

# **ESTADO DA ARTE DA VAZÃO ECOLÓGICA NO BRASIL E NO MUNDO**

## **PRODUTO 2**

**Referência: Edital n. 05 do ano de 2006, PROJETO 704BRA2041 da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura – UNESCO.**

**Robson Sarmento**  
Eng.;Espec.;M.Sc.;Ph.D  
**Junho 2007**

**UNESCO/ANA/CBHSF**

## **INDICE**

<b>I – APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>3</b>
<b>II – VAZÃO ECOLÓGICA – TERMINOLOGIA.....</b>	<b>4</b>
<b>III – MARCO LEGAL NO BRASIL.....</b>	<b>6</b>
<b>IV – ESTADO DA ARTE.....</b>	<b>10</b>
<b>IV.1 – METODOLOGIAS NO MUNDO:.....</b>	<b>10</b>
<b>IV.1.1- Metodologias hidrológicas.....</b>	<b>10</b>
<b>IV.1.2- Metodologias hidráulicas.....</b>	<b>16</b>
<b>IV.1.3- Metodologias habitat.....</b>	<b>18</b>
<b>IV.1.4- Metodologias holísticas.....</b>	<b>21</b>
<b>IV.2 – METODOLOGIAS NO BRASIL.....</b>	<b>22</b>
<b>V – CENÁRIO ATUAL NO USO DAS METODOLOGIAS.....</b>	<b>24</b>
<b>VI – A VAZÃO ECOLÓGICA NO CONTEXTO DO RIO SÃO FRANCISCO.....</b>	<b>30</b>
<b>VII – REFERÊNCIAS.....</b>	<b>35</b>

## **I - APRESENTAÇÃO.**

Este relatório, intitulado “Estado da Arte Acerca da Vazão Ecológica, no Brasil e no Mundo”, foi elaborado em atendimento contratual ao Edital n. 05 do ano de 2006, PROJETO 704BRA2041 da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura – UNESCO.

As atribuições contratuais do autor do trabalho são: a) Participar de reunião com representante da Câmara Técnica de Planos, Programas e Projetos e da Diretoria Colegiada para definição do Plano de Trabalho, as metodologias e outros instrumentos que se fizerem necessários; b) Desenvolver estudo sobre o estado da arte acerca de vazão ecológica, no Brasil e no mundo. Além da versão completa em português, este estudo deverá possuir uma versão sintética na língua inglesa. c) Participar da oficina “Vazão Ecológica Aplicada a Bacia do Rio São Francisco”. d) elaborar Termo de Referência (TDR), baseado nas proposições da oficina supracitada, visando à execução de estudos futuros na bacia do Rio São Francisco.

Este documento foi feito para atender ao item b.

Para o desenvolvimento do relatório foi observado o que preconiza o Plano de Trabalho apresentado à UNESCO em conformidade com o Edital já citado. Além disso, utilizou informações da Oficina de Vazão Ecológica: Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco ocorrida em 24-25 de Novembro de 2006, na cidade de Maceió realizada pelo CBHSF - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.

O conflito entre a proteção do habitat dos organismos aquáticos e a crescente demanda para a captação de água nos rios, para diferentes usos, é um problema para a gestão dos recursos hídricos. Hoje a competição entre as captações de água e os requerimentos da fauna aquática é uma realidade. Os métodos para a determinação da vazão ecológica são usados para minimizar o impacto dessas captações de água nos recursos aquáticos.

A complexidade dos estudos de vazão ecológica é dependente dos objetivos e dos recursos necessitando proteção, bem como a magnitude do projeto. A existência de inúmeros métodos para o conhecimento dessa vazão complica este processo. Os métodos têm sido classificados em várias categorias, refletindo a variação da complexidade na sua aplicação. Em adição, há de se considerar a disparidade entre os resultados apresentados por diferentes metodologias atualmente utilizadas, dificultando o estabelecimento da vazão ecológica.

O Rio São Francisco tem recursos hídricos que sustentam ecossistemas aquáticos produtivos e muitos usos pelos humanos (ex. pesca, geração de energia elétrica, irrigação, abastecimento de água potável, usos industriais, recreação, navegação, etc). O conhecimento da sua vazão ecológica para a gestão dos seus recursos hídricos, é um dos objetivos do CBHSF, juntamente com a ANA – Agência Nacional das Águas e a UNESCO.

O relatório é constituído de: I – essa apresentação, II – vazão ecológica-terminologia, III – marco legal no Brasil, IV – estado da arte da vazão ecológica no mundo e no Brasil, V- cenário atual no uso das metodologias, VI- a vazão ecológica no contexto do Rio São Francisco, VII – referências.

## II - VAZÃO ECOLÓGICA - TERMINOLOGIA

Existem várias terminologias para o conceito de vazão ecológica, (J. Gondim, 2006) , como por exemplo:

### **a-vazão Ecológica (s):**

- é a água fluindo num rio (IFC 2004);

- é a demanda necessária de água a manter num rio de forma a assegurar a manutenção e conservação dos ecossistemas aquáticos naturais, aspectos da paisagem de outros de interesse científico ou cultural ( J.M. Bernardo, 1996, em J. Gondim, 2006);

**b-também chamadas de ambientais**, residuais, ou remanescentes – quantidade de água que permanecem no leito dos rios depois de retiradas para atender usos externos como abastecimento público, industrial, irrigação, dessedentação de animais, energia elétrica, etc. (Bennetti, A.D., 2003, em J. Gondim, 2006);

**c-vazão mínima residual**, é um valor de referência que deve ser mantido no trecho de um rio a jusante de um barramento ou de uma retirada de água (Collischonn & Gusmão Angra, 2004, em J. Gondim, 2006);

**d-vazão mínima ecológica**: vazão que se deve garantir a jusante de uma estrutura de armazenagem (barragem) ou captação (tomada de água), para que se mantenham as condições ecológicas naturais de um rio, em J. Gondim, 2006;

**e-vazão de preservação ambiental** é a vazão necessária para manter as funções dos ecossistemas que compõem o rio, nos seus leitos menores e maiores. Em outras palavras, é um valor (ou valores) que preserva as condições de pulso hidrológico, transporte de sedimentos e nutrientes, sincronicidade com o ciclo da vida das espécies silvestres, da fauna, da flora e a taxa de perturbações necessárias à renovação e funcionamento dos ecossistemas associados ao curso de água (Jussara Cruz, em J. Gondim, 2006);

### **f-vazões ambientais:**

-regime de vazões a ser mantido no rio, nas áreas úmidas e nas áreas costeiras de modo a preservar os ecossistemas e seus benefícios onde existir competição pelos usos da água e onde as vazões são reguladas (Nota Técnica C1- “Concepts and Methods” do Banco Mundial, em J. Gondim, 2006);

-a quantidade de água que deve ser mantida no rio, ou que é lançada dentro dele, para atender o objetivo o objetivo específico da gestão de tal ecossistema (Nota Técnica C1- “Concepts and Methods” do Banco Mundial, em J. Gondim, 2006);

g-vazão de referência: “vazão do corpo hídrico utilizada como base para o processo de gestão, tendo em vista o uso múltiplo das águas e a necessária articulação das instâncias do Sistema Nacional de Meio Ambiente – SISNAMA e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH” (Resolução CONAMA n. 357/2005).

**h-“Instream Flow Requirements –IFRs”**: vazões requeridas para a manutenção de peixes (Nota Técnica C1- “Concepts and Methods” do Banco Mundial, em J. Gondim, 2006);

**i-“Maintenance IFR”**: regime hidrológico requerido para manter todas as funções dos ecossistemas fluviais, e garantir a reprodução de plantas e animais na maior parte do tempo (Nota Técnica C1- “Concepts and Methods” do Banco Mundial, em J. Gondim, 2006);

**j- “Drought IFR”:** um regime hidrológico drasticamente reduzido aplicável em anos de secas, de modo a garantir a sobrevivência de espécies, mas sem provisões para sua reprodução (Nota Técnica C1- “Concepts and Methods” do Banco Mundial, em J. Gondim, 2006);

**k-“Minimum Flow”:** termo genérico utilizado para descrever as vazões requeridas à manutenção de determinada característica de um ecossistema. Esse conceito surgiu nos EUA como uma vazão remanescente para limitar as captações durante os períodos de seca, podendo ou não ter relevância para as regiões áridas (Nota Técnica C1- “Concepts and Methods” do Banco Mundial, em J. Gondim, 2006);

Neste relatório todos os termos acima descritos e contidos na literatura existente consultada, são tratados de forma equivalente ao termo vazão ecológica, pois todos eles têm como objetivo central proteger a natureza, de forma direta ou indireta.

### **III - MARCO LEGAL NO BRASIL**

Em geral, a fixação de vazões ecológicas no Brasil tem sido feita principalmente através da legislação nos níveis estadual e federal, principalmente para uso nos procedimentos administrativos de licenciamento ambiental e concessão de outorga de água e construção de barragens.

As legislações ambientais e de recursos hídricos do país não apontam explicitamente o detentor da competência para a definição da vazão ecológica (Da Silva, Luciano Meneses C. et al, 2005).

O Código de Águas, Decreto nº 24.643 de 1934, no Art. 143, estabelece que todos os aproveitamentos de energia hidráulica deverão satisfazer as exigências acauteladoras dos interesses gerais: a) da alimentação e das necessidades das populações ribeirinhas, b) da salubridade pública, d) da irrigação, e) da proteção contra as inundações, f) da conservação e livre circulação do peixe, g) do escoamento e rejeição das águas.

Para o caso de Pequenas Usinas Hidrelétricas a Norma nº 4, Norma de Projetos de Geração de Pequenas Centrais Hidrelétricas, fixa que a vazão residual, a jusante do barramento, não poderá ser inferior à vazão mínima média mensal calculada com base nas observações anuais no local previsto para o barramento (MORTARI, 1977).

As Normas para Apresentação de Estudos e Projetos de Exploração de Recursos Hídricos para a Geração de Energia Elétrica, do Extinto DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (1984), especificamente a Norma nº 2 e 3 – Norma para Aprovação de Projetos de Geração Hidrelétrica para Uso no Serviço Público e Exclusivo de Particulares, estipulam uma vazão residual no curso de água à jusante do barramento superior a 80% da vazão mínima média mensal, caracterizada com base na série histórica de vazões com extensão de, pelo menos, 10 anos (MORTARI, 1977).

A Constituição Federal de 1988 trouxe inúmeras inovações quanto ao aspecto da proteção ao meio ambiente, destacando-se pelo fato de ser a primeira Constituição brasileira a consagrar um capítulo exclusivo ao tema. Contudo, só com a Lei 6.938/91 (Política Nacional de Meio Ambiente), é que verdadeiramente tem início a proteção ambiental como tal no Brasil (Benjamin, 1999)

A Resolução CONAMA nº 05, de junho de 1988 especifica que está sujeita a licenciamento, qualquer obra de Sistema de Abastecimento de Água cujo valor de captação de água esteja projetado acima de 20% (vinte por cento) da vazão mínima da fonte de abastecimento e ou que modifiquem as condições físicas e ou bióticas dos corpos d'água.

No Estado do Ceará, o Decreto n. 23.067 de 1994, apresenta no Art. 19 que: “a disponibilidade hídrica será função das características hidrogeológicas do local ou da bacia sobre que incide a outorga, observando ainda o seguinte: I- quando se trata de água superficial; a) a vazão mínima natural será nula; b) o valor de referência será a descarga regularizada anual com garantia de 90%. II- quando se trata de água subterrânea, o referencial quantitativo poderá consistir: a) na vazão nominal do teste do poço, ou b) na capacidade de recarga do aquífero.

No Estado da Bahia, em consonância com a Lei n. 6.855 de 1995, e Decreto Estadual n. 6.296 de 1997, a vazão de referência (para outorga de direito de recursos hídricos) será: 1- 80% da vazão de referência do manancial, estimada com base na vazão de até 90% de permanência ao nível diário, quando não houver barramento; 2- 80% das vazões regularizadas com 90% de garantia, dos lagos naturais ou de barramentos implantados em mananciais perenes; 3- 95% das vazões regularizadas com 90% de garantia, dos lagos naturais ou de barramentos implantados em mananciais intermitentes; 4- nos casos de abastecimento humano, os limites dos incisos 1 e 2 poderão atingir até 95%; 5- no caso do inciso 2, a vazão remanescente de 20% das vazões naturais com 90% de garantia deverão escoar para jusante, por descarga de fundo ou por qualquer outro dispositivo que não inclua bombas de recalque; 6- nenhum usuário, individualmente,

receberá autorização acima de 20% da vazão de referência de um dado manancial (Art. 14, Dec. N. 6.296 de 1997).

No Estado do Paraná (Portaria nº 06/96) os regulamentos determinam que o volume permissível de captação de água direta deve ser menor do que 50% do  $Q_{7,10}$ , ou que a vazão mínima à jusante seja maior do que 50% do  $Q_{7,10}$ .

No Estado de Minas Gerais a legislação fixa a vazão residual não sendo menor do que 75% do  $Q_{7,10}$ .

No Rio Grande do Norte, o Decreto n. 13.282, de 1997, indica no Art. 13 que: a disponibilidade hídrica será avaliada em função das características hidrológicas ou hidrogeológicas da bacia superficial ou subterrânea onde incide a outorga, observando-se ainda, o seguinte: I- quando se tratar de água superficial; a) a vazão mínima natural será nula ou estabelecida em portaria específica, fundamentada em estudo hidrológico; b) o valor de referência será a descarga regularizada anual com garantia de 90%. II- quando se trata de água subterrânea, o referencial quantitativo deverá levar em conta: a) a capacidade de recarga do aquífero, prevista em portaria, fundamentada em estudo hidrogeológico específico; b) a interferência provocada pelo poço em poços circunvizinhos.

A Lei nº 9.433, de 1997, que trata da Política Nacional de Recursos Hídricos, propõe nos seus Art.s 2º e 3º a utilização racional dos recursos hídricos, a sua gestão sistemática sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade, bem como a adequação desta gestão às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do País.

Em São Paulo, o Decreto n. 43.284, de 1998 (regulamenta a APA dos municípios de Cabreúva e Jundiá), com base no requerimento de proteção da quantidade e da qualidade das águas, necessariamente deve ser levada em conta quando da elaboração de normas legais, relativas à defesa do solo e demais recursos naturais e ao meio ambiente, determina em seu Art. 25 que “ na análise da desconformidade a que se refere o parágrafo 2º deve ser adotada como vazão de referência dos corpos de água a vazão  $Q_{7,10}$ .

As Portarias do IGAM N. 010/98 e 007/99 do Estado de Minas Gerais para fins da concessão de outorga de água utiliza a vazão de referência  $Q_{7,10}$ , especificam:

“- Até que se estabeleçam as diversas vazões de referência na Bacia Hidrográfica, será adotada a  $Q_{7,10}$  (vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência), para cada Bacia”.

