais eficiente e que possua maior aceitabilidade social; (b) o conhecimento científico deve ser desenvolvido através de métodos que possuam retro-alimentação contínua, em que observação e teste de hipóteses sejam conduzidos como um grande experimento, assim como apregoado no manejo adaptativo.

O manejo adaptativo pode ser definido como “um processo que integra a compreensão ambiental com a social e econômica no início do processo de desenho de um projeto, em uma sequência de passos durante as fases do projeto e após a sua implementação”<sup>5</sup>. A figura 3 apresenta o ciclo do manejo adaptativo.

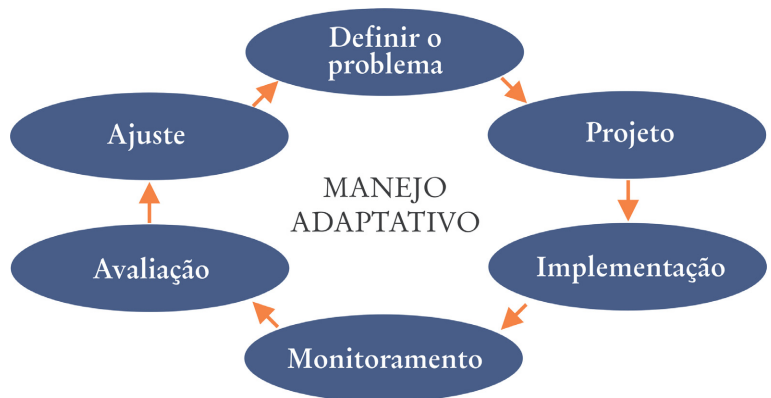


Figura 3: O ciclo do manejo adaptativo<sup>6</sup>

<sup>5</sup> HOLLING, C. S. (Ed.). *Adaptive environmental assessment and management*. London: John Wiley & Sons, 1978.

<sup>6</sup> NYBERG, B. *An introductory guide to adaptive management for project leaders and participants*. Victoria: Forest Services Branch/British Columbia Ministry of Forests, 1999.

<sup>7</sup> BROWN, C. S. & KING, J. M. Environmental flows: concepts and methods. In: DAVIS, R. & HIRJI, R. (Eds.). *Water Resources and Environment*. Technical Note, Ci. Washington, DC: The World Bank, 2003.

De acordo com Brown & King<sup>7</sup>, os diversos métodos de avaliação de vazões ambientais podem ser classificados em dois grandes grupos: os prescritivos e os interativos. Os primeiros normalmente requerem uma quantidade menor de dados e de tempo para a execução dos estudos, mas possuem menor confiança nos seus resultados. Os métodos interativos resultam em processos que devem ser conduzidos em maior tempo, com necessidade maior de dados e que apresentem maior confiança relativa nos resultados. O quadro 2 mostra uma análise comparativa de alguns métodos prescritivos e interativos.

Quadro 2: Necessidade de dados e tempo de alguns métodos de avaliação de vazões ambientais. Fonte: BROWN & KING<sup>8</sup>

Resultado do método	Método	Necessidades de tempo e dados	Duração aproximada da avaliação	Confiança relativa no resultado
Prescritivo	Método de Tennant	Moderada a baixa	Duas semanas	baixa
	Método do perímetro molhado	Moderada	2-4 meses	baixa
	Reunião de especialistas	Moderada a baixa	1-2 meses	média
	Método holístico	Moderada a alta	6-18 meses	média
Interativo	IFIM	Muito alta	2-5 anos	alta
	DRIFT	Alta a muito alta	1-3 anos	alta

<sup>8</sup> BROWN, C. S. & KING, J. M. *Op. cit.*

Observa-se que, no contexto de um processo de tomada de decisões com prazos curtos, como normalmente ocorre em casos de licenciamento ambiental, a escala de tempo necessária para que se alcancem níveis altos de aceitabilidade social, associados ao alto grau de confiança nos resultados, é incompatível com os prazos médios necessários para métodos interativos. No entanto, se o processo de licenciamento é visto como parte de um processo de gestão do meio ambiente, com possibilidade de ajustes subsequentes, no sentido de uma abordagem de manejo adaptativo, é possível que se utilizem métodos prescritivos em um primeiro momento, como os métodos de reunião de especialistas e holístico, por exemplo. Deles podem resultar um grau mediano de confiança nos resultados, seguido de amplo processo de monitoramento, com vistas à constituição de base de dados para que se possam aplicar metodologias interativas, incorporando a geração de cenários alternativos e testando hipóteses.



