

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA - IEE**

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM  
GESTÃO AMBIENTAL E NEGÓCIOS NO SETOR ENERGÉTICO**

**ALTERAÇÕES TECNOLÓGICAS  
A SEREM IMPLEMENTADAS EM USINAS HIDROELÉTRICAS,  
OBJETIVANDO MELHORAR A CONVIVÊNCIA COM OS PEIXES**

**KLAUS PETER HEINLEIN, ENGENHEIRO  
MIGUEL ANGELO FACCHINI DOURADOR, ENGENHEIRO**

**SÃO PAULO**

**2009**

KLAUS PETER HEINLEIN  
MIGUEL ANGELO FACCHINI DOURADOR

**ALTERAÇÕES TECNOLÓGICAS  
A SEREM IMPLEMENTADAS EM USINAS HIDROELÉTRICAS,  
OBJETIVANDO MELHORAR A CONVIVÊNCIA COM OS PEIXES**

Monografia para conclusão do Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios do Setor Energético do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo.

Orientador : Prof. LINEU BELICO DOS REIS

SÃO PAULO  
2009

Autorizamos a reprodução do conteúdo deste trabalho desde que citadas as fontes e referências ao mesmo e aos respectivos pontos de pesquisa mencionados neste.

KLAUS PETER HEINLEIN  
MIGUEL ANGELO FACCHINI DOURADOR

**ALTERAÇÕES TECNOLÓGICAS  
A SEREM IMPLEMENTADAS EM USINAS HIDROELÉTRICAS,  
OBJETIVANDO MELHORAR A CONVIVÊNCIA COM OS PEIXES**

Monografia aprovada em 26 / maio / 2009

---

Prof. Orientador : Prof. LINEU BELICO DOS REIS

---

Prof. Aprovador : Prof. OSWALDO LUCON

---

Prof. Aprovador : Prof. DJALMA CASELATO

SÃO PAULO  
2009

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu filho Pedro Henrique que pertence a esta nova geração de pessoas, mais preocupado com o meio ambiente e os seres vivos que o compartilham, que fará do nosso mundo um lugar melhor para se viver. Lembro que ele sempre me repreende quando me observa matando uma formiga, aranha, vespa, seja inseto, ou outra espécie qualquer. Para nós é apenas uma reação instintiva, porém, esquecemos que estes também tem sua função no delicado equilíbrio ecológico. Quando, na minha geração foi introduzida no colégio a matéria “ecologia”, minha mãe achou que era algo desnecessário, hoje já ensinam a necessidade de manter o ecossistema intocado, ou o mais completo possível.

*Klaus*

---

Dedico este trabalho a meu filho Guilherme, que soube compreender os longos períodos de minha ausência, não obstante estar sempre me perguntando a respeito do curso, com os mais variados questionamentos, baseado em sua aguçada e ingênua curiosidade infantil.

Pelo que tem demonstrado ao longo dos seus dez anos de idade, tenho a certeza de que ele será um exemplo de defensor do meio ambiente.

*Miguel*

---

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a colaboração dos Srs. Richard Fisher e Wolfgang Heine, pela disponibilização de arquivos e uso de fotos da empresa Voith Inc./ USA, hoje denominada Voith Siemens Hydro Power Generation.

Agradecemos ao Professor Lineu Bélico dos Reis, nosso orientador no desenvolvimento do texto deste trabalho.

Agradeço a minha esposa Ângela (esposa do Klaus) que foi minha principal incentivadora para realização deste curso. Inclusive pelo constante apoio e sugestões de melhoria do conteúdo no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço minha esposa Mônica (esposa do Miguel) pela compreensão e entendimento durante tantas horas de minha ausência do convívio familiar dedicadas às aulas, provas, estudos e elaboração da monografia do curso, que, mesmo trabalhando externamente, sempre soube educar com muita dedicação e, de maneira exemplar o nosso filho Guilherme.

Agradeço a empresa Voith Siemens Hydro Power Generation Ltda / Brasil, da qual sou funcionário, pelo patrocínio do curso de Gestão Ambiental. ( *Klaus* )

Agradecemos aos colegas que trabalham com hidroelétricas, que se auto-intitulam “barrageiros” por terem influenciado e contagiado estes autores pelo empolgante assunto de hidroelétricas, nas suas mais variadas ramificações.