- Fixar em 30% (trinta por cento) da  $Q_{7,10}$ , o limite máximo de derivações consuntivas a serem outorgadas na porção da bacia hidrográfica limitada por cada seção considerada, em condições naturais, ficando garantido a jusante de cada derivação, fluxos residuais mínimos equivalentes a 70% (setenta por cento) da  $Q_{7,10}$ .

-Quando o curso de água for regularizado pelo interessado ou por outros usuários, o limite da outorga poderá ser superior a 30% (trinta por cento) da  $Q_{7,10}$ , aproveitando o potencial de regularização ou de perenização, desde que seja garantido um fluxo residual mínimo à jusante, equivalente a 70% (setenta por cento) da  $Q_{7,10}$ .”

No Estado do Espírito Santo a Secretaria Municipal de Meio Ambiente - SEAMA, com base no Decreto Estadual n.º 4.489 (1999), especifica que a vazão a jusante da barragem deverá ser no mínimo igual ao menor valor comparativo entre o  $Q_{7,10}$  e a vazão mínima medida em período de seca, calculada para aquela seção do curso da água, que deverá constar no projeto técnico, garantindo o uso múltiplo à jusante e a manutenção do ecossistema aquático.

O MMA (Ministério do Meio Ambiente) na Instrução Normativa nº 004, de 21 de junho de 2000, Anexo I, Art. 2º, a qual aprova os procedimentos administrativos para a emissão de outorga de direito de uso de

recursos hídricos, em corpos de água de domínio da União, define o conceito de vazão ecológica como sendo a vazão mínima necessária para garantir a preservação do equilíbrio natural e a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos.

A Resolução N. 16 de 2001 do CNRH no Art.21. no item III, apresenta a vazão mínima como sendo aquela necessária à prevenção da degradação ambiental, à manutenção dos ecossistemas aquáticos e à manutenção de condições adequadas ao transporte aquaviário, quando couber entre outros usos.

No Rio de Janeiro, a Portaria SERLA n. 307, de 2002, estabelece critérios gerais e procedimentos técnicos e administrativos, para emissão de outorga de direitos de uso de recursos hídricos, em seu Art. 5º determina que para fins de vazão de referência será utilizada  $Q_{7,10}$ .

No Estado do Mato Grosso, a Resolução n. 3 de 2003, do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, em seu Art. 1º, estabelece, respectivamente, “para efeito desta resolução adotam-se as seguintes definições: (X) vazão remanescente ou ecológica; vazão mínima que deve ser mantida a jusante da barragem, estabelecida no ato da outorga; (XI) vazão de restrição: vazão que estabelece limites para que haja o atendimento satisfatório aos múltiplos usos dos recursos hídricos ou que orienta a operação do reservatório quanto a ocorrências diversas tais como inundações ou cheias”.

Em 2004, foi desenvolvido o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco pelo CBHSF, ANA – Agência Nacional das Águas, GEF – Fundo para o Meio Ambiente Mundial, PNUMA-Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e OEA – Organização dos Estados Americanos.

A Deliberação CBHSF N. 08 de Julho de 2004, define a disponibilidade hídrica, vazão máxima de consumo potável, as vazões remanescente média e mínima ecológica na foz como parte integrante do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, e especifica que:

Art 4º- Adotar, provisoriamente, a vazão média diária de 1.300 m<sup>3</sup>/s, como vazão mínima ecológica na foz, até que se proceda à revisão ou confirmação deste valor na próxima edição do Plano.

§ 1º- A vazão mínima ecológica deve garantir a manutenção dos ecossistemas e preservação da biodiversidade aquática e não pode ser praticada de forma contínua.

Art 5º- As vazões remanescentes nos rios da bacia, após a alocação de água para usos consuntivos, devem ser superiores às vazões mínimas necessárias para manutenção da biota aquática em cada trecho dos rios.

§ 1º- Adotar, provisoriamente, a vazão média anual de 1.500 m<sup>3</sup>/s, como a vazão remanescente na foz do rio São Francisco.

§ 2º - Indica-se como prioridade o desenvolvimento imediato de estudos para a busca do conhecimento não só sobre a vazão mínima ecológica, mas também sobre a possibilidade do estabelecimento de um regime de vazões ecológicas que possibilite variações sazonais de vazões, ambos necessários para a manutenção da biodiversidade e do equilíbrio da dinâmica ambiental ao longo de toda a calha do rio São Francisco e dos principais afluentes que receberem reservatórios hidrelétricos, e ainda na sua foz e na zona costeira adjacente. Estes estudos deverão ainda contemplar estratégias de manutenção do fluxo de nutrientes, de montante para jusante, afetado pelos grandes barramentos hidrelétricos.

A Deliberação do CBHSF N. 13 de 30 de Julho de 2004, apresenta premissas básicas e recomendações para a implementação da fiscalização integrada propostas pelo Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, e no Art. 6 estabelece a promoção de estudos e implementação de uma rede básica para desenvolvimento de metodologia para determinação de critérios e valores de vazão ecológica para os rios da Bacia do Rio São Francisco, para regime de vazões ecológicas para os trechos regularizados por barragens e para a foz do Rio São Francisco.

A Deliberação CBHSF N. 08 de Julho de 2004, define a disponibilidade hídrica, vazão máxima de consumo potável, as vazões remanescente média e mínima ecológica na foz como parte integrante do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, e especifica que:

Art 4º- Adotar, provisoriamente, a vazão média diária de 1.300 m<sup>3</sup>/s, como vazão mínima ecológica na foz, até que se proceda à revisão ou confirmação deste valor na próxima edição do Plano.

§ 1º- A vazão mínima ecológica deve garantir a manutenção dos ecossistemas e preservação da biodiversidade aquática e não pode ser praticada de forma contínua.

Art 5º- As vazões remanescentes nos rios da bacia, após a alocação de água para usos consuntivos, devem ser superiores às vazões mínimas necessárias para manutenção da biota aquática em cada trecho dos rios.

§ 1º- Adotar, provisoriamente, a vazão média anual de 1.500 m<sup>3</sup>/s, como a vazão remanescente na foz do rio São Francisco.

§ 2º - Indica-se como prioridade o desenvolvimento imediato de estudos para a busca do conhecimento não só sobre a vazão mínima ecológica, mas também sobre a possibilidade do estabelecimento de um regime de vazões ecológicas que possibilite variações sazonais de vazões, ambos necessários para a manutenção da biodiversidade e do equilíbrio da dinâmica ambiental ao longo de toda a calha do rio São Francisco e dos principais afluentes que receberem reservatórios hidrelétricos, e ainda na sua foz e na zona costeira adjacente. Estes estudos deverão ainda contemplar estratégias de manutenção do fluxo de nutrientes, de montante para jusante, afetado pelos grandes barramentos hidrelétricos.

A Instrução Normativa, do IEMA no Estado do Espírito Santo, N. 019 de 2005 também define a vazão de referência para procedimentos administrativos e critérios técnicos referentes à outorga de direito de uso de recursos hídricos.

A Resolução CONAMA n. 357, de 2005, define a vazão de referência como “vazão do corpo hídrico utilizada como base para o processo de gestão, tendo em vista o uso múltiplo das águas e a necessária articulação das instâncias do Sistema Nacional de Meio Ambiente – SISNAMA e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH”.

A Deliberação do CBHSF n. 21 de 17 de Junho de 2005, determina no Art.3, I - Viabilização dos estudos e ações necessárias à elaboração e construção do pacto das águas e revisão parcial do Plano de Recursos Hídricos , no prazo de 01 ano, incluindo: b) realização de estudos para o estabelecimento da vazão ecológica da Foz do Rio São Francisco.

## **IV - ESTADO DA ARTE**

Existem cerca de 207 metodologias distribuídas em 44 países para a avaliação da vazão ecológica aqui classificadas em quatro tipos: hidrológicas, hidráulicas, habitat e holísticas.

O primeiro tipo são as metodologias hidrológicas que utilizam dados hidrológicos (séries temporais de vazões diárias ou mensais) para fazer recomendações sobre a vazão ecológica. Em geral, elas fixam um percentual ou proporção da vazão natural para representar a vazão ecológica.

As metodologias hidráulicas, segundo tipo, consideram as mudanças em variáveis hidráulicas simples como perímetro molhado ou profundidade máxima, medidas numa única seção transversal dos rios. As vazões ecológicas são obtidas através de gráfico no qual é representado a variável em estudo e a vazão.

O terceiro tipo abrange as metodologias que empregam o uso do habitat, que objetivam avaliar a vazão ecológica quanto ao habitat físico disponível para as espécies em análise. Essas metodologias são um processo de desenvolvimento de uma política de vazão ecológica que incorpora regras variáveis ou múltiplas, para uso em negociação com base na vazão para atender as necessidades de um ecossistema aquático, consideradas as demandas de abastecimento de água e de outros usos da água. Elas usualmente implicam na determinação de uma relação de vazão-habitat para comparar alternativas de vazão ecológica ao longo do tempo.

As metodologias holísticas, quarto tipo, identificam os eventos críticos de vazão em função do critério estabelecido para variabilidade da vazão, para alguns ou principais componentes ou parâmetros do ecossistema do rio. Elas são basicamente caminhos de organizar e usar dados de vazão e conhecimento, podendo, incluir alguns dos métodos aqui descritos. É uma metodologia que utiliza procedimentos distintos ou métodos para produzir resultados que nenhum outro procedimento e/ou método produziria sozinho.

Vários estudos foram realizados ao longo do tempo sobre as metodologias para a determinação da vazão ecológica incluindo Mohardt (1986), Sarmiento, R. et al (1999), Tharme, R.E. (2003), IUCN-International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (2003), The World Bank (2003) e Annear, T. (2004), IFC – Instream Flow Council (2004).

### **IV.1- METODOLOGIAS NO MUNDO.**

#### **IV.1.1- METODOLOGIAS HIDROLÓGICAS.**

Um dos primeiros métodos desenvolvidos com intuito de avaliar o valor da vazão ecológica de rios é conhecido como “**One Flow Method – OFM**” (Sams e Pearson, 1963, citado por Morhardt, 1986). A equação obtida visa determinar uma vazão ótima para a postura de peixes (salmonídeos) com base em fotografias aéreas do segmento do rio em estudo.

Em 1974 o **Método “Northern Great Plains Resource Program” (NGPRP)** foi elaborado para os rios salmonícolas das Montanhas Rochosas do Oeste dos EUA, embora possa ser utilizado em qualquer curso de água, objetivando recomendar vazões ecológicas para a postura e crescimento de espécies de peixes e de vazões de descarga para o transporte de sedimentos (NGPRP, 1974, citado por Morhardt, 1986).

Este método recomenda vazões ecológicas para cada mês do ano, com base na curva de duração de vazões. As curvas de duração são obtidas a partir de um registro histórico de vazões médias diárias iguais ou

superior a 20 anos, no qual são eliminadas as vazões de seca e de cheia. A exclusão é necessária, pois o método pressupõe que as componentes biológicas mais representativas de um sistema aquático são essencialmente mantidas pelas condições hidrológicas que se verificam em anos normais ou médios e não por acontecimentos extremos, que ocorrem durante curtos períodos de duração (Wesche e Rechar, 1980). A vazão ecológica recomendada para cada mês é igual à vazão que é igualada ou excedida em 90% do tempo, com exceção para os meses de vazões mais elevadas, nos quais a vazão ecológica corresponde à vazão que é igualada ou excedida em 50% do tempo.

Em 1975 foi desenvolvido o **Método de Hope**. Este modelo foi obtido através de uma modificação feita no Método NGPRP, tendo como objetivo a recomendação de vazões adequadas para postura, proteção e alimentação dos peixes, bem como para a lavagem de substratos finos depositados no fundo do leito do rio (Hope, 1975, citado por Morhardt, 1986; Alves, 1993).

A vazão que é igualada ou excedida 80% do tempo é a recomendada para suportar as atividades diárias das espécies de peixes. A vazão recomendada para postura é aquela igualada ou excedida 40% do tempo e a vazão que é igualada ou excedida 17% do tempo é recomendada como uma vazão de descarga para um período de 48 horas (Morhardt, 1986; Alves, 1993).

Em 1975 foi desenvolvido o **Método de Tennant ou de Montana**, o qual se baseia apenas em simples variáveis hidrológicas (Tennant, 1976; Morhardt, 1986). Tennant definiu o ecossistema fluvial em função da vazão, expressa em porcentagem, com relação à vazão média anual do rio, calculado para o local do aproveitamento hidráulico.

O Método recomenda uma vazão ecológica baseada num conjunto de percentagens em relação à vazão média anual, calculada para o local do aproveitamento hidráulico, recorrendo-se a diferentes percentagens para os períodos de Outubro a Março e Abril a Setembro. A correta aplicação deste método envolve as seguintes etapas:

1º) Determinação da vazão média anual no local do aproveitamento hidráulico;

2º) observação do curso d'água durante os períodos em que a vazão no mesmo é aproximadamente igual a 10%, 30% e 60% da vazão média anual, documentando-o com fotografias dos vários tipos de habitat característicos;

3º) utilização da informação obtida para elaborar recomendações de vazões ecológicas conforme a **Tabela 1**.

**Tabela 1-** Regimes de vazões recomendado pelo Método de Tennant

Vazão Ecológica	Vazão Recomendada (percentagem em relação à vazão média anual)	
	Abril – Setembro	Outubro – Março
Lavagem ou máxima	200%	
Ótima	60 – 100%	
Excelente	60%	40%
Muito bom	50%	30%
Bom	40%	20%
Fraco ou degradante	30%	10%
Pobre ou mínima	10%	10%
Degradação elevada	0 – 10%	

Contudo, na prática, a aplicação do Método de Tennant raramente envolve o reconhecimento de campo, sendo a recomendação de vazões baseada unicamente na tabela desenvolvida por Tennant.

De um modo geral, a metodologia descreve que uma vazão correspondente a 10% da vazão média anual é a suficiente para sustentar uma pequena condição de habitat para os peixes, pois a largura do leito, a profundidade e a velocidade do escoamento são significativamente reduzidas, a temperatura da água pode subir tornando-se um fator limitante para algumas espécies principalmente durante os meses de verão, as populações de macroinvertebrados são bastante afetadas, podendo por em risco a produção piscícola do curso d'água e a vegetação ripícola poderá ficar sujeita a estresse hídrico. Uma vazão correspondente a 30% da vazão média anual mantém uma boa qualidade de habitat. A largura do leito, a profundidade e a velocidade do escoamento, bem como a temperatura, são mantidos a níveis satisfatórios para a maior parte das espécies, as populações de macroinvertebrados são afetadas, mas em níveis que não porão em risco a produtividade piscícola e a vegetação ripícola não é afetada. Uma vazão correspondente entre 60 a 100% promove uma excelente condição de habitat para a maioria das formas de vida aquática e dos usos previstos (Morhardt, 1986).

O Método de Tennant tem sofrido diversas modificações que visam adaptar melhor o regime de vazões ecológicas calculado ao regime natural de vazões nas diversas regiões diferentes daquela para a qual o método foi desenvolvido. Sua maior limitação é que ele só deverá ser aplicado a cursos de água morfologicamente semelhantes àqueles a partir dos quais está técnica foi desenvolvida, sendo mais adequada a rios de grandes dimensões, que exibem uma pequena variação da vazão ao longo do ano.