Em princípio, o objetivo não é definir normas técnicas para execução dos estudos, nem o desenvolvimento de investigações que resultem em novas tecnologias de aplicação, mas, sim, estabelecer as condições de contorno que determinarão o ambiente do projeto destinado ao assessoramento à tomada de decisões no órgão licenciador. Ou seja, definir critérios que devam ser respeitados pelos executores dos estudos e/ou projetos, reservando a liberdade de escolha, entre as muitas técnicas disponíveis, aos responsáveis pela execução dos estudos e/ou projetos. De outro modo, caso o estudo resultasse em normas para a execução dos projetos destinados a subsidiar o processo de licenciamento de barragens, logo poderia a norma ser desbancada pela realidade, dado o avanço das técnicas e do conhecimento sobre ecossistemas lóticos. Haveria pouca capacidade de adaptação às novas condições do sistema de licenciamento. Esta é a vantagem do manejo adaptativo, ou seja, a garantia de adaptabilidade ao sistema.

O enfoque então deve ser centrado nos efeitos e não nas técnicas. Ao estabelecer as condições de contorno, define-se, com base no que existe de avançado em termos de conhecimento científico, o conjunto de restrições que devem ser respeitadas nos projetos, de tal forma que os executores encontrem as melhores alternativas tecnológicas para assegurar os resultados econômicos e, ao mesmo tempo, atender as demandas da sustentabilidade social e ambiental.

Esse tipo de abordagem, aplicada ao regime quali-quantitativo de vazões em uma barragem, por exemplo, envolve estabelecer como condição de marco zero a identificação do regime de vazões afluentes à barragem. Tal regime servirá como padrão para o critério do impacto zero, devendo o projeto da barragem manter condições o mais próximas possíveis da vazão efluente da barragem. O que deverá ser feito pelos projetistas para alcançar esta meta depende de outras variáveis do ambiente de projeto, tais como tempo, recursos financeiros, disponibilidade de materiais, tecnologias e de conhecimentos específicos sobre o local escolhido para a obra, que escapam ao universo do processo de licenciamento ambiental.

O regime quali-quantitativo de um rio deve cumprir inúmeras funções. Algumas são regulamentadas na forma da legislação ambiental, como os padrões de qualidade das águas, enquanto outras são definidas na legislação de forma muito difusa, imprecisa, como a conservação dos ecossistemas. Neste caso, os estudos devem ser conduzidos de acordo com os avanços da ciência, buscando-se modelos teóri-

cos de rios que sustentem hipóteses sobre as restrições a serem prescritas. No contexto de um manejo adaptativo, essas hipóteses devem ser testadas pelo processo de monitoramento, o qual deve ser estabelecido de tal forma que permita o teste. Procurando atender o que está na legislação, bem como os avanços na ecologia de rios, propõe-se que o regime quali-quantitativo de vazões deverá atender quatro blocos de vazões: (a) vazões referentes à manutenção da qualidade da água – balanço de cargas em relação às vazões afluentes e efluentes; (b) prescrições específicas referentes a usos de irrigação, captação de água potável, recreação de contato, navegação etc. (necessariamente os conflitos devem ser solucionados no Comitê de Bacia); (c) garantia de pulsos de vazões mínimas, médias e máximas, considerando-se a variabilidade intra e interanual, em base mensal, a partir de séries diárias (deve-se verificar se a comunidade está disposta a compensar ou conservar determinado ecossistema – opção não válida para casos extremos em que se impõe a tutoria do meio ambiente e dos interesses das gerações futuras pelo órgão ambiental); (d) garantia do regime de variação intra e interanual das descargas sedimentares, voltada para a manutenção da morfologia do canal no trecho a jusante da represa.

### Método adaptado à alça de vazão reduzida

O quadro 3 sintetiza um macro fluxograma das etapas que constroem a abordagem metodológica proposta para a prescrição de regime de vazões remanescentes em trechos de vazão reduzida oriundas da implantação de usinas hidrelétricas. O conjunto das fases pode ser desenvolvido sequencialmente conforme o fluxo do quadro a seguir.

