

# INFLUÊNCIA DOS MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA VAZÃO ECOLÓGICA NO CUSTO DE GERAÇÃO DE ENERGIA EM APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS – ESTUDO DE CASO

Marcelo Giulian MARQUES<sup>1</sup>; Carlos Barreira MARTINEZ<sup>2</sup>; Alba Valeria Brandão CANELLAS<sup>3</sup>; André Raymundo PANTE<sup>4</sup> & Eder Daniel TEIXEIRA<sup>4</sup>.

**Resumo** - A determinação da vazão ecológica enfoca dois aspectos: a preservação ambiental e os conflitos de uso, como a garantia às demandas dos usuários de jusante. No caso de aproveitamentos hidrelétricos, pequenas variações no valor da vazão ecológica podem acarretar grandes alterações no custo da energia gerada, podendo inclusive inviabilizar o empreendimento.

Este trabalho tem como objetivo analisar a influência dos diversos métodos de determinação da vazão ecológica no custo da energia gerada para um aproveitamento hidrelétrico localizado na região sul do Brasil.

**Abstract** - The determination of environmental flows focuses on two main aspects: environmental conservation and maintenance of minimum flows to attend water demands from downstream users. In hydroelectric power generation, small variations in environmental flows levels may bring large alterations in the energy production cost - it can even make the enterprise unfeasible.

This paper presents an analysis on how the use of different methods for environmental flows setting affects the cost of energy production in an hydroelectric power plant located in the southern region of Brazil.

**Palavras-chave** - vazão ecológica, custo da energia, aproveitamentos.

---

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul IPH/UFRGS, Av. Bento Gonçalves 9500, CEP 91501-970, Tel: +(55) 0XX51 3316 6405 Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, [mmarques@iph.ufrgs.br](mailto:mmarques@iph.ufrgs.br);

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG, Av. Antônio Carlos 6627, Campus Pampulha – CEP: 31.270-901, Tel: +(55) 0XX31 3499 4821, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. [martinez@cce.ufmg.br](mailto:martinez@cce.ufmg.br);

<sup>3</sup> Furnas Centrais Elétricas, Rua Real Grandeza 219, CEP. 22283-900 Te: +(55) 0XX21 2528-3304 6405 Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, [alba@furnas.com.br](mailto:alba@furnas.com.br) e;

<sup>4</sup> Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul IPH/UFRGS, Av. Bento Gonçalves 9500, CEP 91501-970, Tel: +(55) 0XX51 3316 6405 Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, [arpante@ppgiph.ufrgs.br](mailto:arpante@ppgiph.ufrgs.br), [engeder@ppgiph.ufrgs.br](mailto:engeder@ppgiph.ufrgs.br).

## INTRODUÇÃO

A reservação de água para usos consuntivos, por exemplo, irrigação e consumo humano e não consuntivos, como a geração de energia elétrica, acarreta impactos ao meio ambiente. Os ecossistemas são impactados pela própria alteração do regime natural de vazões, que agora é substituído por uma vazão ecológica.

A abordagem do aspecto ambiental na determinação da vazão ecológica visa a proteger os aspectos físicos, químicos e biológicos da água. A maioria dos métodos de determinação da vazão ecológica contempla apenas os aspectos físicos e químicos da água, enquanto que os modelos que contemplam aspectos biológicos geralmente concentram-se na manutenção do habitat para apenas uma ou algumas espécies-alvo, geralmente peixes.

Beecher (*apud* Lanna e Benetti, 2002), hierarquiza os objetivos da vazão ecológica quanto ao grau de proteção, da seguinte forma (do objetivo mais restritivo ao menos restritivo): restauração das condições prístinas (originais do local), não degradação com alguma restauração, não degradação, nenhuma perda líquida, fixação de percentagem de perda, nenhuma perda de diversidade genética e sobrevivência das populações.

Os primeiros métodos surgiram nas décadas de 60 e 70, baseados em análises hidrológicas e considerações hidráulicas das seções críticas dos rios. Nesta época havia pouca consideração ambiental, baseada na observação empírica dos habitats de algumas espécies de peixes, especialmente o salmão e a truta.

Na década de 80, os grandes projetos de reservatórios hidrelétricos foram gradativamente substituídos por projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs). Na mesma época surgiram os métodos de classificação de habitats, especialmente nos Estados Unidos.