Agradecemos aos colegas de turma, professores, palestrantes e organizadores do curso de Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético, do IEE / USP turma 2007-2008, pelas amizades desenvolvidas nos meses de convívio, e por tudo que pudemos aprender no decorrer do curso.

Agradecemos a Professora Susana Barbosa pelas orientações de como executar a versão documentada desta monografia.

## RESUMO

Avaliando-se a matriz energética brasileira, pode-se afirmar que a geração de energia elétrica no país é majoritária por geração hidroelétrica. O Brasil ainda dispõe de grande reserva hídrica não explorada, que é uma energia limpa, barata e renovável. Toda hidroelétrica está associada a uma represa, conseqüentemente, existe a construção de uma barragem interrompendo o curso natural dos rios. A barragem afeta o ambiente, dividindo as águas e modificando suas características naturais. Este estudo visa apresentar as possibilidades que a tecnologia atual oferece para melhorar o convívio entre usinas hidroelétricas e a principal espécie que habita os rios, os peixes. Há uma crença popular que os peixes são sugados para dentro das máquinas, onde são moídos. Aqui serão abordadas diversas pesquisas realizadas por órgãos dos Estados Unidos da América, que avaliam e estudam o que ocorre com os peixes quando passam pelo interior das turbinas, no sentido montante- jusante, em operação. Relatar as metodologias científicas e estatísticas utilizadas naqueles estudos para avaliação de danos físicos, as lesões e taxas de mortandade causadas aos peixes durante este processo. Pretende-se demonstrar, quais são as principais melhorias tecnológicas e modificações de projetos mecânicos nas turbinas de baixa queda, as chamadas turbinas *fish friendly*, as quais foram desenvolvidas para aumentar a taxa de sobrevivência dos peixes durante a passagem pelo seu interior. Será abordada também a migração de peixes em direção a montante, ou seja, no sentido rio acima. Estas transposições ocorrem necessariamente por meios artificiais paralelos às barragens, tais como: canais, elevadores ou escadas de peixes.

Palavras-chave : usina hidroelétrica, turbinas, peixes, turbinas *fish-friendly*.

## **ABSTRACT**

Analyzing the Brazilian Electrical Power Source matrix, can be observed that the major part has its origin by hydroelectric generation. Brazil has yet available an enormous hydro potential, which is a cheap, clean and renewable energy possibility. All hydroelectric power plants needs an water reservoir and so will happen an interruption of the natural river flow by the construction of a dam. The dam affects the environment, by dividing the waters, changing its natural characteristics. This document will describe what kind of technologies actually available can be used to minimize the impact of a dam at the most important river natural species, the fishes. There is a popular believe that the fishes are sucked inside the turbines and smashed. Here are reproduced parts of analyses and biological studies executed in the United States that study and evaluate what really happens with the fishes that travel downstream passing inside a turbine in operation. The methodology of this analyses, its survive rate and real injuries. Explain what kind of changes did be made in low head turbines to increase these surviving conditions, the so called fish friendly turbines, also comparative results at trial fishes send inside the turbines. Upstream fish traveling are also related. For this purpose, a kind of parallel way by-passing the dam must be constructed, the so called fish ladders or similar.

**Keywords:** hydro power plant, turbine, fish, fish friendly turbines.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 : Matriz de oferta de energia elétrica brasileira em porcentual.....	17
Figura 2.: Vista da Usina Hidroelétrica de Nova Ponte / CEMIG / MG.....	28
Figura 3: Possibilidades de tipos de turbina segundo quedas e vazões.....	30
Figura 4. Esquematização de Rotor Pelton com conjunto distribuidor e bicos injetores.	31
Figura 5 : Foto de Rotor Pelton.....	32
Figura 6: Corte esquemático de uma turbina FRANCIS .....	33
Figura 7 : Foto de um Rotor Francis .....	33
Figura 8 : Corte esquemático de uma turbina Kaplan .....	34
Figura 9 : Foto de um Rotor Kaplan.....	35
Figura 10 :Corte esquemático de uma turbina de eixo horizontal tipo Bulbo .....	36
Figura 11 : Foto de um Rotor Bulbo.....	36
Figura 12 : Detalhe do vão entre pá e ogiva em Kaplan convencional, na posição aberta.	41
Figura 13 : Esquema conceitual das 3 esferas concêntricas.....	42
Figura 14 : Roda Kaplan convencional com pás em posição fechada - pouca vazão turbinada.....	44
Figura 15 : Roda Kaplan convencional com pás em posição aberta - grande vazão turbinada.....	44