Biologistas do “BC Fisheries Branch” do Canadá desenvolveram o “**Modified-Tennant Method**” originado do método de Tennant, incorporando informação física e biológica. O método tem sido aplicado nos últimos trinta anos sendo atualizado continuamente.

O método “BC modified Tennant Flow” diverge do método original de Tennant num elemento chave, ou seja, o método permite a regionalização da sua implementação com enfoque na historia dos peixes e da informação ecológica do rio em estudo.

Esse método é mais difícil de ser aplicado do que o método original de Tennant, mas é ainda um método que requer pouco ou nenhum trabalho de campo. Ele é baseado numa estatística hidrológica simples de fácil obtenção. A crítica principal ao método é a validação biológica.

Em 1976 foi elaborado o **Método Califórnia**. Seu objetivo é quantificar uma relação entre a vazão e a área disponível para postura e crescimento das espécies de truta existentes nos rios da Califórnia, EUA (Waters, 1976, citado por Alves, 1993).

Este método é semelhante ao Método de Washington apresentado na sequência, pois envolve a elaboração de mapas planimétricos para velocidade, profundidade, material aluvionar e cobertura. Pode, se necessário, recorrer à simulação hidráulica. As informações para confecção dos mapas planimétricos ou para a simulação hidráulica são obtidas em seções transversais selecionadas em cada local de amostragem, para as vazões de interesse, nunca inferior a três. São considerados fatores de ponderação, entre 0 e 1, para cada um dos parâmetros acima mencionados no cálculo do valor do habitat. O índice de qualidade de habitat é denominado preferência líquida de habitat (PLH), podendo ser calculado através de uma expressão matemática.

A principal limitação desse método é o fato de não incluir nenhuma orientação sobre os critérios a seguir para a recomendação da vazão ecológica. Segundo Morhardt (1986) este método é o precursor do “Instream Flow Incremental Methodology”.

No ano de 1976 foi elaborado o **Método do  $Q_{7,10}$** , o qual recomenda vazões ecológicas baseado numa série histórica de vazão, mais especificamente a vazão mínima que se observa durante sete dias consecutivos, para um período de retorno de dez anos (Chiang e Jonhson, 1976, citado por Loar e Sale, 1981).

Esse método havia sido anteriormente utilizado para a construção de estações de tratamento de efluentes, sendo determinada a vazão que permite manter condições adequadas de qualidade da água. Ele tem sido utilizado principalmente no Leste e Sudoeste dos EUA, além de ser o método mais usado no Brasil.

A determinação do  $Q_{7,10}$  é feita em duas etapas. Na primeira, calcula-se o valor do Q7 para todos os anos do registro histórico considerado. A segunda etapa resume-se na aplicação de uma distribuição estatística de vazões mínimas para o ajuste dos Q7 calculados, sendo as distribuições de Gumbel e Weibull as mais comuns.

A sua utilização para recomendação de uma vazão não possui base ecológica, pois não considera as especificidades dos ecossistemas e ignora a dinâmica natural da ictiofauna e o tempo necessário para a sua recuperação quando sujeitas a um longo período de vazão reduzida.

O **Departamento de Recursos Naturais da Geórgia nos Estados Unidos**, 1977, tem como mecanismo para a definição da vazão ecológica a vazão  $Q_{7,10}$ . As opções quanto ao  $Q_{7,10}$  para a concessão da outorga de água são 1) mínima vazão  $Q_{7,10}$  mensal, 2) opções de vazões médias para rios regularizados ou não regularizados, 3) um estudo específico de vazão ecológica para o local. Uma grande preocupação com a diretriz do  $Q_{7,10}$  é o potencial da água permanecer nos reservatórios tendo somente vazões mínimas sendo liberadas, particularmente durante os períodos de vazões baixas.

O **Estado do Texas** utiliza atualmente dois métodos hidrológicos para definição da vazão ecológica; um é o **método de Lyons** e o outro para o planejamento das águas “**Consensus Criteria for environmental Flow Needs, CCEF**”. O método de Lyons foi desenvolvido por Barry W. Lyons, 1979, biólogo do “Wildlife Department” do “Texas Parks and Wildlife Department (TPWD)”. A metodologia usa percentagens das vazões médias diárias como parâmetro para determinar a vazão ecológica nos rios do Texas. Para o licenciamento, as vazões ecológicas são 40 % da vazão média mensal de Outubro a Fevereiro, e 60% da vazão média mensal de Março a Setembro. Os valores de 60% foram escolhidos para se ter mais proteção durante o período crítico de verão e primavera. Os níveis de 40% e 60 % obtidos através do uso do método do perímetro molhado. Esses limites são aplicados na maioria dos rios do Texas para determinação da vazão ecológica na concessão da outorga de água.

O CCEFNF é o segundo método, o qual é parte das diretrizes do Plano das Águas do Texas em elaboração pelo “TWDB- Texas Water Development Board”. O critério adotado é a vazão natural – a vazão estimada que estaria no rio sem os impactos da interferência humana na sua bacia hidrográfica. Enquanto o método de Lyons utiliza dados medidos para o valor da vazão, CCEFNF usa valores percentis da vazão natural na derivação de vazão e vazão remanescente. Contudo, os dois métodos produzem valores diferentes para a vazão ecológica para um mesmo rio no TEXAS.

Em 1980 foi elaborado o **Método de Utah** (Geer, 1980, citado por Morhardt, 1986). Este método baseia-se na hipótese de que a vazão mínima mensal para o período de registro considerado é apropriada para recomendar uma vazão ecológica para as épocas de inverno e verão.

Segundo Morhardt (1986), o Método de Utah é essencialmente arbitrário, pois não existe evidência comprovando que sua aplicação provém numa vazão adequada à ictiofauna ou a outros requerimentos.

Em 1980 foi desenvolvido o “**Aquatic Base Flow**” (ABF) para a região da Nova Inglaterra nos EUA (Larsen, 1980, citado por Morhardt, 1986). O ABF tem por objetivo criar condições adequadas de vazão à manutenção dos organismos aquáticos dos cursos d’água. A hipótese básica do ABF é que as vazões média ou recomendada são suficientes para as espécies de peixes.

As recomendações de uma vazão ecológica, a partir do método “Aquatic Base Flow – ABF”, são feitas com base numa série histórica de vazões, a partir da qual é calculada a média para o mês mais seco do ano (**Tabela 2**).

**Tabela 2-**Vazões ecológicas recomendadas pelo Método Nova Inglaterra -ABF

Estação do Ano	Série histórica de vazões	
	Inferiores a 25 anos ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}/\text{km}^2$ )	Superior ou igual a 25 anos <sup>(a)</sup>
Abril – 1 <sup>a</sup> quinzena de Junho <sup>(b)</sup>	0.29	100% media de agosto <sup>(c)</sup>
2 <sup>a</sup> Quinzena de junho – setembro	0.04	100% media de agosto <sup>(c)</sup>
Outubro – Março <sup>(b)</sup>	0.07	100% media de agosto <sup>(c)</sup>

(a) rio natural, bacia hidrográfica superior a  $130\text{km}^2$ , precisão superior ou igual a 10%;

(b) períodos de postura e incubação;

(c) se a vazão no curso de água a montante da barragem for inferior à media do mês de setembro, então a vazão a manter é a vazão que se verifica nesse local do curso de água.

Obs: os dados fornecidos são referentes ao hemisfério norte.

O nível de precisão deste método é baixo. Se uma série histórica de vazões diárias igual ou superior a 25 anos estiver disponível, o cálculo é baseado na media do mês mais seco do ano. Por outro lado, se esta série for menor do que 25 anos, a vazão ecológica será calculada como uma percentagem em função da área de drenagem obtida a partir de mapas. Segundo Russel (1990), citado por Alves (1993), estudos comparativos com outros métodos sugerem que os resultados obtidos através deste método são mais conservativos, ou seja, as vazões recomendadas são superiores aos obtidos com outros métodos.

Em 1981 foi desenvolvido o “**Maximum Steelhead Spawning Area Method**” com o propósito de estimar vazões para as quais ocorre a máxima área de habitat utilizada pelas espécies de salmonídeos (Osborn, 1981, citado por Morhardt, 1986).

De acordo com Morhardt (1986), a grande falha deste modelo está na não especificação de um procedimento para recomendação da vazão ecológica a partir da vazão calculada.

Um modelo hidrológico mais sofisticado é o “**RVA – Range of Variability Approach**”, Richter et al, 1997. O propósito do RVA é fornecer uma estrutura para a gestão dos rios para restaurar ou manter a variabilidade natural dos regimes hidrológicos para restauração /conservação dos ecossistemas aquáticos.

Na aplicação do método caracterizam-se as vazões diárias para um período de registro refletindo regimes hidrológicos naturais (não alterado por efeito antrópico) utilizando 32 indicadores de alteração hidrológica obtidos com o método IHA – Indicadores de Alteração Hidrológica, considerado em continuidade. Seleciona-se uma extensão da variação desses parâmetros para formular metas iniciais de vazão ecológica para a gestão do rio. As metas de vazão ecológica são utilizadas para a gestão de estratégias (i.e., operações de reservatórios e derivações de águas) e adequadamente refinadas como indicado pelo monitoramento ecológico de longo termo e como requerido para a conservação dos ecossistemas aquáticos.

O método utiliza observações hidrológicas com o intuito de encontrar resultados tendo significado, constando basicamente dos seguintes passos: 1- caracterize a variação de vazão usando 32 parâmetros ecológicos; 2- selecione a vazão de gestão desejada com base nesses parâmetros; 3- projete um sistema de gestão que atenderá ao desejado; 4- implemente o sistema de gestão e monitore os seus efeitos; 5- repita a caracterização anualmente e compare os novos valores àqueles desejados na gestão; 6- incorpore nova informação de monitoramento e revise seu sistema de gestão ou o RVA desejado quando necessário.

Alguns pesquisadores consideram RVA como uma metodologia holística.

O método pode ser aplicado para as fases pré e pós a construção de barragens. Neste caso são definidos 33 parâmetros ecológicos relevantes que caracterizem a frequência e duração das flutuações das vazões. Para cada parâmetro RVA é definido um cenário de referência, que se fundamenta, baseado em percentis ou desvio padrão.

Para se determinar a condição das águas impactadas, as flutuações do parâmetro RVA são obtidas pela equação

$$\text{Alteração Hidrológica} = [(\text{Frequência}_{\text{observada}} - \text{Frequência}_{\text{desejada}}) / \text{Frequência}_{\text{desejada}}] \times 100$$

A frequência observada é aquela que está na variação de referência (i.e. período de pós-construção da barragem), sendo a referência definida como o período onde a vazão é o cenário de referência (período de pré-construção da barragem). Se o parâmetro RVA resultar no cenário de referência a alteração hidrológica é zero. Se mais parâmetros estiverem dentro do cenário de referência o valor da alteração é positiva, e no caso de que menos parâmetros estiverem dentro do cenário de referência ter-se-ão valores negativos de alteração.

O método IHA apresentado a seguir é um dos componentes do método RVA.

RVA tem sido aplicado em mais de 30 estudos de vazão ecológica nos USA e Canadá, e na África do Sul.

Jenq Tzong Shiau (2004), utilizou RVA para a determinação da vazão ecológica após a construção de um vertedor lateral denominado Taitung na bacia do rio Peinan, na Tailândia. O vertedor foi construído para suprir água à agricultura. O estudo empregou 32 parâmetros hidrológicos. O objetivo do trabalho foi fazer com que a vazão após a construção do vertedor, atendesse às variações das vazões existentes anteriores à construção do vertedor com a mesma frequência dessas vazões.

Em 2001 The Nature Conservancy, utilizou os **Indicadores de Alteração Hidrológica (IHA)** para obter as características do regime hidrológico, objetivando analisar as mudanças nessas características ao longo do tempo. A avaliação hidrológica usando este método visa obter uma série de atributos hidrológicos biologicamente relevantes que caracterizem a variação anual nas condições da água como base para comparação com regimes hidrológicos anteriores, e após o sistema ter sido alterado por ações humanas.

O método de indicadores de Alteração Hidrológica (IHA), calcula um conjunto de características hidrológicas, ou indicadores, para avaliar alteração hidrológica. Inclui quatro passos: define série de dados de interesse para o ecossistema; calcula os valores dos atributos hidrológicos; calcula estatística intra-anual; calcula os valores dos indicadores de alteração hidrológica. O método pode ser utilizado para comparar a condição do sistema com ele mesmo ao longo do tempo (antes e após o impacto); comparar a condição de um sistema com outro sistema, ou comparar condições atuais com simulações de modelo de futuras modificações.

The Nature Conservancy, tem uma ferramenta (IHA) para o cálculo de parâmetros de cinco tipos diferentes de componentes da vazão hidrológica, ou sejam, vazões mínimas, vazões mínimas extremas, pulsos de vazões elevadas, pequenas cheias, e grandes cheias. Esse cenário de vazões deve ser mantido para que se possa garantir a integridade ecológica do rio.

O método, **Curva de Permanência das Vazões** é fundamentado nos registros hidrológicos de vazões. A grande restrição ao método é que ele requer muita pesquisa para estabelecer e verificar as relações da biologia com os parâmetros hidrológicos em proposição para uso.

#### **IV.1.2- METODOLOGIAS HIDRÁULICAS.**

Em 1967 foi desenvolvido o **Método da Região 4 do USFWS** (United States Fish and Wildlife Service), o qual possibilita a recomendação de vazões ecológicas que permitam a manutenção das características gerais do habitat para as populações de salmonídeos em pequenos rios de montanha dos Estados de Utah, Idaho e Wyoming, Sudoeste do EUA (Herrington e Dunham, 1967, citado por Alves, 1993).

Sua aplicação consiste na caracterização de seções transversais, nas quais os seguintes parâmetros são levantados: dimensão, estrutura do leito do rio, substrato e características das margens. Através de um modelo de simulação hidráulica são definidas curvas de habitat em função da vazão, a partir das quais é feita a recomendação de uma vazão ecológica.

O método **“Toe-Width”** foi desenvolvido pelo “Department of Fisheries”, “The Department of Game”, e o U.S. Geological Survey (USGS) na década de 1970 para determinar a vazão ecológica mínima para peixes. Os resultados de nove anos de medições de altura da lâmina e de velocidade da água nos rios foram utilizados para calcular o habitat por unidade de área, para cada vazão medida. A “toe-width” é a distância entre as margens do rio medida no fundo. Essa largura do rio é usada na forma de uma equação para a determinação da vazão necessária para permitir a reprodução de Salmões.

Em 1972 foi desenvolvido o **Método de Oregon**. Esse método utiliza conceitos de largura ponderada utilizável e largura utilizável de rios na determinação de vazões mínimas e ótimas para a locomoção, postura, incubação e crescimento das espécies selecionadas (Thompson, 1972, citado por Loar e Sale, 1981).