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

- Métodos Hidrológicos:
  - Vazão  $Q_{7,10}$ ;
  - Curva de Permanência de Vazões;
  - Vazão mínima anual de 7 dias;
  - Método Tennant//Montana;
  - Método da Vazão Aquática de Base;
  - Método da Mediana das Vazões Mensais e;
  - Método da Área de Drenagem.
- Métodos Hidráulicos:
  - Método do Perímetro Molhado e;
  - Método das Regressões Múltiplas.

- Métodos de Classificação de Habitats:
  - Método Idaho;
  - Método do Departamento de Pesca de Washington e;
  - Método IFIM.
- Métodos Holísticos:
  - Método de construção de blocos (BBM).
- Outros Métodos:
- Vazão de Pulso e de enchentes.

Os métodos hidrológicos não analisam o aspecto ambiental, apenas presumem que a manutenção de uma vazão de referência, calculada com base em alguma estatística da série histórica, possa acarretar em benefício ao ecossistema. A principal vantagem destes métodos está na pequena quantidade de informações necessárias, em geral apenas a série histórica de vazões. Uma exceção é o método Tennant/Montana, que considera percentuais da Vazão Média de Longo Período ( $Q_{LP}$ ) necessários à biota aquática (Tennant, 1976 *apud* Lanna e Benetti, 2002).

Os métodos hidráulicos relacionam características do escoamento com necessidades da biota aquática. Estes métodos têm maior consideração ecológica que os métodos hidrológicos, mas para sua correta aplicação, os métodos hidráulicos necessitam de relações específicas para a região em estudo (Lanna e Benetti, 2002).

Os métodos de classificação de habitats e holísticos são os mais completos em termos de consideração ambiental. Contemplam várias etapas, iniciam-se com uma identificação das características físicas e ambientais do local em estudo, passam por um plano de estudo elaborado por uma equipe multidisciplinar até a análise de diferentes alternativas antes da tomada de decisão. Estes métodos podem considerar aspectos econômicos, valorando a disposição de pagar pela preservação ambiental e os benefícios gerados pelo uso da água, buscando o ponto ótimo da quantificação da vazão ecológica (Pante, 2003).

### **Metodologia para Determinação da Vazão Ecológica**

Objetivando a análise a que este trabalho se propõe no estudo de caso, utilizou-se os métodos de determinação da vazão ecológica usualmente utilizados no Brasil, quais sejam:

- Vazão  $Q_{7,10}$  e;
- Curva de Permanência de Vazões.

Também foram utilizados métodos com maior consideração ambiental, que teriam condições de serem utilizados em curto prazo, apenas com o acréscimo de algumas informações ambientais específicas da região do país considerada:

- Método Tennant//Montana;
- Método do Perímetro Molhado e;
- Método Idaho.

Nos métodos que necessitam da série histórica de vazões, foram utilizados os dados diários referentes ao período crítico, em função da maior garantia de disponibilidade hídrica para o aproveitamento hidrelétrico. Este período foi determinado pelo método de Rippl devido à sua fácil aplicação, apesar deste não considerar a evaporação no reservatório.

A seguir realiza-se uma breve descrição da metodologia adotada na determinação da vazão ecológica para cada um dos métodos acima citados.

### **Método da Vazão $Q_{7,10}$**

Trata-se de um método puramente hidrológico, que necessita somente da série histórica de vazões médias diárias. A  $Q_{7,10}$  é a vazão mínima com duração de 7 dias e tempo de retorno de 10 anos. Não se tem qualquer comprovação científica que a  $Q_{7,10}$  garanta a sustentabilidade do ecossistema. É um dos métodos utilizado no Brasil atualmente.

### **Método da Curva de Permanência de Vazões**

Este método adota uma percentagem retirada da curva de permanência extraída da série histórica de dados de vazão. Geralmente é utilizada a percentagem de 90 a 95% do tempo. Usualmente se utiliza um valor de  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  que representa o ano hidrológico para o período crítico.

A utilização de dados diários de vazões, ao invés de dados mensais, foi adotada em função da maior precisão das estatísticas hidrológicas nas vazões extremas, de onde são extraídas as vazões ecológicas, por exemplo, a  $Q_{95}$  com base na curva de permanência (Marques et al 2002). Em função da dificuldade de obtenção de dados diários preenchidos e consistidos, costuma-se utilizar dados médios mensais para determinação da curva de permanência de vazões. Esta prática acarreta um aumento aparente das vazões disponíveis para aproveitamento hidrelétrico, portanto, a garantia de suprimento dessas vazões diminui.