Figura 16 : Kaplan MGR com pás em posição fechada - pouca vazão turbinada.....	45
Figura. 17 : Kaplan MGR com pás em posição aberta - grande vazão turbinada.....	45
Figura 18 : Corte comparativo entre perfil da roda da turbina convencional existente e o modelo reformado projetado do tipo MGR.....	47
Figura 19 : Detalhe da alteração do perfil do aro câmara.....	47
Figura 20 : Croqui do corte central da máquina de Wanapum.....	48
Figura 21 : Peixe tagueado.....	56
Figura 22 : Detalhes ilustrativos da usina de Bonneville.....	60
Figura 23 : Estudos em CFD - análise computacional de fluídos, para Bonneville.....	62
Figura 24 : Esquema de tubulação para lançamento localizado em Bonneville.....	63
Figura 25 : Localização dos lançamentos dentro das turbinas e dos peixes de controle durante estudo biológico em Bonneville.....	64
Figura 26 : Comparativo de taxas de mortandade entre turbina convencional versus tipo MGR.....	65
Figura 27 : Distribuição porcentual de tipos de lesões nos peixes, comparando-se ambos os tipos de turbina - convencional versus MGR.....	65
Figura 28 : Fotos ilustrativas de Wanapum.....	67
Figura 29 : Foto do Vertedouro de Bonneville.....	75
Figura 30 : O primeiro modelo de peixe falso desenvolvido pelo PNNL.....	78

Figura 31 : Foto do modelo novo de peixe falso.....	78
Figura 32 : Demonstração do ciclo de variação de pressão à que são submetidos peixes durante a passagem pelo interior de uma turbina Kaplan.....	81
Figura 33 : Demonstração do ciclo de variação de pressão à que são submetidos peixes durante a passagem pelo interior de uma Bulbo de eixo horizontal.....	84
Figura 34 : Detalhe do Canal de Piracema de Itaipu .....	90
Figura 35 : Diferença do percurso na escada de peixes de acordo com o tipo de peixe.....	92
Figura 36 : Escada de peixes da Usina Hidroelétrica de Peixe / ENERPEIXE / Tocantins, Brasil.....	94
Figura 37 : Fotos do elevador de peixes da Usina Hidroelétrica de Funil / CEMIG / Minas Gerais, Brasil.....	99
Figura 38 : Rio Snake, localização das barragens que se pretende remover.....	109
Figura 39 : Fotos ilustrativas destas barragens.....	109

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 : Matriz de energia elétrica brasileira por quantidade de usinas e tipo.....	15
Tabela 2 : Matriz de oferta de energia elétrica em GWh.....	16
Tabela 3 : Recursos hidráulicos brasileiros, existentes versus aproveitados.....	18
Tabela 4 : Taxas de sobrevivência para diferentes condições nas turbinas originais.....	70
Tabela 5 : Levantamento estatístico das taxas de sobrevivência em Wanapum.....	72
Tabela 6 : Tabela estatística de peixes sem qualquer tipo de dano físico e sem observação de perda de equilíbrio, em Wanapum.....	74