Os critérios de habitat são baseados na velocidade e profundidade do escoamento, para as quais é verificada a presença de peixe. A largura utilizável (LU) é definida segundo um critério binário, ou seja, utilizável ou não utilizável, considerando uma gama de valores de velocidade e profundidade utilizados pela espécie, para cada uma das fases do seu ciclo de vida. A largura ponderada utilizável (LPU) utiliza um fator de ponderação, que varia de 0 a 1, para cada variável. Para calcular a LPU, as seções transversais são divididas

uniformemente em subseções, cada uma caracterizada por uma largura, uma profundidade e uma velocidade média. A largura de cada subseção é, então, multiplicada pelo fator de ponderação correspondente à velocidade e profundidade da subseção, o que permite quantificar em termos relativos o valor do habitat.

A curva dos fatores de ponderação pode ser obtida através da opinião de especialistas ou através de observação em campo, tendo em consideração, se possível, cada uma das fases do ciclo de vida das espécies em estudo.

A recomendação dos valores para a vazão ecológica é feita com base nas curvas de LU e LPU em função da vazão, para cada seção transversal. A vazão ecológica aceitável para a migração é a que combina os critérios de profundidade mínima e velocidade máxima, em pelo menos 25% da largura total. A vazão ótima para postura é aquela que mantém condições de velocidade e profundidade adequadas, para a maior extensão do leito em que o material aluvionar tem granulometria adequada. A vazão que mantém condições de habitat para cerca de 80% da extensão anteriormente definida corresponde à vazão mínima para postura (Loar e Sale, 1981).

Uma das principais vantagens desse método vem do fato das recomendações serem feitas sazonalmente, variando a vazão recomendada de acordo com as necessidades. Segundo Morhardt (1986), este método é o precursor dos métodos que utilizam conceitos de velocidade, profundidade e especialmente o tamanho do material aluvionar para a determinação da vazão ecológica em função do microhabitat.

Em 1973 foi desenvolvido o **Método do Colorado** ou da Região 2 do USFWS para os rios salmonícolas das Montanhas Rochosas do Estado do Colorado, sudeste dos EUA, o qual baseia-se na seleção e simulação hidráulica de áreas críticas do rio (Russel e Mulvaney, 1973, citado por Wesche e Rechar, 1980). Para tanto, são definidas seções transversais onde é feita a simulação hidráulica de diversos parâmetros, tais como: perímetro molhado, área da seção transversal, velocidade média, profundidade máxima e raio hidráulico, a partir dos quais são definidas curvas de variação em relação à vazão (Russel e Mulvaney, 1973, citado por Wesche e Rechar, 1980). A recomendação de uma vazão ecológica é feita recorrendo-se ao critério do ponto de inflexão das curvas geradas, ou considera-se a vazão capaz de manter 75% da área selecionada como crítica (Loar e Sale, 1981).

Em 1974 foi elaborado o **Método de Washington** para o “Washington Department of Fisheries”, Washington, EUA (Collings, 1974, citado por Alves, 1993). O método referido envolve a cartografia de trechos do rio para determinar áreas postura e crescimento para as espécies consideradas. São selecionados no mínimo três locais de interesse, nos quais são definidos, em cada área, quatro seções transversais. Ao longo de cada seção transversal, e se possível entre elas, são feitas medições de velocidade e de profundidade para no mínimo cinco valores de vazão. É importante que os valores de vazão de interesse estejam dentro do intervalo de interesse. Os valores obtidos permitem definir isolinhas para a profundidade e velocidade.

Para cada vazão, são construídos mapas planimétricos, para postura e crescimento, que mostram as diferentes combinações de velocidade e profundidade. A partir deste mapa são medidas as áreas com adequadas combinações de velocidade e profundidade, com os quais são elaboradas curvas de área de postura e de crescimento em função da vazão. A vazão recomendada corresponde aos picos das respectivas curvas, sendo a vazão ecológica definida como sendo aquela capaz de manter 75% da área máxima de postura ou de crescimento. A grande vantagem desse método é a forma gráfica, não sendo necessário recorrer à simulação hidráulica.

No ano de 1983 foi elaborado o **Método do Perímetro Molhado- MPM**. Esse método (Annear e Conder, 1984) admite a existência de uma relação direta entre o perímetro molhado e a disponibilidade de habitat para a ictiofauna.

São definidas seções transversais em locais onde se julga haver uma grande variação do perímetro molhado com a mudança na vazão, geralmente locais com velocidades altas e profundidades baixas (zonas de rápidos). Posteriormente são realizadas medições de profundidade e velocidade, para no mínimo três vazões, podendo recorrer-se à simulação hidráulica. A partir da simulação hidráulica define-se um gráfico que relaciona o perímetro molhado com a vazão, então identifica - se o principal ponto de inflexão da curva, a partir do qual o aumento da vazão traduz-se num aumento pouco significativo do perímetro molhado e numa rápida deterioração das condições de habitat.

A vazão referida no ponto de inflexão é a vazão recomendada considerando como pressuposto que a vazão ecológica obtida nas zonas de corredeiras é igualmente adequada para os outros tipos de habitat (Annear e Conder, 1984).

Liu et al, 2007, define o conceito de velocidade de vazão ecológica bem como o raio hidráulico ecológico e propõe o método raio hidráulico ecológico que considera informação do rio (incluindo raio hidráulico, coeficiente de rugosidade e gradiente hidráulico) e a velocidade necessária para a manutenção de certas funções ecológicas. O método foi empregado na determinação da vazão ecológica na seção transversal de Zhuba do rio Niqu tributário do rio Yalong na China. Os resultados obtidos com o método foram comparados com àqueles do Tennant.

#### **IV.1.3- METODOLOGIAS HABITAT.**

Em 1982 foi desenvolvido o “**Instream Flow Incremental Methodology**” –**IFIM** (Bovee, et al., 1998).

O “Instream Flow Incremental Methodology (IFIM)” foi desenvolvido pelo “Cooperative Instream Flow Service Group”, atualmente “Aquatic Systems Branch of the National Ecology Research Center”, USFWS, em Fort Collins, USA, para a resolução de problemas no que diz respeito à gestão dos recursos hídricos que envolvam a implementação de qualquer tipo de empreendimento hidráulico em rios, objetivando diminuir o impacto negativo causado aos ecossistemas.

O IFIM baseia-se no princípio de que a distribuição longitudinal e lateral dos organismos aquáticos é determinada, entre outros fatores, pelas características hidráulicas, estruturais e morfológicas dos cursos d’água. Cada organismo tende a selecionar no curso d’água as condições que lhe são mais favoráveis, correspondendo a cada variável de microhabitat (velocidade, profundidade, substrato e cobertura) um grau de preferência que é proporcional à aptidão do valor da variável para a espécie (Alves, 1996). Segundo Bovee et al. (1998), a área do rio, que possui condições ambientais favoráveis para a manutenção de uma população piscícola pode ser quantificada em função da vazão.

O IFIM é composto por uma série de procedimentos teóricos e computacionais interligados que descrevem características temporais e espaciais de habitat em consequência a uma dada alternativa de alteração do regime fluviométrico dos rios. O caráter incremental desta metodologia vem do fato de como cada problema é encarado, permitindo que a solução seja encontrada a partir de variações na vazão, partindo-se de um valor inicial considerando várias alternativas, tornando-se adequado à resolução dos conflitos entre os diversos usuários da água.

O IFIM pode ser implementado em cinco fases sequenciais: (i) diagnóstico e identificação do problema, (ii) planejamento do estudo, (iii) implementação do estudo, (iv) análise das alternativas e (v) resolução do problema.

A variável de decisão gerada pelo IFIM é a área de habitat disponível para as espécies, determinada em função da vazão. A vazão ecológica recomendada corresponde ao valor mais alto de um conjunto de vazões calculadas para várias espécies e que, por isso, será suficiente para a manutenção das populações existentes.

O IFIM pode ser aplicado não só a estudos de vazões ecológicas, mas também a estudos de impacto ambiental nos ecossistemas decorrente de qualquer tipo de perturbação que ocorra no curso d'água.

Uma visão geral da aplicação do método é apresentada como segue.

Os estudos com IFIM iniciam com a pesquisa da história do rio para determinar quais as espécies de peixes presentes e para entender suas histórias de vida. Os estudos podem desejar saber, por exemplo, onde e quando ocorre a reprodução de peixes.

Da consulta aos biólogos, se identificam os locais apropriados para estudo. Tendo em vista, que não é viável estudar cada metro quadrado do rio, locais de estudo são selecionados para representar grandes segmentos do rio. Para cada local de interesse, o estudo estabelecerá transectos ao longo do rio (basicamente, uma linha reta marcada por uma fita métrica). Aí serão medidas a profundidade e a velocidade do rio em pontos fixos ao longo de cada transecto, e fazer os registros de outras informações relativas ao habitat, tais como tipo do substrato presente em cada ponto. A equipe retornará várias vezes nos pontos para situações de vazões baixas, médias e altas. Isso fornecerá uma gama de profundidades e velocidades para calibrar os modelos computacionais.

As visitas são planejadas primeiramente para revisar a história hidrológica do rio. Muitas vezes, os peixes podem ser observados através de mergulho para identificar que espécies de peixes estão no rio, que tipos de áreas eles estão usando e o que estão fazendo (reprodução, etc). Também, serão registrados as profundidades, velocidades e substratos utilizados pelos peixes. Essa informação é empregada para modelar o habitat preferencial dos peixes.

Os dados adquiridos durante os trabalhos de campo são levados para um programa de computador capaz de modelar e prever como uma variação de vazões afeta a distribuição das profundidades e velocidades. Então esses resultados necessitam de revisão e calibração.

Esses resultados não indicam como o habitat dos peixes é afetado pela variação da vazão. Assim sendo, os dados devem ser levados para outro programa de computador junto com a informação descrevendo as preferências de habitat pelas diferentes espécies e estágios de vida. Essa informação pode indicar, por exemplo, que um peixe adulto prefere água com certa profundidade e velocidade, enquanto um peixe jovem prefere água com profundidade e velocidade diferentes.

O resultado dos procedimentos de cálculo do IFIM fornecem um valor conhecido como “área utilizada ponderada” para cada espécie e estágio de vida de interesse. Essa área expressa (em m<sup>2</sup> por metro linear de rio) como a disponibilidade do habitat dos peixes é afetada pelas alterações nos níveis de água do rio.

Considerando que para diferentes espécies e estágios de vida correspondem diferentes necessidades de vazões, uma única vazão não poderá simultaneamente maximizar habitat para todas as espécies. O desafio é reconciliar essas necessidades numa forma adequada de proteger todas espécies. Isso requer que os biólogos usem os resultados do modelo em combinação com outra informação para estabelecer um regime de vazão final. Isso pode envolver alguma negociação de prioridades de gestão. Outros valores tais como pesca, recreação, irrigação, navegação, etc, também precisam ser considerados.

Em 1993, Nestler et al usou o método **RCHARC** – “**The Riverine Community Habitat Assessment and Restoration Concept**” para estudar os efeitos das alterações de vazões sobre a biota aquática em projetos de canais. É um método para avaliar o habitat dos rios sob condições de vazões baixas. O método combina elementos conceituais do “Index of Biotic Integrity” (IBI) e do sistema PHABSIM. - Physical Habitat Simulation (programa de computador utilizado para quantificar os atributos hidráulicos adequados contra atributos hidráulicos não adequados de habitat de espécies selecionadas e estágios de vida em função da vazão). Basicamente ele é utilizado para projetos de recuperação e de avaliação do trecho do rio restaurado

sob condições de referência. Ele envolve as seguintes hipóteses: cada vazão específica é garantida por uma distribuição de profundidades e velocidades; e, a estrutura da comunidade aquática é estreitamente relacionada à diversidade hidráulica, como descrita pelas distribuições de frequências de profundidades e velocidades.

O modelo possui as seguintes características: não faz as comparações quantitativas entre trechos do rio (as avaliações são qualitativas); faz ligações entre observações de campo, resultados de pesquisas, e entendimento da diversidade de habitat; não utiliza o critério de adequação das espécies para calcular habitat; requer dados de geometria do rio, hidrologia, níveis de água, diminuição de profundidades, e dados sobre o microhabitat como transporte de sedimento, oxigênio dissolvido e temperatura da água.

O método empírico **Plunge Pool**, foi desenvolvido pelo “Washington Department of Fish and Wildlife and Department of Ecology”, 1996, foi projetado para estabelecer padrões mínimos de vazões e regimes operacionais de vazões para rios com trutas tendo elevado gradiente, leito de pedregulhos e cascatas.

Em 1998, o **Departamento de Proteção Ambiental da Pensilvânia**, a Comissão da Bacia Hidrográfica do Rio Susquehanna, a Comissão de Pesca da Pensilvânia, o U.S. Army Corps of Engineers, o Departamento de Meio Ambiente de Maryland e a Divisão de Recursos Biológicos do U.S. Geological Survey conduziram um estudo para avaliar as necessidades de vazão ecológica. O objetivo do estudo foi desenvolver um procedimento para determinar os níveis de vazão ecológica que: 1- levasse em conta a proteção da pesca; 2- fosse aplicável aos rios da Pensilvânia; 3- não necessitasse de estudos de custo elevado; 4- fosse de fácil uso no processo de outorga de água. Os componentes do habitat físico da metodologia IFIM – Instream Flow Incremental Methodology foram aplicados a específicos locais na Pensilvânia e Maryland. Um programa de computador foi desenvolvido para estimar os efeitos das captações de água no microhabitat físico e a disponibilidade de água para uso. Esse programa avalia estatísticas do impacto para várias combinações de captações de água para qualquer projeto na região de estudo. Também, o programa realizou várias combinações de espécies, e captações de água para avaliar a redução de habitat anual resultante de cada combinação. Como resultado do estudo foram obtidas curvas que relacionam o habitat de espécies com a derivação de águas, para a determinação dos limites para essa retirada.

O método **Tidal Tributary/Estuary Method**, Duke Engineering, 1999, é uma técnica incremental para prover vazões para manter o refúgio no canal na baixa-mar e nas áreas de inundação nas premares. O propósito do método é determinar vazões que manterão os processos e recursos do estuário. A técnica utiliza um modelo de regressão que correlaciona os níveis de água no estuário como uma função da maré e a vazão para estabelecer habitat adequado para manter os peixes e as comunidades de vegetação. Uma restrição é que o método não leva em consideração a salinidade, fator importante nos estuários. Ele fornece informações, mas não respostas.