Este método tem as mesmas vantagens e desvantagens do método da  $Q_{7,10}$ . Muitos estados brasileiros adotam esta metodologia para determinação da vazão ecológica.

Este trabalho também analisou a situação de se determinar um valor de  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  para cada mês do ano hidrológico para o período crítico. Lanna e Benetti (2002) sugerem esta metodologia, pois retrata as variações de vazão do rio ao longo do ano, mantendo, de certa forma, o regime original de vazões.

## Método Tennant/Montana

Trata-se de método hidrológico que, além da série histórica de vazões, considera percentuais da Vazão Média de Longo Período que atendam às necessidades da biota aquática. É um método muito utilizado nos Estados Unidos. Este trabalho utilizou as recomendações de Tennant (*apud* Lanna e Benetti, 2002), segundo a tabela 1.

**Tabela 1** - Recomendação de Vazões pelo Método de Tennant para Peixes, Vida Aquática e Recreação (Fonte: Tennant, 1976 *apud* Lanna e Benetti, 2002).

Condição do Rio	Vazão Recomendada	
	Outubro – Março (seco)	Abril – Setembro (chuvoso)
“Flushing” ou máxima	200 % da vazão média anual	
Faixa ótima	60 – 100 % da vazão média anual	
Excepcional	40 %	60 %
Excelente	30 %	50 %
Boa	20 %	40 %
Regular ou em degradação	10 %	30 %
Má ou mínima	10 %	10 %
Degradação severa	10 % a zero da vazão média anual	

Para este trabalho, adotou-se como meta uma condição “boa” do rio, escolhendo-se como vazão ecológica uma fração de 30% da  $Q_{LP}$  (Vazão Média de Longo Período, ou vazão média anual) para todas as épocas do ano, já que na região do estudo não se tem estação seca e úmida bem definida, segundo a classificação de Köppen.

## Método do Perímetro Molhado

É um método hidráulico, que relaciona a vazão com o perímetro molhado nas seções consideradas críticas para a passagem de peixes. O mesmo necessita da informação de batimetria do rio, que fornece o perímetro molhado, assim como de medições de vazão. O ponto de inflexão da curva gerada corresponde à vazão ecológica. Este ponto representa a vazão acima da qual a taxa de crescimento do perímetro molhado começa a diminuir. O ponto de inflexão é extraído visualmente da curva, o que representa uma subjetividade do método.

## Método Idaho

É um método de classificação de habitats, que contempla questões ambientais. Este método tem base ecológica relacionada aos peixes migratórios. O método baseia-se no pressuposto de que habitats para espécies de peixes são perdidos a vazões reduzidas. As seções críticas para desova, desenvolvimento e passagem de peixes, são identificadas em um rio. Nestas seções críticas são medidos o perfil da seção transversal, a profundidade, a velocidade e o tipo de substrato. São construídas curvas que relacionam os parâmetros hidráulicos e descargas. Estas curvas são comparadas a critérios de habitats. A tabela 2 apresenta estes critérios de habitats para peixes migratórios da Austrália.

**Tabela 2** - Requerimentos para Criação e Desenvolvimento de Peixes em Vitória, Austrália (Fonte: Tunbridge e McMahon, 1992 *apud* Lanna e Benetti, 2002).

Espécie	Profundidade (m)	Velocidade (m/s)	Tipo de Substrato
<i>Blackfish</i>	> 0,20	0 – 0,30	Todos os tipos
Truta marron ( <i>Brown trout</i> )	> 0,20	0 – 0,50	Todos os tipos
<i>Redfin e carpa</i>	> 1,00	0 – 0,20	Lodo e areia
<i>Eel</i>	> 0,20	0 – 0,30	Todos os tipos

## Metodologia para Determinação do Custo da Energia Gerada - Estudo de Caso

Este trabalho apresenta uma avaliação da influência da vazão ecológica no custo da energia gerada em uma PCH de 10 MW na região Sul do Brasil. Nesta PCH, a casa de máquinas está distante 1 km da tomada de água, resultando um trecho dito “ensecado”, por isso, se faz necessária a manutenção de uma vazão ecológica. Este aproveitamento possui uma queda bruta de 38,5 m, vazão turbinada de 31,9 m<sup>3</sup>/s e um rendimento total do aproveitamento de 0,83.