Quadro 3: Macro-fluxo para prescrição de regime de vazões remanescentes

Fase	Atividade	Metodologia
1	Leitura da série de vazões afluentes ao aproveitamento	Avaliação hidrológica
2	Determinação da franja de tensão	Avaliação ecológica
3	Determinação da vazão basal	Estimativa de vazão para manter a qualidade da água e para manter os outros usos nos trechos de vazão reduzida
4	Prescrição do Regime de Vazões Remanescentes a ser atendido	Sobreposição da franja de tensão com a vazão basal
5	Validação das regras operativas da Usina por meio de simulação hidroenergética	Avaliação das vazões a jusante do aproveitamento nos trechos de vazão reduzida por meio de balanço hídrico

A Fase 1 – *Avaliação Hidrológica* – envolve a obtenção da série histórica de vazões afluentes à seção do empreendimento. Eventualmente existe uma estação fluviométrica próxima da seção. Neste caso, os estudos hidrológicos devem ser desenvolvidos para analisar a consistência dos dados, alongar a série com base em observações de prazo mais longo, se for o caso, e preencher falhas. A série histórica deve ser também convertida para séries de cotas através da curva-chave que será utilizada para extração dos parâmetros necessários à obtenção das séries sintéticas, geradas através da metodologia SOSN<sup>9</sup>. Estas, por sua vez, serão utilizadas para a decomposição da série temporal de vazões em seus componentes previsíveis e aleatórios através do software FFTSINT<sup>10</sup>.

A Fase 2 – *Avaliação Ecológica* – envolve a obtenção de descritores hidroecológicos das séries de vazões resultantes de diferentes cenários de prescrição do regime de vazões remanescentes através dos softwares IHA<sup>11</sup> e PULSO<sup>12</sup>; envolve também a análise da distribuição de formas de vida e de caracteres funcionais da vegetação ao longo da seção topográfica do rio. Tais análises produzem três matrizes de descritores, cuja congruência, com base no software SYNCOSA<sup>13</sup>, é utilizada para avaliação da recomendação mais ajustada à distribuição da vegetação. Uma vez selecionada a recomendação, avalia-se o intervalo de variações em cotas correspondentes às vazões máximas e mínimas, definindo o intervalo de cotas que deve ser minimamente preservado no trecho: a franja de tensão.

A Fase 3 – *Determinação de Vazão Basal* – avalia cenários e limites inferiores de vazões de base (mínimas) que devem ser escoadas no trecho de vazão reduzida ou alterada a jusante do barramento em cada período do ano – mês a mês. Tem por objetivo manter a integridade sanitária do rio, seu padrão de enquadramento atual, e os outros usos ali existentes.

A Fase 4 – *Prescrição de Cenários de Regimes de Vazão Alterada ou Reduzida* – considera diferentes possibilidades de vazão basal (Fase 3) sobre as quais poderia ser mantida a flutuação de níveis com interesse ecológico (Fase 2).

A Fase 5 – *Validação da Regras Operativas* – simula a operação da usina obedecendo aos diferentes cenários (Fase 4) do regime de prescrição de vazões ecológicas e remanescentes ao barramento, avaliando o montante de vazões turbinadas. Com isto, traz subsídios à discussão socioambiental e à tomada de decisão pelos gestores para a definição do cenário de prescrição que deve ser adotado para o início de operação da usina. Mostra os cenários que mantêm a viabilidade da usina, e aqueles que a tornam inviável.

<sup>9</sup> MINE, M. R. M. Geração de Vazões Médias Diárias pelo SOSN. *Revista Brasileira de Engenharia*, 8(1):51-64, 1990.

<sup>10</sup> CRUZ, R. C. *Prescrição de Vazão Ecológica... Op. cit.*

<sup>11</sup> RICHTER, B. D.; BAUMGARTNER, J. V.; POWELL, J. & BRAUN, D. P. A Method for Assessing Hydrologic Alteration Within Ecosystems. *Conservation Biology*, 10(4):1.163-1.174, 1996.

<sup>12</sup> NEIFF, J. J. & NEIFF, M. *Pulso. Software para Analisar Fenômenos Recorrentes*. Disponível em <http://www.neiff.com>, 2003.

<sup>13</sup> PILLAR, V. D. & SOSINSKI Jr., E. E. An improved method for searching plant functional types by numerical analysis. *Journal of Vegetation Science*, 14:323-332, 2003. PILLAR, V. P. *SYNCOSA for Macintosh and Windows - Version 2.2*. Porto Alegre: Departamento de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004. 1 disquete.