O “Texas Water Development Board-TWDB” e o “Texas Parks and Wildlife Department-TPWD”, 2002, mantêm um programa para determinar os efeitos e as necessidades de baías e estuários do Estado do Texas com relação às vazões fluviais. Os elementos do estudo incluem pesquisas hidrográficas, modelagem hidrodinâmica da circulação da água e padrões de salinidade, análise de sedimentos, análise de nutrientes, análise de peixes, otimização da vazão residual nos estuários, salinidades e verificação das necessidades. Para a determinação das necessidades foram desenvolvidos modelos estatísticos de regressão entre vazões residuais fluviais, salinidades e pesca costeira. Os resultados dos modelos e análise são colocados no modelo Texas Estuarine Mathematical Programming (TxEMP), juntamente com as informações de limites

de salinidade viáveis, balanço de nutrientes, relação de biomassa de peixes e limites de vazões residuais. As relações numéricas são solucionadas dentro das restrições e limites, e otimizados para atender os objetivos de gestão para manter a produtividade biológica e a saúde ecológica geral. As curvas de solução do TxEMP são verificadas através da simulação hidrodinâmica da circulação estuarina e da estrutura salina, as quais são confrontadas com a análise da abundância de espécies e padrões de distribuição em cada baía e estuário.

O método **Hatfield e Bruce Western Salmonid Regressions**, 2000, estabelece uma série de equações para avaliar a vazão que maximiza a área usada ponderada (WUA) nos estudos com o PHABSIM, para até quatro estágios da vida de tipos de trutas e salmões. Os autores propõem o método para o nível de reconhecimento.

O **MESOHABSIM – Mesohabitat Simulator** (2001), em IFC, 2004, é semelhante ao PHABSIM módulo integrante de IFIM. O propósito do MESOHABSIM é fornecer um meio para avaliação de habitat que pode ser utilizado em cenários de reabilitação de rios incluindo alternativas de regimes de vazões, para todo rio ou uma seção transversal.

MesoHABitAt SIMulator é similar ao PHABSIM considerando que ambos quantificam atributos físicos do habitat, fazendo relação com aqueles dos requerimentos de habitat adequados para espécies selecionadas e estágios de vida como uma função da vazão. Enquanto o PHABSIM envolve a pesquisa detalhada do microhabitat dentro de locais de amostragem selecionados, MesoHABSIM utiliza o mapeamento de mesohabit de todas as seções do rio sob condições de vazão múltiplas.

O método “**Demonstration Flow Assessment – DFA**”, em IFC, 2004, utiliza para a determinação da vazão ecológica a observação direta das condições do habitat do rio para diferentes vazões, e um grupo de profissionais elege as alternativas de vazões.

O DFA faz uso de procedimentos que podem ser divididos em duas partes. A primeira parte é geral e trata da análise de decisão fundamentada no julgamento. Essa parte inclui: 1- estrutura da decisão: enfoca a avaliação através de seus objetivos e contornos, 2- modelagem conceitual: identificação dos processos chaves e mecanismos pelos quais a variável escolhida afeta os recursos estudados, 3- definição de indicadores mensuráveis baseados nos modelos conceituais, 4- observação como as medições respondem às variáveis estudadas, e 5- análise dos resultados e incertezas para eleger alternativas de gestão.

A segunda parte é ecológica: quantificação do habitat como uma forma de avaliar os efeitos das alternativas de gestão. Essa parte inclui 1- identificação de tipos específicos de habitat que serão desejáveis para razões específicas, 2- estimativa da quantidade desses tipos de habitat para cada alternativa, e 3- avaliação das alternativas de como elas proverão as desejadas quantidades de cada tipo de habitat. Os autores ilustram o uso dos procedimentos, com um estudo para avaliar a vazão ecológica para a reprodução de Salmões no rio Clakamos no Oregon, USA.

A subjetividade e a incerteza são as maiores limitações no uso do DFA, pois não utiliza a quantificação. Ele tem sido muito aplicado no licenciamento de hidrelétricas no USA.

DFA é fundamentalmente similar ao método PHABSIM integrante do IFIM

#### **IV.1.4- METODOLOGIAS HOLÍSTICAS.**

A **metodologia holística** (Arthington et al, 1992) foi desenvolvida na Austrália para estudar a vazão ecológica levando em conta todo o ecossistema do rio, podendo incluir áreas associadas tais como pântanos, água subterrânea e estuários. Adicionalmente, considera todas espécies que são sensíveis à vazão, tais como invertebrados, plantas e animais, e contempla os aspectos das cheias, secas, e qualidade da água. Ela representa as bases conceituais e teóricas para a maioria dos métodos holísticos para a determinação da

vazão ecológica. Em geral, essa metodologia faz uso de grupo de profissionais e pode envolver a participação de partes interessadas, fazendo com que o processo seja holístico. O grupo faz julgamentos acerca das consequências ecológicas para várias vazões no rio nos aspectos quantitativos e temporais. Uma desvantagem do método diz respeito ao seu custo elevado na aquisição de dados.

King J.M. & Louw D. em 1998, empregou a metodologia “**BBM – Building Block Methodology**” na **Africa do Sul**. Ele foi desenvolvido por pesquisadores locais e o DWF- South African Department of Water Affairs and Forestry. Consiste, basicamente em 3 fases: 1- preparação para workshop, incluindo consulta às partes interessadas, estudos de escritório e de campo para a seleção do local, análise geomorfológica do trecho do rio, pesquisas sociais e de integridade do habitat do rio, estabelecimento de objetivos para a condição futura do rio, avaliação da importância ecológica e econômica do rio, análises hidráulica e hidrológica, 2- workshop multidisciplinar para construção da variação do regime de vazão através da identificação das características da vazão ecológica essencial em termos mensais, 3- ligação da vazão ecológica necessária com a fase da engenharia de desenvolvimento do recurso hídrico, com modelagem do cenário e análise hidrológica. O método é aplicável a rios regularizados e não regularizados quando se tratando da restauração das vazões.

Foi desenvolvido na África por “Southern Waters and Metsi Consultants” uma metodologia holística com componente sócio econômico (King et al. 2003), denominada “**Downstream Response to Imposed Flow Transformations (DRIFT)**”. A aplicação do DRIFT compreende quatro módulos: 1- módulo biofísico: usado para descrever a condição presente do ecossistema, para prever a sua mudança para alterações de vazões; 2- módulo sociológico: utilizado para identificar riscos da subsistência de usuários devido à alteração de vazões e quantificar as suas ligações em termos de recursos naturais e perfis de saúde; 3- módulo de desenvolvimento de cenário: liga os primeiros dois módulos através de um banco de dados, para obter previsões das consequências da alteração de vazões; 4- módulo econômico: gera descrição de custos para mitigação e compensação para cada cenário. Essa metodologia tem aplicação limitada na região Sul da África. O DRIFT, foi utilizado no “The Lesotho Highlands Water Project (LHWP)”, World Bank, 2003.

A metodologia DRIFT contém um processo para avaliar as consequências sociais para cada cenário de vazão e meios para avaliar os custos econômicos para regularização de vazões, em função dos efeitos nos peixes e em outros recursos naturais ou serviços realizados pelas comunidades.

Arthington, A.H., 2004, apresenta as principais características dos métodos holísticos.

#### **IV.2 – METODOLOGIAS NO BRASIL**

O método Tennant foi empregado na elaboração dos planos diretores de recursos hídricos das bacias dos rios das Velhas e Paracatu no Estado de Minas Gerais, Froes, 2006.

Sarmiento, et al, em 1999, apresenta o estado da arte da vazão ecológica. Uma das suas conclusões é que para o Brasil a legislação e as metodologias que tratam com vazão residual eram escassas. Também, as metodologias existentes nos Estados e nos órgãos federais brasileiros recomendavam vazões residuais (vazões a permanecer a jusante das obras hidráulicas) fundamentadas somente em parâmetros hidráulicos, desconsiderando a ecologia aquática, ou seja, utilizavam o método  $Q_{7,10}$ , praticado até a presente data.

Pelissari, 2000, realizou o primeiro trabalho de pesquisa formal no Brasil em vazão ecológica, utilizando os métodos IFIM, Tennant, Perímetro Molhado, ABF e  $Q_{7,10}$  para a determinação da vazão ecológica no rio Timbuí no Estado do Espírito Santo.

Pelissari et al, também desenvolveu os seguintes estudos: índices de preferência de habitat para peixes na determinação da vazão residual do Rio Timbuí no Estado do Espírito Santo (1999); determinação da

Demanda Ecológica para o Rio Santa Maria da Vitória, Estado do Espírito Santo (2001); vazão ecológica a ser considerada no licenciamento ambiental dos sistemas de abastecimento de água (2001); vazão ecológica para o Rio Santa Maria da Vitória, Estado do Espírito Santo (2003); determinação da vazão ecológica do rio Santa Maria da Vitória para caracterização da disponibilidade hídrica atual e futura da Grande Vitória (2004).

Bezerra, N. R., 2001, pesquisou metodologias para definição de vazões mínimas garantidas em cursos de água. O resultado dessa pesquisa foi o desenvolvimento de um suporte metodológico de apoio à tomada de decisão, em que se pôde dar início a um levantamento de informações referentes aos diferentes métodos e técnicas que auxiliaram no processo de definição de valores de vazões mínimas garantidas em cursos d'água. A partir dessa análise, foi possível desenvolver uma primeira versão de um denominado Fluxograma Teórico de Avaliação -FTA. Esse fluxograma teve como objetivo avaliar a natureza e as limitações dos diferentes métodos e técnicas necessários no processo de definição de valores de vazões mínimas garantidas em cursos d'água, desenvolvendo, a partir dessa análise, um diagrama para uso em tomadas de decisão para avaliar vazões mínimas.

Benetti et al, 2003, apresentam uma revisão de métodos empregados para definição de vazões residuais agrupando-os em : hidrológicos, hidráulicos, de regressões múltiplas, de classificação de habitats, holísticos e informais.

Gonçalves et al, 2003, faz uma revisão e aplicação de alguns métodos para determinação de vazão mínima garantida em cursos de água.

Marques et al, 2003, considerou a influência dos métodos de determinação da vazão ecológica no custo de geração de energia em aproveitamentos hidrelétricos.

Curado, L.C., 2003, apresenta indicadores de vazões mínimas de referência em sub bacias do rio Miranda no Estado de Mato Grosso do Sul. O objetivo do trabalho foi aplicar métodos para o estabelecimento desta vazão mínima, definida através de valores numéricos que representam a quantidade de água que deve permanecer no leito do rio. A metodologia proposta para determinação dos índices e indicadores das vazões mínimas de referência foi aplicada preliminarmente a uma seção no Rio Aquidauana e posteriormente repetida para comparação à outra seção no Rio Miranda.

Collischonn et al, 2005, apresenta algumas reflexões acerca dos critérios utilizados para definir as vazões remanescentes em rios, procurando demonstrar a insuficiência do tradicional critério de vazão ecológica como um valor único, válido para todos anos e para todas as estações do ano.

Sarmiento et al, 2005, elaborou o trabalho intitulado metodologia para avaliar a vazão ecológica do Rio Paraíba do Sul a jusante da Usina Hidrelétrica de Funil.

Sarmiento et al, no período 2004-2006, executou o projeto de pesquisa e desenvolvimento da ANEEL para urnas, para a determinação da vazão ecológica do Rio Paraíba do Sul a jusante da Usina Hidrelétrica de Funil, no Estado do Rio de Janeiro. O objetivo da pesquisa foi a simulação de habitat, e por consequência a determinação da vazão ecológica desse rio a jusante da Central Hidrelétrica de Funil até a cidade de Resende, estado do Rio de Janeiro, através do método IFIM.

Conforme apresentação de Da Silva, L. M. C., 2006, a ANA em 2004, liderou um grupo de técnicos e especialistas, juntamente com o CBHSF e os órgãos gestores dos Estados, para a execução do Plano Decenal (2004-2003) de Recursos Hídricos da Bacia do Rio São Francisco. Nesse plano foi utilizado o método de Tennant para a determinação da vazão ecológica para a sobrevivência de peixes: mínima: 10% da vazão média de longo período; Média: 20% da vazão média de longo período; Ideal: 30% da vazão

média de longo período. O Plano adotou provisoriamente a vazão de 1.300 m<sup>3</sup>/s como vazão mínima ecológica na foz do Rio São Francisco.

Luz, L. Dantas, 2004, faz uma discussão sobre os aspectos da ecologia de rios, enfatizando fundamentos e a importância dos processos hidrológicos e biogeoquímicos que ocorrem tanto longitudinalmente, das cabeceiras à foz, como também transversalmente em áreas úmidas adjacentes à calha.

Luz, L. Dantas 2006, empregou o modelo IHA – Indicators of Hydrologic Alteration para analisar as alterações ocorridas no regime fluvial do baixo trecho do Rio São Francisco decorrentes da implantação de sistema de barragens para fins de geração hidroelétrica ao longo dos seus trechos sub-médio e baixo.

## **V – CENÁRIO ATUAL NO USO DAS METODOLOGIAS .**

Tharme, E.R., 2003, apresenta uma estatística mundial e tendências sobre o uso de metodologias para a avaliação ecológica, mostrada na **Tabela 3** em continuidade. Pelo menos 207 metodologias foram identificadas em 44 países.

**Tabela 3**  
**Número de Metodologias Utilizadas no Mundo**

<b>Metodologia</b>	<b>Percentual do Número Global (207) de Metodologias Existentes - (%)</b>
<b>Hidrológica</b>	<b>29,5</b>
<b>Hidráulica</b>	<b>11,1</b>
<b>Habitat</b>	<b>28,0</b>
<b>Holística</b>	<b>7,7</b>
<b>Outros &amp; Combinações</b>	<b>23,7</b>

A metodologia hidrológica se destaca em 29,5%, seguida da Habitat, com 28,0 %.

Tennant é o método mais utilizado, do tipo hidrológico, em 16 estados ou províncias na América do Norte. Pelo menos 25 países aplicaram o método. A aplicação do método requer a confiabilidade dos dados da série histórica hidrológica. Também, a precisão da qualidade dos dados biológicos é importante, como por exemplo, a fase da periodicidade da vida dos peixes. Além disso, a vazão média anual trabalhada pelo método, muitas vezes não reflete o aspecto sazonal da hidrologia. Por outro lado, o método tem custo baixo, é rápido e fácil. Não requer necessariamente medições de campo, mas ajudariam na validação do método. Os resultados apresentados são relativamente consistentes quando aplicados em rios de diferentes regiões.

O IFIM tem sido considerado por estudiosos da vazão ecológica, como a metodologia que utiliza o Habitat, mais científica e defensável para avaliar essa vazão. O método permite avaliar os aspectos temporais e espaciais do habitat do rio como uma consequência das propostas de gestão dos recursos hídricos. A coleta de dados requer muito tempo e pode ser difícil e perigosa em grandes rios. O IFIM necessita equipe multidisciplinar para trabalhar os seus módulos. A interpretação das análises requer biólogos muito experientes.

Duas pesquisas foram realizadas em 1981 e 1996 sobre as práticas de vazão ecológica nos Estados e Agências Federais dos Estados Unidos e do Canadá. Quarenta e seis Estados e doze Províncias Canadenses responderam à pesquisa. Os resultados da pesquisa mostraram que o método mais comumente aplicado (utilizado em 38 estados ou províncias) para avaliar a vazão ecológica é o do “Fish and Wildlife Service Instream Flow Incremental Methodology (IFIM)”, Reiser W. D., 1989.