Para a estimativa do custo de implantação foram analisados 3 cenários diferentes: 700 US\$/kW, 900 US\$/kW e 1100 US\$/kW instalado.

Com isso, busca-se generalizar as informações contidas nesse trabalho para arranjos de obras inseridos nesse intervalo de custo na região sul.

Os dados hidrológicos disponíveis para este estudo abrangem um período compreendido entre setembro 1940 e dezembro 1998. Para a determinação da energia gerada foi utilizado o período mínimo de 30 anos, conforme interpretação da Resolução 169/01 da ANEEL, determinado pelo método de Rippl. O período crítico determinado por este método está compreendido entre março de 1941 e fevereiro 71.

Para o cálculo da energia média anual foi utilizada a vazão gerada (QG) determinada através da curva de utilização, que é construída a partir da curva de permanência, descontado o valor da vazão ecológica para os diferentes métodos analisados. Nesse trabalho, optou-se por não descontar a vazão mínima de engolimento das turbinas, mesmo sabendo que esta decisão majora o benefício médio gerado. Além disso, foi considerado um fator de disponibilidade do sistema (FD) equivalente a 0,906 conforme Resolução 169/01 da ANEEL.

A receita anual foi calculada utilizando-se o valor da tarifa de venda de energia de US\$35/MWh. Este valor foi confrontado com o investimento total de implantação da obra, acrescido de valores referentes a custos de operação e manutenção da usina, taxas e impostos durante a vida útil da mesma. Ao valor do investimento foram acrescentados juros durante a construção (2 anos) de 10 % ao ano, sobre o qual foi realizada a amortização segundo o sistema PRICE. A amortização do investimento total foi estimada a uma taxa de 12 % ao ano e período de 30 anos, que corresponde ao período máximo de concessão pelo órgão regulador.

O custo médio de geração é determinado pela relação entre o custo total anual e o valor referente à venda de energia. Foram calculados os índices Benefício/Custo (B/C) e as Taxas Internas de Retorno (TIR) para verificar, de forma resumida, a viabilidade econômica do empreendimento analisado sob os diferentes métodos de determinação da vazão ecológica.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

As tabelas a seguir apresentam os resultados da aplicação das diferentes metodologias de cálculo da vazão ecológica no aproveitamento em estudo. Além disso, são apresentados os resultados do estudo energético para cada situação. Os parâmetros analisados no estudo energético são:

- QM = Vazão Média retirada da curva de permanência em  $m^3/s$ ;
- QE = Vazão Ecológica em  $m^3/s$ ;
- QG = Vazão para Geração de energia em  $m^3/s$ ;
- EMA = Energia Média Anual, função da Vazão para Geração em MW médios;
- FC = Fator de Capacidade da usina, relação da Vazão para Geração e vazão turbinada;
- CG = Custo de Geração de energia, função do investimento total e do valor de venda de energia considerado em US\$/MWh;
- B/C = Benefício/Custo, função dos custos e receitas anuais;
- TIR = Taxa Interna de Retorno

### Método da Vazão $Q_{7,10}$

A vazão  $Q_{7,10}$  foi determinada através de aplicação de média móvel sobre a série de 30 anos selecionada da série completa, realizando-se inferência estatística. Os resultados da simulação econômico-energética estão apresentados na tabela 3.

**Tabela 3** – Resultado da simulação para vazão ecológica  $Q_{7,10}$ .

Custo Implantação (US\$/kW)	QM (m <sup>3</sup> /s)	QE (m <sup>3</sup> /s)	QG (m <sup>3</sup> /s)	EMA (MWh)	FC	CG (US\$/MWh)	B/C	TIR (%)
700,00	30,92	0,50	30,42	75685	0,95	16,87	2,08	56,4
900,00						20,52	1,71	37,6
1100,00						24,03	1,46	24,7

### Método da Curva de Permanência anual

As estatísticas  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  foram extraídas da curva de permanência anual, obtida dos dados diários da série de 30 anos. Os resultados das simulações econômico-energéticas estão apresentados na tabela 4 e 5.