## **SUMÁRIO**

1.	GESTÃO AMBIENTAL E A NECESSIDADE DE AMPLIAR A OFERTA DE ENERGIA ELÉTRICA.....	15
1.1	Introdução .....	15
1.2	Gestão Ambiental para implantação de novas hidroelétricas .....	19
1.3	Ecosistemas Aquáticos - interrupção de habitat por barragens.....	20
1.4	Peixes Migratórios.....	22
1.5	Peixes em conflito com Barragens .....	23
1.6	Sínteses .....	25
2.	ESTRUTURAS DE UMA HIDROELÉTRICA .....	27
2.1	Introdução .....	27
2.2	Termos técnicos em Hidroelétricas .....	27
2.3	Instalações de Hidroelétricas por onde flui água.....	29
2.3.1	Tipos de Turbinas .....	30
2.3.1.1	Turbinas Pelton.....	31
2.3.1.2	Turbinas Francis.....	32
2.3.1.3	Turbinas Kaplan .....	34
2.3.1.4	Turbinas Bulbo .....	35
2.3.2	Tipos de Vertedouros.....	37
2.3.2.1	Vertedouros de superfície com comportas .....	37
2.3.2.2	Vertedouros de superfície com crista livre .....	37
2.3.2.3	Vertedouros ou descarregadores de fundo .....	37
2.4	Desenvolvimento de turbinas “Fish Friendly” .....	38
2.4.1	Introdução .....	38
2.4.2	Desenvolvimento do projeto da turbina “Fish Friendly”.....	39
2.4.3	Projeto da turbina “Fish Friendly” da empresa Voith.....	42
3.	PEIXES SE DESLOCANDO NO SENTIDO JUSANTE.....	49
3.1	Introdução .....	49
3.2	Fatores que causam danos diretos aos peixes durante o trajeto dentro da turbina. 50	
3.2.1	De origem mecânica .....	50
3.2.2	De origem por força do fluído .....	51
3.3	Fatores que causam danos indiretos aos peixes durante o trajeto dentro da turbina52	
3.4	Monitoramento em Peixes que passam pelo interior das turbinas.....	53
3.4.1	Metodologia & Sensores.....	53
3.4.2	Resultados comparativos com turbinas tipo “Fish Friendly”.....	60

3.4.2.1 Hidrelétrica de Bonneville .....	60
3.4.2.2 Hidrelétrica de Wanapum .....	67
3.4.2.3 Resultados em vertedouros .....	74
3.4.3 Peixes falsos - “the sensor fish” .....	76
3.4.4. Variações de pressão as quais são submetidos os peixes .....	79
3.4.4.1 Simulações em laboratório de variações de pressão.....	79
3.4.4.1.1 O equipamento.....	79
3.4.4.1.2 Simulações para estudo de efeitos em peixes.....	80
3.4.4.1.3 Simulações em passagens por maquinas tipo Bulbo.....	83
4. PEIXES SE DESLOCANDO NO SENTIDO MONTANTE.....	85
4.1 Legislações no Brasil sobre sistemas de transposição de peixes.....	87
4.2 Por canais paralelos.....	89
4.2.1 O exemplo de Itaipu - Binacional Brasil Paraguai.....	89
4.3 Por escadas de peixe.....	91
4.3.1 Tipos de Escadas de Peixes.....	91
4.3.2 O problema das escadas de peixe no Brasil : armadilhas ecológicas ? .....	94
4.4 Elevadores de peixes.....	98
4.4.1 O exemplo da Usina Hidroelétrica de Porto Primavera.....	98
4.4.2 O exemplo da Usina Hidroelétrica de Funil .....	98
4.5 Coleta e Devolução.....	100
4.6 Canal de Fuga - caminho sem saída.....	100
4.6.1 Exigências do Órgão Ambiental ao Empreendedor durante operações das unidades em hidroelétricas.....	101
5. O ESTUDO DE CASO DAS USINAS DO RIO SNAKE, NOS USA .....	104
5.1 Histórico .....	104
5.2 Discurso em favor da remoção das barragens .....	105
5.3 Discurso em favor das barragens .....	106
5.4 Fatos .....	107
CONCLUSÃO .....	110
REFERÊNCIAS.....	113

# 1. GESTÃO AMBIENTAL E A NECESSIDADE DE AMPLIAR A OFERTA DE ENERGIA ELÉTRICA

## 1.1 Introdução

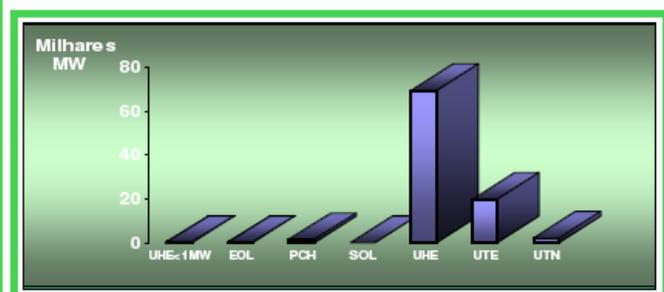
A necessidade do aumento de oferta de energia elétrica para os próximos anos é um fator importante à realidade brasileira, bem como no restante do mundo, diretamente vinculado ao aumento populacional e indiretamente ao aumento da renda dos consumidores existentes, permitindo assim um aumento de consumo.