O RVA foi empregado em mais de 30 estudos envolvendo a vazão ecológica nos USA, Canadá e África do Sul. Esse método permite estabelecer metas provisórias de vazões e estratégias de gestão do rio sem dados ecológicos de longo período. A disponibilidade de dados hidrológicos confiáveis limita a aplicação de todos parâmetros IHA, podendo gerar incertezas na interpretação da variação natural dos parâmetros.

Na metodologia hidráulica (11,1%), o método do perímetro molhado é o mais utilizado no mundo e terceiro na América do Norte na última década. Este método abrange somente vazões baixas e não considera a variabilidade inter-anual. Adicionalmente, não considera a geomorfologia do canal, qualidade da água, e é aplicado para canais com remansos bem definidos. Para canais com seções transversais com formas parabólicas ou em forma de V, a relação perímetro molhado e vazão não apresenta o ponto de inflexão bem definido. O método não deve ser aplicado em rios com baixo gradiente e com meandros. É facilmente aplicado a rios sem medições hidrológicas.

As tendências (Tharme, E.R., 2003) nos tipos de metodologia, considerando o mundo dividido em 6 regiões (Australasia, parte restante da Ásia, África, América do Norte, Américas do Sul e Central, Europa e Oriente Médio) mostram que a Europa e a América do Norte são as que mais empregam a metodologia hidrológica com 38 e 26 %, respectivamente. Tem pouco uso na Ásia Pacífica excluindo Austrália e Nova Zelândia.

A metodologia hidráulica é mais utilizada na América do Norte com 76 % com grande uso também na Europa e Australasia.

Dentre todas metodologias que utilizam o Habitat, o USA lidera com 51% com o uso desse tipo de metodologia, tendo pouco uso nas outras 5 regiões.

A região da Australasia se destaca no uso da metodologia Holística com 65% dentre todas metodologias, somente na Austrália. Em segundo plano no uso dessa metodologia está a África com 29%. Na Europa o emprego desse tipo de metodologia aconteceu somente na região do Reino Unido.

Todos os tipos de metodologias são empregados na Austrália e na Europa, sendo que somente dois tipos, que são utilizados por todas regiões (as metodologias hidrológica e habitat), são praticados nas Américas Central e do Sul. A Nova Zelândia tem investido nas metodologias hidrológica e habitat, dando pouca atenção à metodologia holística. Os USA e Canadá têm feito pouco esforço em explorar a metodologia holística, focando as suas pesquisas em metodologia habitat. As metodologias consideradas no USA, Austrália e Canadá são mais voltadas para o nível estadual. Portugal e Espanha têm feito considerável esforço na metodologia hidrológica, a França na metodologia Habitat, e a Itália na hidrológica. O Brasil e o Japão estão na vanguarda nos desenvolvimentos regionais para avaliação da vazão ecológica. A Austrália e a África do Sul sobressaem no uso da metodologia holística. Tharme, E.R., 2003.

No Brasil o tema vazão ecológica foi tratado pela primeira vez formalmente por Sarmento et al, em 1999.

Em geral, a fixação de vazões ecológicas (de referências, residuais, remanescentes) tem sido feita principalmente através da legislação nos níveis estadual e federal, principalmente para uso nos procedimentos administrativos de concessão de outorga de água e construção de barragens. A maioria desses procedimentos segue, indiretamente, a metodologia hidrológica utilizando o conceito de  $Q_{7,10}$ . Em

segundo lugar em aplicações destaca-se o método de Tennant com poucas aplicações. Luz et al, 2004, usou o método IHA – Indicators of Hydrologic Alteration no rio São Francisco.

A metodologia hidráulica aparece em alguns trabalhos através do método do perímetro molhado.

O método IFIM, metodologia habitat, foi aplicado pioneiramente no país, no ano 2000, nos rios Timbuí e Santa Maria da Vitória do Estado do Espírito Santo, e no rio Paraíba do Sul em 2004 no Estado do Rio de Janeiro. Essas são as únicas aplicações do IFIM que se tem registro no país.

Em 2006, a CTAP – Câmara Técnica de Análise de Projetos do CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos, realizou uma discussão sobre critérios para a definição de vazão ecológica, vazão remanescente ou vazão mínima, através de apresentações de profissionais e de representantes de entidades, abordadas em seguida.

Na 51ª Reunião, Joaquim Gondin da ANA – Agência Nacional das Águas apresentou o tema Vazão Ecológica, Vazão Remanescente, Vazão Mínima, onde tratou com as definições variadas dessas vazões. Além disso, sugere um edital de pesquisa integrada sobre vazão ambiental a ser apoiado pelo CT-Hidro, objetivando a formação de redes de pesquisa multidisciplinares (hidrologia, ecologia, socioeconomia e modelagem) em bacias hidrográficas representativas.

Na 52ª Reunião, O IGAM – Instituto de Gestão das Águas de Minas Gerais tratou com a vazão mínima residual adotada em Minas Gerais, representado pela Célia Froes, cuja proposta é ampliar as discussões envolvendo os órgãos ambientais, universidades e institutos de pesquisa, e levar esta discussão para a Câmara de Outorga. Também, nessa reunião, Robson Sarmento falou da vazão ecológica englobando: o NEVE – Núcleo de Estudos em Vazão Ecológica, a legislação atual da vazão ecológica no país e as metodologias para o conhecimento da vazão ecológica, com exemplo de aplicação da metodologia “Instream Flow Incremental Methodology –IFIM” no Rio Paraíba do Sul, no estudo da sua vazão ecológica a jusante da hidrelétrica de Funil de FURNAS. Na ocasião, destacou que a definição da vazão deve proteger o habitat dos usuários, especialmente os peixes, as espécies aquáticas e a vegetação.

Na 53ª Reunião, Walter Collischonn e outros, do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul apresentaram o tema “Em busca do hidrograma ecológico”. A apresentação abrangeu um rápido histórico, problemas da vazão ecológica e meio ambiente, uma metodologia para um hidrograma ecológico, e desafios no Brasil, ou sejam, carência de estudos coordenados entre ecologia e hidrologia, diferenças regionais de regime hidrológico, forte presença do setor elétrico (com operação centralizada, buscando a otimização de outros critérios) e outras prioridades (qualidade da água). Conclui que: não interessa o critério pelo qual escolhemos a vazão ecológica, a vazão ecológica é insuficiente para dar sustentabilidade ambiental, precisamos de um regime hidrológico, ou um hidrograma ecológico, solução deve ser buscada logo, respeitando particularidades do país. A Secretária de Recursos Hídricos do Estado da Bahia apresentou os critérios para a definição do conceito de vazão ecológica, remanescente ou mínima nesse Estado, representada por Fernando Fernandes da Silva.

Na 54ª Reunião, constituiu das seguintes apresentações: Vazão Ecológica no Espírito Santo (Gustavo Adolfo Braga da Rosa do IEMA); Abordagem legal Relacionada à Vazão Mínima Residual em Cursos de Água de Domínio do Estado (Marco Vinicius Gonçalves do IEMA); Critérios para definição do Conceito de Vazão Ecológica (José Luiz Scroccaro do SUDERSHA/Paraná). Essas apresentações consideraram principalmente a legislação estadual existente para a vazão mínima residual e ecológica. Outra apresentação foi feita pelo D. Eng. Luciano Meneses Cardoso da Silva, gerente de Outorga da ANA, sobre Vazão Ecológica – Implicações Legais e Institucionais sobre a Outorga, contemplando: alguns caminhos para integração da gestão recursos hídricos e ambiental: escalas de trabalho, articulação entre outorga e licenciamento ambiental, lançamento de efluentes e consensos sobre a vazão ecológica. Quanto aos

consensos sobre vazões ecológicas conclui: na prática, critérios de outorga têm definido as “vazões ecológicas”, ou seja: não há básica científica (ambiental) nos critérios de outorga; se baseiam em Vazões de Referência; são estatísticas de vazões observadas (80% Q90%, 70% Q95%, 30% Q<sub>7,10</sub>, etc). Também, levantou as seguintes questões:

“

- 1- “De quem é a atribuição legal para definir as vazões ecológicas? Da área de recursos hídricos ou da área ambiental? Ou ambas?
- 2- Caberá à área de RH, por meio da outorga, definir, em última instância, esses valores, ainda que baseados em métodos científicos para determinação de vazões ecológicas?
- 3- Caberá à área de RH o estabelecimento de vazões mínimas suficientes apenas para atendimento dos múltiplos usos dos recursos hídricos (irrigação, saneamento, navegação, indústria, diluição de efluentes,...)? “.

Na 55ª Reunião, “Vazão Ecológica Contribuição Jurídica para Formatação do Conceito” foi o tema considerado por Eldis Camargo da PGE/ANA, concluindo por: “1- a aplicabilidade de um conceito jurídico deve estar formatado no contexto das fontes de direito; 2- determinar as atribuições (competência material) dos órgãos e entidades envolvidas (estudo da responsabilidade ambiental); 3- competência formal: União legisla sobre águas (interpretação sistêmica do Art. 24 e 30 CF); 4- importância dos planos; 5- imprescindível à participação pública; 6- inserir aspectos do meio ambiente natural, artificial e cultural; 7- metodologias e opções políticas.” Ney Fukui do ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico, tratou com a “Influência dos Condicionantes Ambientais e de Restrições de Uso Múltiplo da Água na Operação do Sistema Interligado Nacional”, evidenciando as seguintes constatações:

- “A inserção de restrições severas, dependendo da situação hidroenergética, pode afetar toda a operação do SIN, com aumentos dos custos operacionais, mudanças de políticas de operação, reflexos na formação de preço de curto prazo e eventualmente aumento dos riscos de déficit de energia.
- A inserção de condicionantes ambientais e/ou restrições de uso múltiplo da água na operação do SIN deve ser precedida de estudos de avaliação econômica, buscando a minimização dos custos globais.
- As dificuldades para a conciliação dos interesses da operação do SIN e dos demais usos concorrentes da água sinalizam a necessidade de aprimoramento regulatório, especialmente no que diz respeito à participação do NOS”.

As apresentações nas reuniões CTAP estão disponíveis na Internet no “site” do CNRH.

Está sob análise na – Câmara Técnica de Análise de Projetos Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) - **CTAP** uma minuta de resolução (Versão 0/10-11-2006) sobre diretrizes quanto à vazão (mínima)? remanescente, e definição de vazão ecológica, dentre outros. A Situação atual na CTAP (55ª Reunião, 2007), é a discussão das contribuições para a elaboração do documento básico e da proposta de resolução sobre vazão ecológica.

O CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Setembro de 2006 lançou o primeiro projeto nacional (Edital MCT/CNPq-CT-HIDRO No. 45/2006), com o objetivo de determinar e avaliar a vazão ecológica em cursos d'água de bacias hidrográficas brasileiras, para compatibilizar aspectos hidrológicos, limnológicos, ecológicos e socioeconômicos dos regimes de vazões, para subsidiar estratégias de aplicação de instrumentos de gestão de recursos hídricos, alocação negociada de água e operação de reservatórios, que promovam o uso múltiplo da água, reduzam impactos ecológicos relevantes derivados de usos atuais e projetados da água, inclusive da operação de reservatórios.

O Edital 45/2006 público visa à constituição de até três redes de pesquisa interdisciplinares e interinstitucionais. Cada rede de pesquisa deverá ser composta de três sub-redes, referentes às três linhas de apoio descritas em continuidade.

Cada sub-rede terá no mínimo dois projetos de pesquisa, considerando os temas relevantes para a linha de apoio escolhida e as especificidades da bacia hidrográfica selecionada. As linhas de apoio são:

**. Aspectos hidrológicos,**

Esta linha de apoio busca uma melhor compreensão das funções e processos relacionados ao regime de vazões de um curso d'água de uma bacia hidrográfica, seus principais rios, afluentes, reservatórios e áreas de inundação, incluindo sua variabilidade temporal e espacial das vazões. Esses estudos incluem, entre outros temas, os processos de cheias, secas, sedimentação, erosão, assoreamento e regime hidrológico. Deve ser voltada para esclarecer o papel do comportamento hidrológico na determinação de uma vazão ecológica, propondo ainda medidas mitigadoras de impactos.

**. Aspectos limnológicos e ecológicos,**

Esta linha de apoio busca uma melhor compreensão das funções e processos que ocorrem nos ecossistemas aquáticos. Esses estudos incluem, entre outros temas, a caracterização da diversidade biológica, a determinação de espécies bioindicadoras, os processos de poluição, a qualidade e a capacidade de autodepuração dos corpos d'água em face dos diferentes usos e da qualidade ambiental. Deve ser voltada para esclarecer o papel dos processos limnológicos e ecológicos na determinação de uma vazão ecológica, propondo ainda medidas mitigadoras de impactos.

**. Aspectos socioeconômicos,**

Esta linha de apoio visa compatibilizar os aspectos econômicos dos diferentes usos e demandas dos recursos hídricos para garantir o uso múltiplo da água e a conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos, considerando os diferentes atores sociais envolvidos. Esses estudos incluem, entre outros temas, os conflitos e a dinâmica espaço/temporal de uso da água e da ocupação do solo e o uso múltiplo e sustentável dos recursos hídricos. Deve ser voltada para esclarecer o papel das variáveis socioeconômicas na determinação de uma vazão ecológica, propondo ainda medidas mitigadoras de impactos.

A CTPPP – Câmara Técnica de Planos e Programas e Projetos do CBHSF na reunião de 12/06/2006 detalhou o perfil do profissional desejado para a execução do estudo sobre vazão ecológica e qual seria a melhor forma de execução do trabalho. Em 12/07/2006, foram consideradas a discussão detalhada e construção da versão final dos Termos de Referência sobre vazão ecológica. Aos quinze dias de Agosto do ano dois mil e seis foi realizada a leitura dos Termos de Referência para contratação de pessoa física para a elaboração de Estado da Arte e para a contratação de empresa para apoiar a realização de oficina sobre vazão ecológica. Em 19 de Outubro de 2006, tratou-se do andamento do TDR da vazão ecológica. Além disso, foram abordados os temas para a Oficina.

Em Novembro de 2006, foi realizada na cidade de Maceió pelo CBHSF a “Oficina de Vazão Ecológica: Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco”, abrangendo: Vazão Ecológica: 1- Base Conceitual, 2- Metodologias, definição de parâmetros e critérios, 3- Exemplos práticos (“cases”), 4- Estado de arte do tema “Vazões Ecológicas”- versão preliminar; 5- Tentativa de definição da aplicabilidade prática das técnicas à Bacia do Rio São Francisco.