**Tabela 4** – Resultado da simulação para vazão ecológica  $Q_{90}$  anual.

Custo Implantação (US\$/kW)	QM (m <sup>3</sup> /s)	QE (m <sup>3</sup> /s)	QG (m <sup>3</sup> /s)	EMA (MWh)	FC	CG (US\$/MWh)	B/C	TIR (%)
700,00	30,92	6,82	24,10	59958	0,75	20,16	1,74	39,2
900,00						24,77	1,41	22,4
1100,00						29,20	1,20	10,5

**Tabela 5** – Resultado da simulação para vazão ecológica  $Q_{95}$  anual.

Custo Implantação (US\$/kW)	QM (m <sup>3</sup> /s)	QE (m <sup>3</sup> /s)	QG (m <sup>3</sup> /s)	EMA (MWh)	FC	CG (US\$/MWh)	B/C	TIR (%)
700,00	30,92	5,47	25,45	63317	0,80	19,32	1,81	43,0
900,00						23,69	1,48	25,8
1100,00						27,88	1,26	13,8

## Método da Curvas de Permanência Mensais

As estatísticas  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  foram determinadas para cada mês do ano hidrológico, a partir de curvas de permanência mensais obtidas dos dados diários da série de 30 anos. A partir das Vazões para Geração de energia mensais ( $QG_m$ ), foram calculadas as Energias Médias Mensais (EMM) em MW médios conforme tabelas 6 e 7.

**Tabela 6** – Energias Médias Mensais para vazão ecológica  $Q_{90}$ .

Mês	QM (m <sup>3</sup> /s)	QE (m <sup>3</sup> /s)	QG (m <sup>3</sup> /s)	EMM (MWh)	FC	Mês	QM (m <sup>3</sup> /s)	QE (m <sup>3</sup> /s)	QG (m <sup>3</sup> /s)	EMM (MWh)	FC
<b>Jan</b>	28,84	4,71	24,13	5004	0,76	<b>Jul</b>	29,75	8,25	21,51	4460	0,67
<b>Fev</b>	27,92	5,47	22,45	4655	0,70	<b>Ago</b>	30,36	10,18	20,19	4186	0,63
<b>Mar</b>	29,53	6,49	23,04	4778	0,72	<b>Set</b>	29,38	13,07	16,32	3384	0,51
<b>Abr</b>	28,55	6,17	22,38	4641	0,70	<b>Out</b>	28,44	14,01	14,43	2992	0,45
<b>Mai</b>	17,59	5,21	12,38	2568	0,39	<b>Nov</b>	27,71	7,85	19,86	4119	0,62
<b>Jun</b>	30,23	5,93	24,30	5040	0,76	<b>Dez</b>	29,19	5,00	24,19	5015	0,76

**Tabela 7** – Energias Médias Mensais para vazão ecológica  $Q_{95}$ .

Mês	QM (m <sup>3</sup> /s)	QE (m <sup>3</sup> /s)	QG (m <sup>3</sup> /s)	EMM (MWh)	FC	Mês	QM (m <sup>3</sup> /s)	QE (m <sup>3</sup> /s)	QG (m <sup>3</sup> /s)	EMM (MWh)	FC
<b>Jan</b>	28,84	3,63	25,21	5228	0,79	<b>Jul</b>	29,75	6,49	23,27	4825	0,73
<b>Fev</b>	27,92	4,39	23,53	4879	0,74	<b>Ago</b>	30,36	5,64	24,72	5126	0,77
<b>Mar</b>	29,53	4,90	24,62	5106	0,77	<b>Set</b>	10,91	29,38	18,47	3830	0,58
<b>Abr</b>	28,55	5,26	23,29	4830	0,73	<b>Out</b>	10,80	28,44	17,63	3657	0,55
<b>Mai</b>	17,59	4,18	13,41	2721	0,42	<b>Nov</b>	6,49	27,71	21,22	4400	0,66
<b>Jun</b>	30,23	5,26	24,97	5179	0,78	<b>Dez</b>	4,39	29,19	24,80	5142	0,78

No estudo econômico-energético, foram somados os valores de Energia Média Mensal para determinação dos índices econômicos anuais (B/C e TIR), conforme tabelas 8 e 9.