O cenário definido deve garantir a integridade do sistema através do manejo adaptativo e do monitoramento em tempo real. Além disso, deve-se desenvolver o acompanhamento da situação do sistema, buscando sempre corrigir com agilidade qualquer desequilíbrio na qualidade da água, visando, desta forma, estabelecer o gatilho sanitário como estratégia de controle.

A abordagem proposta, como não poderia deixar de ser, parte do princípio de que a implantação de um empreendimento, como uma usina hidrelétrica, acarreta danos ao ambiente, por um lado, e, por outro, responde a uma necessidade social relativa à geração de energia. A figura 4 ilustra a lógica da abordagem pretendida, considerando a necessidade de manter os pulsos de importância ecológica e a necessidade de um fluxo basal que mantenha os outros usos e a qualidade da água no padrão de enquadramento do rio. Do fluxo basal natural deve ser subtraída a faixa de vazões necessária à geração e à consequente viabilização do empreendimento.

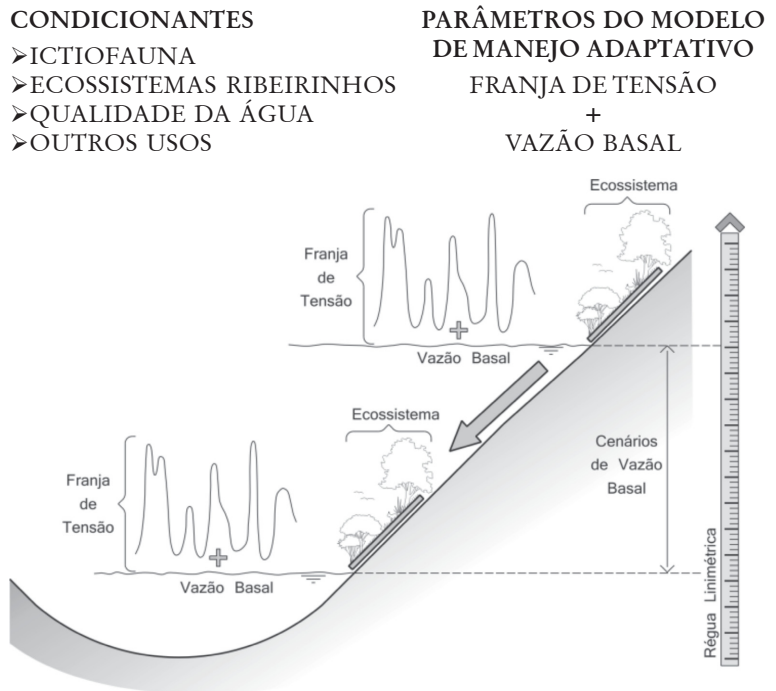


Figura 4: Prescrição de regime de vazões remanescentes: adaptação de ecossistemas

Ainda, a abordagem adotada coloca em foco alguns conceitos de Fluviometria que precisam ser recuperados, pois estão vinculados à interpretação, à dinâmica e à lógica

da metodologia. Quando se desvia do rio a faixa de vazão que será turbinada, temos um rebaixamento de todo o hidrograma e conseqüentemente das vazões basais. Por outro lado, não é linear a relação entre cotas e vazões, conforme se depreende do esquema da figura 5.