Segundo estimativas do Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica para o período 2007-2016 realizado pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE, órgão do Ministério de Minas e Energia - MME, deve-se considerar um crescimento de 4,9% ao ano da economia brasileira até 2016. Inclusive, prevendo-se a queda na participação da energia hidroelétrica na matriz brasileira, dos atuais 84% para 76%. Também, a participação da energia proveniente de fontes termoelétricas subirá, no mesmo período, de 16% para 24% (AGÊNCIA BRASIL, 2007).

Conforme o mesmo estudo do EPE, a capacidade total de energia elétrica instalada no BRASIL era de 92.389MW (dados de setembro de 2005), distribuídos em sete tipos de geração.

A tabela e o gráfico abaixo mostram a composição da matriz de energia elétrica brasileira, com destaque para as usinas hidroelétricas e térmicas (ver legenda das siglas mais adiante).

Empreendimentos em Operação			
Tipo	Quantidade	Potência Instalada (MW)	%
UHE<1MW	181	95	0,10
EOL	11	29	0,03
PCH	256	1.305	1,41
SOL	1	0	0,00
UHE	147	69.223	74,92
UTE	836	19.730	21,36
UTN	2	2.007	2,17
<b>Total</b>	<b>1.434</b>	<b>92.389</b>	<b>100</b>



OBS: Informação obtida no site da ANEEL - BIG (Banco de Informações de Geração) - Setembro de 2005

Tabela 1 : Matriz de energia elétrica brasileira por quantidade de usinas e tipo.

Fonte : MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, “Plano decenal de Expansão da Transmissão da Região Sudeste/Centro-Oeste e Acre/Rondônia 2006-2015” – pág.8 - Tabela 2.1.2 – Matriz energética - Setembro de 2005.

Legenda com as siglas utilizadas na tabela:

UHE – Usina Hidroelétrica

UTE – Usina Termoelétrica

EOL – Central Geradora Eólica

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

SOL – Central Geradora Solar Fotovoltaica

UTN – Usina Termonuclear

Considerando-se esta fonte de dados, ou outra, como o Balanço Energético Nacional - BEN, no seu anexo “MATRIZ DE OFERTA DE ENERGIA ELÉTRICA (GWh e %) ” de 2007, reproduzido abaixo, é nítido que a predominância nacional para geração de energia elétrica, é de origem por geração em hidroelétricas.

### **MATRIZ DE OFERTA DE ENERGIA ELÉTRICA (GWh e %)**

ESPECIFICAÇÃO	GWh		07/06 %	Estrutura (%)	
	2006	2007(a)		2006	2007
HIDRO	348.805	374.015	7,2	75,7	77,4
NUCLEAR	13.754	12.350	-10,2	3,0	2,6
GÁS NATURAL	18.258	15.497	-15,1	4,0	3,2
CARVÃO MINERAL	7.222	6.792	-6,0	1,6	1,4
DERIVADOS DE PETRÓLEO	12.374	13.333	7,8	2,7	2,8
BIOMASSA	14.959	18.104	21,0	3,2	3,7
GÁS INDUSTRIAL	3.964	4.492	13,3	0,9	0,9
IMPORTAÇÃO	41.164	38.832	-5,7	8,9	8,0
<b>TOTAL</b>	<b>460.500</b>	<b>483.415</b>	<b>5,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Notas: (a) inclui autoprodutores - 47,1 TWh; (b) biomassa inclui 559 GWh de eólica em 2007

Tabela 2 : Matriz de oferta de energia elétrica em GWh.