**A Tabela 4** seguinte apresenta características dos principais métodos para a obtenção da vazão ecológica.

**Tabela 4:**Características dos Principais Métodos para Determinação da Vazão Ecológica

METODOLOGIA	MÉTODO	VANTAGENS	DESVANTAGENS	CONFIABILIDADE RELATIVA DOS RESULTADOS***	DURAÇÃO PARA IMPLEMENTAÇÃO	USO	CUSTO
<b>HIDROLÓGICA</b>	<b>Tennant</b>	Relativamente baixo custo, rápido e fácil implementação.	Feito para gestão de habitat de trutas; válido somente para a região que foi desenvolvido; inexistência de validação biológica.	Baixa	Duas semanas	Extensivo nos USA	Médio
<b>HIDRÁULICA</b>	<b>Perímetro Molhado</b>	Uso fácil e reduzida aquisição de dados.	Considera as características físicas e não as necessidades da biota do rio.	Baixa	2- 4 meses	Extensivo nos USA	Baixo
<b>HABITAT</b>	<b>IFIM</b>	Muito bem documentado; trata com peixes.	Requer muitos dados de campo; difícil uso; requer bom entendimento das espécies de estudo.	Alta	2 – 5 anos	Extensivo nos USA e UK	Alto
<b>HOLÍSTICA</b>	<b>Holístico</b>	Considera vários componentes do ecossistema.	Não possui conjunto estruturado de procedimentos para uso; requer treinamento especializado sobre o processo.	Média	6 – 18 meses	Aplicado em várias formas na Austrália.	Alto
	<b>BBM</b>	Extensamente documentado; trata com o ecossistema do rio.	Julgamento de sua efetividade necessita de tempo	Alta	6 – 18 meses	Aplicado na Austrália, África do Sul e UK; adotado como padrão sul africano para vazão ecológica.	Alto
	<b>DRIFT</b>	Bem Documentado; trata com o ecossistema do rio; tem forte componente nos aspectos sociais.	Consideração limitada de interações sinérgicas entre diferentes cenários de vazões; inclusão limitada de índices de vazões para descrever a variabilidade do sistema.	Alta	1 – 3 anos	Muito limitado; Lesotho, África do Sul.	Alto

\*\*\* - The World Bank, 2003.

## **VI – A VAZÃO ECOLÓGICA NO CONTEXTO DO RIO SÃO FRANCISCO**

A Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, com área de drenagem de 634.781 Km<sup>2</sup> abrange 503 municípios e sete unidades da Federação: Bahia, Minas Gerais, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Goiás, e Distrito Federal. É uma das doze regiões hidrográficas do Brasil, de acordo com a Divisão Hidrográfica Nacional no Plano Nacional de Recursos Hídricos. A bacia hidrográfica do Rio São Francisco pode ser dividida em quatro regiões fisiográficas para fins de planejamento, ou seja, Alto, Médio, Sub-médio e Baixo, e trinta e quatro sub-bacias. A distribuição dos usos da água na bacia é: humana urbana 18%, humana rural 3%, industrial 10%, irrigação 64% e animal 5% (Geo Brasil, 2007).

Essa bacia tem utilização para abastecimento de água, diluição de efluentes líquidos, irrigação, geração de energia elétrica, navegação, pesca e aquicultura, manutenção de ecossistema, turismo e lazer.

“O Plano Diretor de Recursos Hídricos da bacia do Rio São Francisco adota provisoriamente a vazão média diária de 1.300 m<sup>3</sup>/s como vazão mínima ecológica na foz, valor de restrição mínima atualmente já praticado à jusante de Xingo por determinação do IBAMA, até que se proceda à revisão ou confirmação deste valor na próxima edição do Plano.

A vazão mínima ecológica deve garantir a manutenção dos ecossistemas e preservação da biodiversidade aquática e não pode ser praticada de forma contínua.

As vazões remanescentes nos rios das bacias, após a alocação de água para usos consuntivos, devem ser superiores às vazões mínimas necessárias para manutenção da biota aquática em cada trecho dos rios.

Nas consultas públicas, a Câmara Consultiva Regional do Baixo São Francisco apresentou como reivindicação que seja estabelecido o valor de 1.500 m<sup>3</sup>/s como vazão remanescente na foz do rio São Francisco, valor que também abre a possibilidade de se praticar um regime sazonal de vazões e não apenas um regime uniforme durante o ano.

O Plano adota provisoriamente, a vazão média anual de 1.500 m<sup>3</sup>/s, como a vazão remanescente na foz do rio São Francisco.

O Plano indica como prioridade o desenvolvimento imediato de estudos para a busca do conhecimento não só sobre a vazão mínima ecológica, mas também sobre a possibilidade do estabelecimento de um regime de vazões ecológicas que possibilite variações sazonais de vazões, ambos necessários para a manutenção da biodiversidade e do equilíbrio da dinâmica ambiental ao longo de toda a calha do Rio São Francisco e dos principais afluentes que receberem reservatórios hidrelétricos e ainda na sua e na zona costeira adjacente, conforme manifestado e reivindicado pelas Câmaras Técnicas e nas rodadas de discussão do Plano. Estes estudos deverão ainda contemplar estratégias de manutenção do fluxo de nutrientes, de montante para jusante, afetado pelos grandes barramentos hidrelétricos.”

Poucos estudos dão atenção ao conhecimento da vazão ecológica do Rio São Francisco. Os estudos existentes foram realizados por Luz, C. Dantas et al.

Em 2004, “desenvolveu uma discussão sobre aspectos da ecologia de rios, enfatizando fundamentos e a importância dos processos hidrológicos e biogeoquímicos que ocorrem tanto longitudinalmente, das cabeceiras à foz, como também transversalmente em áreas úmidas adjacentes à calha. Busca-se enfatizar que o aspecto da dinâmica daqueles processos e sua estreita interdependência são elementos chaves na reprodução e persistência dos ecossistemas. Tal compreensão é sugerida como base para a investigação de critérios para se definir vazões ecológicas. Nesse sentido aponta-se que tal abordagem aplica-se e pode contribuir significativamente com as necessidades de revitalização e recuperação ambiental de áreas do Baixo Rio São Francisco. Ressalta os passos que deverão ser seguidos nas pesquisas em desenvolvimento”.

Em 2006, “trata da análise das alterações ocorridas no regime fluvial do baixo trecho do Rio São Francisco decorrentes da implantação de sistema de barragens para fins de geração hidroelétrica ao longo dos seus trechos sub-médio e baixo. Para isso foi utilizado o modelo IHA - “Indicators of Hydrologic Alteration” o qual computa 67 parâmetros estatísticos estabelecendo comparações entre um período de referência (ou pré-impacto) e outro período sob análise (ou pós-impacto). Buscou-se associar os parâmetros hidrológicos enfocados e as influências de suas alterações nas funções ecológicas que as águas proporcionam ao ambiente. A constatação é que o estudo deverá ser continuado visando buscar indicativos de padrões de comportamento hidrológico que possam melhorar ou potencializar funções ambientais, revitalizando o rio nesses aspectos.”

Como um dos resultados da discussão da Oficina de Vazão Ecológica do CBHSF ocorrida em Maceió, foram definidos pontos a serem considerados na definição de metodologias para estudos de vazão ecológica no Rio São Francisco, a saber: 1) regime de vazões; 2) amplitude da biota que pode ser abordada pela metodologia; 3) dinâmica da foz – relação rio – mar e comportamento da cunha salina; 4) a dinâmica das lagoas marginais pelo aporte de nutrientes e conseqüentemente pela produtividade primária do sistema; 5) relação vazão ecológica – qualidade de água.

O estado da arte, objetivo central deste documento, mostra que para a determinação da vazão ecológica dos rios, as metodologias com mais alta confiabilidade (veja quadro) são: IFIM- “Instream Flow Incremental Methodology” , BBM – “Building Block Methodology” e DRIFT – “Downstream Response to Imposed Flow Transformations”.

A metodologia incremental IFIM – Instream Flow Incremental Methodology, do tipo habitat, é capaz de contemplar os itens 1, 2, e 5. A metodologia foi desenvolvida, e é usualmente aplicada, para habitat dos peixes. É a metodologia mais utilizada, mais conhecida (IFC, 2004) e mais antiga, originada em 1970 (World Bank, 2003). Não tem sido aplicada a estudos que englobem temas do tipo dos pontos 3 e 4.

A metodologia holística “BBM – Building Block Methodology” abrange os componentes físicos (hidrologia, habitat físico, e qualidade química da água) e biológicos (vegetação, peixes e macro-invertebrados) do ecossistema do rio. Dessa forma, é capaz de cobrir os pontos 1, 2 e 5. Não existem estudos que mostrem a sua aplicação em estudos envolvendo temas do tipo dos pontos 3 e 4. É uma metodologia nova.

Uma das mais novas metodologias para estudos de vazão ecológica, holística, é “DRIFT - Downstream Response to Imposed Flow Transformations”. DRIFT é muito semelhante à metodologia incremental IFIM (World Bank Technical, 2003). Os pontos 1, 2 e 5 podem ser considerados nessa metodologia. Também, não se tem conhecimento do seu uso em estudos que incluam temas iguais aos dos pontos 3 e 4.

Todas essas metodologias não foram aplicadas a estudos que contemplassem assuntos como aqueles dos pontos 3 e 4.

Por ser a metodologia IFIM – “Instream Flow Incremental Methodology” a mais praticada (inclusive no Brasil), a mais conhecida, a mais antiga (cerca de 37 anos), classificada como de alta confiabilidade, e que também, “o IFIM pode ser considerado dos métodos quantitativamente estruturados o mais avançado e completo” (Luz , Dantas, 2004), ela é conseqüentemente, a metodologia mais apropriada para a elaboração do TDR – Termo de Referência para os estudos da determinação da vazão ecológica no trecho do Baixo Rio São Francisco.

Tendo em vista que as metodologias existentes para a determinação da vazão ecológica não contemplam o item 3- dinâmica da foz – relação rio – mar e comportamento da cunha salina, recomendamos que o seu tratamento seja através da metodologia da modelagem matemática bi ou tri dimensional fundamentada nas

equações da continuidade, quantidade de movimento e transporte (salinidade, sedimentos, nutrientes, ondas). Esse tipo de modelagem, a partir de condições iniciais e de contorno para a foz, salinidade, marés e ventos, vazão ecológica, e de outros parâmetros permitem a realização de diferentes simulações para obter as alterações futuras para a forma física da foz, marés e salinidade, nutrientes, etc. Este tipo de modelagem também pode ser aplicado ao item 4- a dinâmica das lagoas pelo aporte de nutrientes. Para a aplicação da modelagem matemática, são necessários o conhecimento da topografia e batimetria dos corpos de água em estudo (rio, lagoa, estuário). Adicionalmente, a modelagem requer a sua calibração e validação, o que implica em medições de campo dos parâmetros de estudo (marés, altura de lâmina da água, salinidade, nutrientes, sedimentos, etc) para cenários específicos. Os cenários futuros a serem simulados na modelagem, são os considerados críticos, como por exemplo, situações de secas e enchentes. No mercado, existem disponíveis programas de computador para esse tipo de modelagem.

A opção pelo IFIM é também função do que segue.

As metodologias incrementais são consagradas mundialmente por definir séries anuais de vazões ecológicas, levando em consideração a biota aquática, além das características geomorfológicas, hidráulicas e hidrológicas dos rios. São comumente utilizadas para avaliar o impacto ambiental da operação de usinas hidrelétricas, de derivações de água, de transposições de bacia, ou de qualquer outro empreendimento que interfira, nas características hidráulicas e biológicas dos cursos d'água, como é o caso do rio São Francisco. Além disso, possuem fundamentações teóricas concisas, sendo testadas em diversos locais, dentre os quais os Estados Unidos e países da Europa e da África. Vale ressaltar, também, que a metodologia incremental já foi testada no Brasil com grande sucesso como já visto aqui.

Esta escolha também está fundamentada nas necessidades previstas no Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio São Francisco. O Plano indica como prioridade imediata o conhecimento sobre o regime de vazões ecológicas que considere impreterivelmente a biota aquática, com vista à manutenção dos ecossistemas, levando em conta a sazonalidade do rio. Neste caso, as metodologias incrementais atendem plenamente a estas necessidades.

Contribui, também, para esta escolha, o fato de que as metodologias incrementais servem como um excelente instrumento para a tomada de decisões pelo poder público, pelo comitê de bacia e outras partes interessadas, no que se refere ao gerenciamento dos recursos hídricos da bacia hidrográfica, visto que proporciona a simulação de vários cenários e/ou situações futuras de interesse dos usuários da bacia.

Adicionalmente, a metodologia incremental tem sido aplicada largamente, como mostra os exemplos citados a seguir.

Em 1999, “Northern Shenandoah Valley Regional Commission, Technical Committee; Virginia Tech; United States Geological Survey- USGS; Virginia Department of Game and Inland Fisheries (VDGIF) e Virginia Department of Environmental Quality”, iniciaram um estudo com IFIM para avaliar a resposta da hidráulica e do habitat dos peixes às condições de vazões mínimas na bacia do North Fork Shenandoah River, Virginia, USA. Os resultados do modelo, foram utilizados para identificar vazões de conservação aquática e estabelecer um processo para a implementação da gestão de vazões de conservação aquática nessa bacia. Esse processo, facilitou a adoção de medidas de conservação da água para condições de futuras secas extremas].

O “Washington State Department of Ecology” e o “Washington Department of Fish and Wildlife”, 2001 e 2004, adotam o IFIM nos estudos de vazão ecológica. O método foi aplicado nos Rios: Green (1989), Entiat e Mad (1955), Little Klickitat (1990), Methou (1992), Tucannon (1995), East Fork Lewis (1999), Kalama (1999), Biq Quilcene (1999), Washougal (1999), Wala Wala (2002) and Chehalis (2004). Os resultados fornecem informação entre as vazões e o habitat dos peixes as quais podem ser utilizadas no estabelecimento de vazões requeridas pelos peixes nos rios.

COST – “European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research” é uma cooperação inter-governamental entre cientistas e pesquisadores na Europa, com a participação de 35 países. Um projeto em execução, de três anos, é o “COST ACTION 626: European Aquatic Modelling Network (EAMN)” envolvendo Áustria, Finlândia, França, Alemanha, Grã-Bretanha, Noruega e Suíça, que trata da modelagem da determinação das vazões ecológicas em bacias hidrográficas na Inglaterra e em Wales. O método utilizado é o IFIM.

Bullock, A. et al, 1991, aplicou IFIM aos Rios Gwash em Leicestershir/Lincolnshire e Blithe em Staffordshire na Inglaterra, com os objetivos de ter experiência no método, acessar o componente PHABSIM de modelagem do IFIM e modelar o impacto da construção de reservatório na ecologia aquática, e estabelecer um programa de pesquisa de longo prazo para recomendar vazões ecológicas aceitáveis. O potencial do IFIM na prescrição de vazões ecológicas é demonstrado no estudo.

No Estado do Espírito Santo, nos Rios Reis Timbuí (Pelissari, 2000) e Santa Maria da Vitória (Pelissari e Sarmiento, 2001) aconteceu o primeiro uso do IFIM no Brasil, com a finalidade de se conhecer a vazão ecológica desses Rios. Também, IFIM foi utilizado em projeto de desenvolvimento e pesquisa de FURNAS Centrais Hidrelétricas e da ANEEL em 2004, coordenado por este consultor, no Rio Paraíba do Sul para o conhecimento de vazões ecológicas a jusante da hidrelétrica de Funil, localizada nas proximidades da cidade de Rezende no Estado do Rio de Janeiro. Esses usos, mostraram a viabilidade do emprego desse método no país.