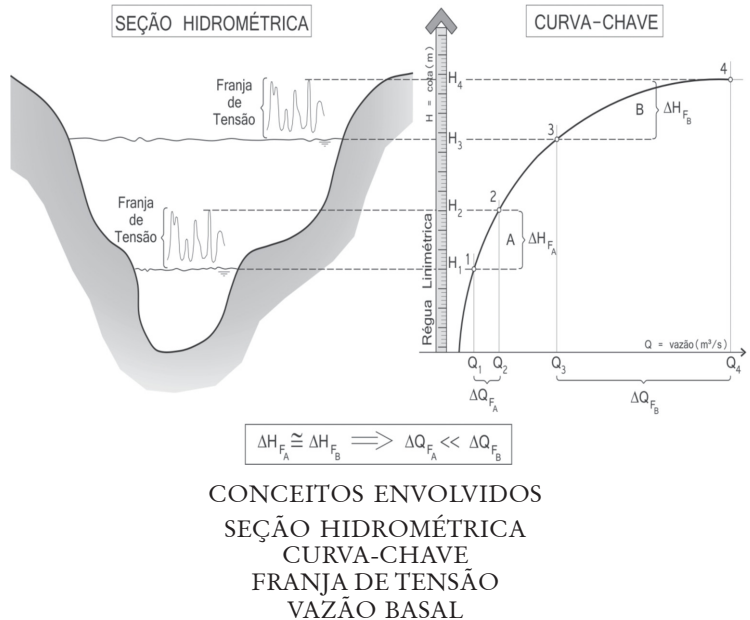


Figura 5: Relações entre fluviometria e franja de tensão

A faixa de vazão natural do rio que é desviada para as turbinas do empreendimento hidrelétrico e, portanto, subtraída do fluxo natural pode provocar um rebaixamento das vazões basais originais, até o limite em que estas mantenham a integridade do ambiente relativo aos ecossistemas ribeirinhos, à ictiofauna e à manutenção dos padrões de qualidade das águas. Conforme se depreende da figura 5, para manter os pulsos de interesse ambiental em níveis altos, necessita-se de um volume maior de vazão, diminuindo a parcela turbinada.

Dessa forma, procura-se um natural equilíbrio: por um lado, o empreendimento requer uma faixa de vazões para turbinar que vai até o limite da vazão que não pode comprometer o estado pretendido referente à manutenção do padrão de enquadramento e dos outros usos nos trecho de vazão reduzida.

Para sustentar uma variação de nível é necessária uma variação de vazão, logo:

$$\Delta H_{FranjaB} = \Delta H_{FranjaA} \implies \Delta Q_{FranjaB} \gg \Delta Q_{FranjaA} \quad (1)$$

Isso implica que, para manter a franja de tensão em patamares de vazão dos quais são descontados a faixa de vazões do hidrograma, que sustentam a geração da usina, teremos a necessidade de determinar este patamar – uma vazão basal – sobre a qual será assentada a franja de tensão. Observando a figura 5, verifica-se que, devido à não linearidade da curva-chave, temos uma situação em que se observa o indicado pela expressão 1. No caso, seria necessária uma menor quantidade de vazão para manter a flutuação da franja de tensão em patamar inferior de vazão devido à não-linearidade da curva-chave.

Em decorrência da abordagem proposta, pode-se determinar *a priori* diferentes cenários de prescrição de vazões remanescentes em função de diferentes vazões basais – sobre as quais se produz a franja de tensão. A franja de tensão define uma variabilidade intra-anual detectada mês a mês, ou seja, são determinados valores mensais variáveis – de vazões basais – que sustentam a flutuação de níveis com importância ecológica.

### Considerações finais

No contexto da legislação brasileira e considerando uma realidade de carência de informações, buscou-se a construção de uma abordagem metodológica adaptada ao cenário de tomada de decisões. Através do manejo adaptativo, buscou-se ajustar uma variabilidade mínima de vazões (franja de tensão) a ser mantida ao longo do ano, relacionada com a diversidade de habitats e com exigências de processos baseados em ajustes das comunidades através de respostas ao regime de perturbações (respostas em termos de regressão/sucessão ou adaptação, de acordo com o grau de previsibilidade do regime de pulsos). Essa variabilidade deve estar assentada sobre uma vazão basal mínima que atenda aos requisitos de manutenção da qualidade da água, pesca, recreação, usos consuntivos, valores paisagísticos etc. Como não existem trechos de rios iguais, com as mesmas qualidades e interesses, não há como definir métodos *a priori*. Cada caso é um caso. A riqueza da abordagem proposta é que cria uma estrutura capaz de permitir a construção, a adaptação ou utilização do método para cada caso, a partir da definição dos objetivos claros de gestão.

**Geraldo Lopes da Silveira** é graduado em Engenharia Civil, doutor em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental e professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

geraldoufsm@gmail.com

**Rafael Cabral Cruz** é graduado em Oceanologia, doutor em Ecologia e professor da Universidade Federal do Pampa, Campus São Gabriel, Rio Grande do Sul.

rafaelcruz@unipampa.edu.br

**Jussara Cabral Cruz** é graduada em Engenharia Civil, doutora em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, professora do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

jussaracruz@gmail.com

**Fabio Silveira Villela** é graduado em Biologia, doutor em Ecologia e consultor na área de Meio Ambiente.

fabio@simbiota.com.br