**Tabela 8** – Resultado da simulação para vazão ecológica  $Q_{90}$  mensal.

Custo Implantação (US\$/kW)	EMA (MWh)	CG (US\$/MWh)	B/C	TIR (%)
700,00	50839	24,92	1,40	22,0
900,00		30,92	1,13	6,2
1100,00		36,69	0,95	0,0

**Tabela 9** – Resultado da simulação para vazão ecológica  $Q_{95}$  mensal.

Custo Implantação (US\$/kW)	EMA (MWh)	CG (US\$/MWh)	B/C	TIR (%)
700,00	54982	23,37	1,50	26,9
900,00		28,92	1,21	11,2
1100,00		34,25	1,02	0,0

### Método Tennant/Montana

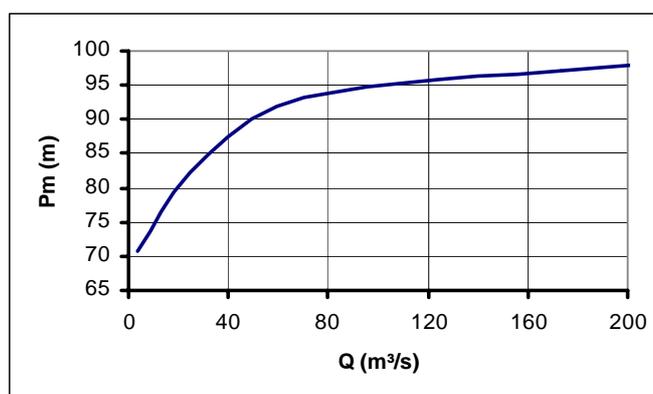
Foi utilizada 30 % da Vazão Média de Longo Período (QLP) para determinação da vazão ecológica. Da série de 30 anos adotada, obteve-se QLP de 38,42 m<sup>3</sup>/s. Os resultados da simulação econômico-energética estão apresentados na tabela 10.

**Tabela 10** – Resultado da simulação para vazão ecológica calculada pelo método Tennant/Montana.

Custo Implantação (US\$/kW)	QM (m <sup>3</sup> /s)	QE (m <sup>3</sup> /s)	QG (m <sup>3</sup> /s)	EMA (MWh)	FC	CG (US\$/MWh)	B/C	TIR (%)
700,00	30,92	11,53	19,39	48250	0,61	24,00	1,46	24,8
900,00						29,73	1,18	9,2
1100,00						35,24	0,99	0,0

### Método do Perímetro Molhado

Foi utilizada uma única seção, considerada crítica, localizada logo a jusante do barramento em estudo da qual se dispunha previamente de batimetria detalhada. Construiu-se a curva relacionando vazão vs. perímetro molhado da qual foi extraído o valor da vazão ecológica correspondente ao ponto de inflexão da curva. O valor obtido foi 40 m<sup>3</sup>/s, conforme apresentado na figura 1.



**Figura 1** – Curva Vazão vs. Perímetro Molhado

Em virtude do elevado valor da vazão ecológica não é necessário o estudo de viabilidade econômico-energética, tendo em vista que já é prevista a não viabilidade do empreendimento (Martinez et al, 2002). Comparando-se o valor da vazão ecológica obtida pelo método com a QLP, nota-se que na maior parte do tempo essa vazão não é atendida nem pelo próprio regime natural de vazões do rio. Conforme Lanna e Benetti (2002) este método é aplicável a rios com grande largura e pequena profundidade, o que não corresponde à configuração do caso em estudo. Portanto, este estudo se prestou somente para confirmação da limitação do método, o que não inviabiliza sua utilização em situações de topografia aplicável ao método.

### Método Idaho

Foi utilizada a seção crítica para elaboração da curva-chave. Pela carência de estudos de critérios de habitats para peixes migratórios brasileiros, escolheu-se, neste trabalho, a truta marrom como espécie-alvo, que é um peixe migratório assim como o dourado, espécie comum no sul do Brasil. A vazão ecológica foi extraída da curva-chave a partir da profundidade mínima exigida pela truta marrom conforme tabela 2. A vazão ecológica resultou em 1,95 m<sup>3</sup>/s. A partir da rugosidade e declividade estimadas para o rio, verificou-se a velocidade correspondente à vazão ecológica determinada, resultando em 0,22 m/s. Este valor de velocidade está na faixa aceitável para esta espécie, conforme tabela 2. Os resultados da simulação econômico-energética estão apresentados na tabela 11.