O conhecimento da vazão ecológica de um rio é um processo complexo que inclui a evolução da ciência, um público com interesses diversos, e um conjunto de aspectos legais e institucionais. Para ser mais efetivo, os atores envolvidos no processo para a determinação da vazão ecológica, devem considerar um programa específico para tratar com a vazão ecológica, administrado por profissionais treinados, cuja função principal seja trabalhar com os temas da vazão ecológica da bacia hidrográfica do rio, como preconizado pelo IFC- Instream Flow Council, 2004, e a IUCN – The World Conservation Union, 2003.

Conseqüentemente, há de se estabelecer um programa para o conhecimento da vazão ecológica na bacia hidrográfica do rio São Francisco. O programa objetivará principalmente o desenvolvimento de métodos mais apropriados, coletar os dados corretos e treinar pessoal para o conhecimento da vazão ecológica para toda a bacia hidrográfica do rio São Francisco.

O Programa para Estudo da Vazão Ecológica na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco deverá, pelo menos, incluir:

#### – Coleta de Dados

Estabelecer um procedimento local ou nacional para a coleta de dados. Incluem-se, neste, as medições hidrológicas (vazões, curvas-chave, precipitação, etc.), as hidráulicas (nível de água, batimetria, velocidade de escoamento, etc.) e as ecológicas (ictiofauna, sua localização, índice de aptidão de habitat, etc.).

#### – Experiência

Identificar dentro das universidades, das companhias de consultoria, das agências do governo e em ONG's, técnicos com experiência em áreas afins ao tema, tais como, hidrologia, hidráulica, ictiologia, geomorfologia e etc. Esta experiência deve ser cristalizada focando-se a hidro-ecologia dos rios brasileiros. Estes profissionais devem ser treinados para trabalhar em um grupo multidisciplinar para que cada um possa compreender a área de atuação do outro. É desejável que as entidades de pesquisas locais, se houver, participem deste programa para que o mesmo tenha maior participação da comunidade onde será implantado.

### – Centro de Dados

Estabelecer uma biblioteca ou um centro de dados, informatizado, onde todos os dados, as publicações e as experiências fiquem disponíveis para a comunidade.

### – Treinamento

Realizar cursos de treinamento objetivando criar uma estrutura local para gerenciamento e execução de atividades relativas ao tema.

### – Pesquisa

Elaborar um programa de pesquisa para desenvolver localmente conhecimento e métodos adequados de trabalho.

### – Estudos de Caso

Conduzir estudos pilotos, usando a experiência local.

Além disto, este programa tem por finalidade indicar os locais e metodologias que poderão ser utilizadas para avaliar a vazão ecológica em toda a bacia hidrográfica do Rio São Francisco, incluindo as principais sub-bacias, devendo, ainda, definir:

- os locais e a(s) metodologia(s) indicada(s) para avaliação da vazão ecológica na calha principal do rio, contemplando o Alto, o Médio, o Sub-Médio e o Baixo São Francisco;
- os locais e a(s) metodologia(s) indicada(s) para avaliação da vazão ecológica nas sub-bacias indicadas pelo CBHSF;
- os objetivos referentes a cada trecho, abordando as disponibilidades hídricas, as reivindicações dos grupos de usuários, os aspectos sociais e econômicos, os reservatórios e barramentos, as grandes derivações de água e transposições de bacia e a biota aquática.
- os recursos financeiros (humanos, materiais, equipamentos, bens de consumo, etc.) para a implantação de cada estudo, a ser definido no programa, individualmente.

O uso da metodologia incremental IFIM (tipo Habitat) aqui proposto para a determinação da vazão ecológica da região do baixo rio São Francisco será parte integrante e início da implementação desse programa.

## **VII – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Alves, M.E., 1993. Métodos de Determinação do caudal ecológico. Dissertação Mestrado. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal. p.162.

Annear, T.C., A.A., Conder, 1984. Relative Bias of several fisheries instream flow methods. North American Journal of Fisheries Management, 4.p. 451-539.

Annear, T., 2004. Instream Flows for Riverine Resource Stewardship, ISBN/SKU 0971674310.

Arthington, A.H., King, J.M., O'Keefe, J.H., Buun, S.E., Day, J.A., Pusey, B.J., Bluhdorn, D.R. & Tharme, R., 1992. Development of an holistic approach for assessing environmental flow requirements of riverine ecosystems. In J.J. Pigram & B.P. Hooper eds. Proceedings of an International Seminar and Workshop on water allocation for the environment. Armidale, USA, Centre for Water Policy Research. University of New England. pp. 69-76.

Arthington, A.H., 2004. Environmental Flow Assessment with Emphasis on Holistic Methodologies. Proceedings of Second International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries. Volume II. Welcomme R, (Eds). FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand.

Benetti, A. D., Lanna, A. E., Cobalchini, M.S., 2003. Metodologias para Determinação de Vazões Ecológicas em Rios. Revista Brasileira de Recursos Hídricos: Vol. 8, n. 2 Abr/Jun.

Benjamin, Antônio Herman, 1999. Em Legislação Brasileira do Meio Ambiente por Rogério Rocco 2002, DP&A Editora, ISBN 85-7490-135-0, Rio de Janeiro.

Bezerra, R. B., 2001. Metodologias para definição de vazões mínimas garantidas em cursos de água. Tese de Mestrado, Universidade de Brasília – Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Biblioteca da UnB.

Bovee, K.D. et al, 1998. Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology. U.S. Geological Survey, Biological Resources Division Information and Technology Report USGS/BRD- 1998-0004. Colorado, p.139.

Bullock, A., Gustard, A. and Grainger, E.S., 1991. Instream Flow Requirements of Aquatic Ecology in Two British Rivers: application and assessment of the instream flow incremental methodology using the PHABSIM system. Institute of Hydrology Report 115. Great Britain Rivers Ecology, ISBN 0-948540-28-1

Collischonn, W. ; Souza, C. F. ; Freitas, G. K. ; Priante, G. R. ; Agra, S. G. ; Tassi, R., 2005 . Em busca do hidrograma ecológico. Recursos Hídricos: Jovem Pesquisador, Fortaleza: ABRH.

Curado, L. C., 2003. Indicadores de vazões mínimas de referência em sub bacias do rio Miranda. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul- Tecnologias Ambientais.

Da Silva, Luciano Meneses C. et al, 2005. Workshop sobre vazão Ecológica na ANA.

Da Silva, Luciano Meneses C., 2006, Gerente de Outorga da ANA. Apresentação na Oficina de Vazão Ecológica: Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco: 24-25 de Novembro de 2006, CBHSF.

Duke Engineering, 1999. Em Instream Flow Council, 2004. Instream Flows for Riverine Resource Stewardship. Cheyenne, Wyoming. 5400 Bishop Blvd. ISBN 0-9716743-1-0.

- Froes, Célia, 2006. Apresentação na 52ª Reunião da Câmara Técnica de Análise de Projeto do CNRH- Conselho Nacional de Recursos Hídricos. (Célia.froes@igam.mg.gov.br).
- Geo Brasil – Recursos Hídricos- Componente da Série de Relatórios sobre o Estado e Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. Resumo Executivo. MMA, ANA, PNUD. Brasília, D.F., Janeiro 2007.
- 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 de água. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba.
- Hatfield, T. and J. Bruce, 2000. Em IFC- Instream Flow Council, 2004, Instream Flows for Riverine Resource Stewardship. Cheyenne, Wyoming. 5400 Bishop Boulevard. ISBN 0-9716743-1-0.
- IFC- Instream Flow Council, 2004. Instream Flow Council, 2004, Instream Flows for Riverine Resource Stewardship. Cheyenne, Wyoming. 5400 Bishop Boulevard. ISBN 0-9716743-1-0.
- IUCN-International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 2003. The Essentials of Environmental Flows.
- Jenq-Tzong Shiau, 2004. Feasible Diversion and Instream Flow Release Using Range of Variability Approach. Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 130, No. 5, , pp. 395-404 , ([doi 10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2004\)130:5\(395\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2004)130:5(395)))
- J. Gondim, 2006. Apresentação na 51ª Reunião da CTAP – Câmara Técnica de Análise de Projetos do CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos.
- King J.M. & Louw D. 1998. Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the building block methodology. Aquatic Ecosystem Health and Restoration, 1: 109- 124.
- King J.M., Brown C.A. & Sabet H. 2003. A scenary based holistic approach to environmental flow assessments for rivers. River Research and Applications, 19: 619-640.
- Liu Changming; Men Baohui, 2007. An Ecological Hydraulic Radius Approach to Estimate the Instream Ecological Water Requirement. Progress in Natural Science, Volume 17, Issue 3 March 2007 , pages 320 - 327
- Loar, J.M., Sale, M.J., 1981. Analysis of environmental issues related to small-scale hydroelectric development. v. instream flow needs for fisheries resources. Environmental Sciences Division Publication n. 1829. Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy.
- Luz, C. Dantas, Luz, J. A. G., Amorim, F. B., Proença C. N., Pires, A. S., 2004. Vazões Mínimas e Vazões Ecológicas – Qual a Necessidade de Água em um Rio. VII Simpósio de Recursos Hídricos, São Luis.
- Luz, C. Dantas, 2006. Alterações Hidrológicas no Baixo Trecho do Rio São Francisco e Aspectos Ecológicos-Elementos para Definição de Vazões Ecológicas. VIII Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental: 17-22 de Setembro, Fortaleza, Ceará.

- Marques, M.G.; Marinez, C.B.; Canellas, A.V.B.; Pante, A.R.; Teixeira, E.D., 2003. Influência dos métodos de determinação de vazão ecológica no custo de geração de energia em aproveitamentos hidrelétricos- estudo de caso. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba, Paraná.
- Mohard, J.E., 1986. Instream Flow Methodologies. EA Engineering Science and Technology, Inc. California, USA.
- Mortari, D., 1997. Uma Abordagem geral sobre a vazão remanescente, em trechos “curto-circuitados”, de usinas hidrelétricas. In: Simpósio Brasileiro de Recursos, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Anais, p. 583-589.
- Nestler, J.M., L.T. Schneider, and D. Latka. 1993a. Physical Habitat Analysis of Missouri River mainreservoir tailwater using the Riverine Community Habitat Assessment and Restoration Concept (RCHARC). U.S. Army Corps of Engineers, Waterway Experimental Station, Technical Report EL-93-22.
- Pelissari, V. B., Sarmiento, R., Teixeira, R. L., 1999. Índices de preferência de habitat para peixes na determinação da vazão residual do Rio Timbuí. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13., 1999, Belo Horizonte, MG. Livro de Resumos BH: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1999, p.157.
- Pelissari, V. B. Vazão ecológica de rios: Estudo de caso: Rio Timbuí, Santa Teresa, ES. 2000. 151p. Dissertação de Mestrado: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, UFES.
- Pelissari, V. B., Sarmiento, R. Determinação da Demanda Ecológica para o Rio Santa Maria da Vitória, Estado do Espírito Santo. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 14. 2001. João Pessoa, PB.
- Pelissari, V. B., Sarmiento, R., Teixeira, R. L. Vazão ecológica a ser considerada no licenciamento ambiental dos sistemas de abastecimento de água. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21. 2001. João Pessoa, PB.
- Pelissari, V. B., Sarmiento, R. Vazão Ecológica para o Rio Santa Maria da Vitória, ES. V Simpósio Estadual sobre Saneamento e Meio Ambiente, 11 a 15 de agosto. 2003. Vitória, ES.
- Pelissari, V. B., Sarmiento, R. Determinação da vazão ecológica do rio Santa Maria da Vitória para caracterização da disponibilidade hídrica atual e futura da Grande Vitória. Revista Ciência e Tecnologia em Vitória – FACITEC. Vitória, Espírito Santo, Julho de 2004.
- Pennsylvania Department of Environmental Protection, 1998. Instream Flow Studies Pennsylvania and Maryland, Publication 191 A.
- Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. CBHSF, ANA, GEF, PNUMA e OEA, 2004
- Reiser ,W.D., 1989. Status of Instream Flow Legislation and Practices in North América. AFS Journal; 14:22-29
- Richter, B.D., Baumgartner, J. V., Wigington, R., R, Braun DP, 1997. How Much Water Does a River Need? Freshwater Biology. 37: 231-249.
- Sarmiento, R., Pelissari, V. B., 1999. Determinação da vazão residual dos rios: Estado da arte. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13. 1999. Belo Horizonte, MG. ABRH.

Sarmiento, R. ; Pelissari, V. B., 2005 . Metodologia para avaliar a vazão ecológica do Rio Paraíba do Sul a jusante da Usina Hidrelétrica de Funil. In: 16 Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa. 16 Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

Sarmiento, R. ; Pelissari, V. B., 2006.. Determinação da Vazão Ecológica do Rio Paraíba do Sul a jusante da Usina Hidrelétrica de Funil. In: V Simpósio Brasileiro sobre Pequenas e Médias centrais hidrelétricas, 2006, Florianópolis. V Simpósio Brasileiro sobre Pequenas e Médias centrais hidrelétricas.

Sarmiento et al, 2004-2006. Projeto P&D de Furnas intitulado “Determinação da Vazão Ecológica de Rios, Estudo de Caso: Central Hidrelétrica de Funil – Rio Paraíba do Sul”. ANEEL & Furnas.

Tharme, R.E., 2003. A Global Perspective on Environmental Flow Assessment: Emerging Trends in the Development and Application of Environmental Flow Methodologies for Rivers. *River Research and Applications*. 19: 397-441. Published online in Wiley Interscience ([www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com)).

The North Fork Shenandoah Instream Flow Study: using analytical tools for water management decisions, 1999. The North Fork Shenandoah Project. Virginia, USA.

The Nature Conservancy, 2001. Indicators of Hydrologic Alteration. User’s Manual. Disponível em <http://www.freshwaters.org/down.html>.

Texas Water Development Board, 2002. Methods for Determining Freshwater Inflow Needs of Texas Bay and Estuaries. *Estuaries*, Vol. 25, No. 6B, p.1262-1274, December.

The World Bank, 2003. Environmental Flows: Concepts and Methods. Technical Note C.1. Washington D.C.

The World Bank, 2003. Environmental Flows: Case Studies. Technical Note C.2. Washington D.C..

Washington State Department of Ecology, 2001. Setting Instream Flows in Washington State. Publication Number # 98-1813-WR.

Washington State Department of Ecology, 2004. Technical and Habitat Suitability Issues. Publication Number 04-11-07.

Washington State Department of Ecology and Washington State Department of Fish and Wildlife. Fish Habitat Analysis Using the Instream Flow Incremental Methodology. Publication Numbers: 89-035, 90-030, 92-082 95-166, 95-167, 99-151, 99-152, OFTR 99-05, 99-153, 02-11-009 e 04-11-006.