**Tabela 11** – Resultado da simulação para vazão ecológica calculada pelo método Idaho.

Custo Implantação (US\$/kW)	QM (m <sup>3</sup> /s)	QE (m <sup>3</sup> /s)	QG (m <sup>3</sup> /s)	EMA (MWh)	FC	CG (US\$/MWh)	B/C	TIR (%)
700,00	30,92	1,95	28,97	72076	0,91	17,50	2,00	52,6
900,00						21,33	1,64	34,3
1100,00						25,02	1,40	21,7

### CONCLUSÃO FINAL

A escolha da utilização de um método de determinação da vazão ecológica deve contemplar aspectos ambientais e econômicos. A melhor análise de tomada de decisão para escolha do método a ser utilizado deve valorar os aspectos ambientais, para encontrar o valor ótimo da vazão ecológica. Esta valoração deve ser realizada através de uma análise de valor contingente, que avalia

a disposição da sociedade pela manutenção das condições ambientais, visto que esta implica em custos.

Nesse trabalho foram comparados os métodos utilizados quanto às suas considerações ambientais de forma qualitativa e viabilidade econômica, expressa através do custo de geração de energia, da relação benefício/custo e da taxa interna de retorno.

O método da  $Q_{7,10}$  apresenta a maior viabilidade do ponto de vista econômico, como era de se esperar, por ser o método que implica em menor vazão ecológica. Conforme já comentado, este método não possui qualquer consideração ambiental.

O método da curva de permanência anual também é de pouca consideração ambiental apresentando alta viabilidade. Já o método da curva de permanência mensal procura representar o regime natural de vazões no rio, que o torna mais vantajoso no aspecto ambiental em relação ao método anual. Entretanto, a viabilidade econômica deste método é menor. Cabe salientar que o método da curva de permanência anual é utilizado na maioria dos estados brasileiros como critério de licenciamento pelo poder público.

Outros dois métodos que consideram de forma mais expressiva os aspectos ambientais, Tennant/Montana e Idaho, apresentaram Taxa Interna de Retorno da ordem de 9 e 34 %, respectivamente (para custo de implantação de US\$/kW 900,00). Deve ser lembrado que no método Idaho foi considerada a necessidade de uma espécie exótica, portanto, a vazão ecológica pode estar subestimando as necessidades da biota do local em estudo. Pelo exposto fica claro que estes métodos tem possibilidades de serem utilizados na realidade brasileira, bastando para isso aprofundamento nos estudos das necessidades dos ecossistemas locais. Nesse sentido, convém citar o método IFIM (Instream Flow Incremental Method), que é considerado o estado-da-arte em termos de metodologias de determinação da vazão ecológica mas que não é ainda aplicado no Brasil pela falta de informações (Sarmiento e Pelissari, 1999).

A consideração dos aspectos ambientais em um método de determinação de vazão ecológica não leva, necessariamente, a valores excessivamente altos desta vazão, como pode ser observado na aplicação do método Idaho no estudo de caso apresentado. Este método, chegou a um valor de vazão ecológica inferior ao método da curva de permanência anual, por exemplo, que é largamente utilizado no Brasil. O conhecimento dos aspectos físicos e ambientais do curso d'água e da região em estudo é essencial para a determinação de uma vazão ecológica que, sendo realista, possibilita a preservação ambiental aliada à utilização dos recursos hídricos em prol da melhoria da qualidade de vida do ser humano.

É importante destacar que, somente a manutenção da vazão ecológica não garante o equilíbrio do ecossistema local. Outras medidas estruturais devem ser adotadas em conjunto de forma a garantir, quando necessário, a continuidade do fluxo de espécies, tais como escadas de peixes,

especialmente em rios onde se observa a presença de peixes migratórios, de forma a garantir a piracema.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Lanna, A.E.L.; Benetti, A.D. 2002. Estabelecimento de Critérios para Definição da Vazão Ecológica no Rio Grande do Sul: Relatório Final. Fundação Estadual de Proteção Ambiental - FEPAM. Porto Alegre/RS.
- Martinez, C.B., Endres, L.A.M., Marques, M.G. 2002. A Influência da Vazão Ecológica no Custo de Energia Gerada em PCH's. III Simpósio Brasileiro sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas. Foz do Iguaçu/PR.
- Marques, M.G., Teixeira, E.D., Martinez, C.B., Endres, L.A.M. E Versiani, B.R. 2002. Influência dos Métodos de Análise para Determinação da Energia Assegurada. Um Estudo de Caso. III Simpósio Brasileiro Sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas. Foz do Iguaçu/PR.
- Pante, A.R. 2003. Vazão Ecológica – Métodos de Determinação e a Situação Atual no Brasil. Não publicado.
- Sarmiento, R.; Pelissari, V.B. 1999. Determinação da Vazão Residual dos Rios: Estado-da-Arte. Anais:: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH. Belo Horizonte/MG.