Fonte : MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - BEN 2007

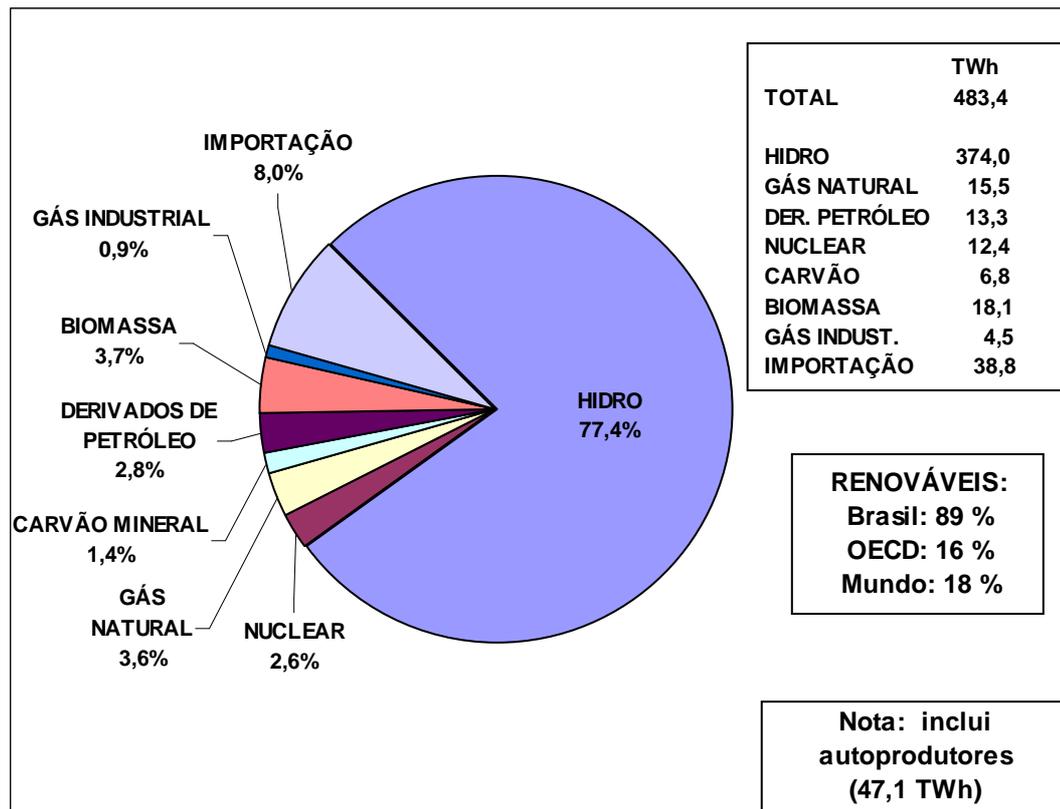


Figura 1 : Matriz de oferta de energia elétrica brasileira em porcentual

Fonte : MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, extraída do BEN 2007

O grande potencial hidroelétrico brasileiro foi desenvolvido e ampliado nas últimas décadas devido a existências de grandes rios e bacias hidrográficas, com abundância de água. Além do que, o país não dispõe de grandes recursos naturais de combustíveis fósseis. Os combustíveis fósseis têm levado vantagem no atendimento localizado, em sistemas isolados, nos quais, ainda hoje, apresentam papel preponderante. A vantagem comparativa da hidroelétrica em relação aos combustíveis fósseis e/ou de centrais nucleares para geração de eletricidade, além de se tratar de uma fonte limpa e renovável, a geração por hidroelétrica constitui atualmente uma área de pleno domínio e autonomia da indústria nacional. Diferentemente da indústria para termoeletricidade, nuclear, eólica ou fotovoltaica, as quais dependem de importação dos equipamentos necessários. O vasto potencial hidroelétrico existente no país, ainda não explorado, constitui uma importante fonte de riqueza para o desenvolvimento nacional, não permitindo que se menospreze sua importância.

Vide tabela extraída do BEN - 2007 a seguir :

RECURSOS HIDRÁULICOS (*)			UNIDADE: MW
ANO	INVENTARIADO + APROVEITADO	ESTIMADO	TOTAL
1970/79	36.977	42.370	79.347
1980/85	66.470	40.100	106.570
1986/90	75.766	51.778	127.543
1991/92	77.200	51.800	129.000
1993/94	82.686	51.800	134.486
1995/2005	92.880	50.500	143.380
2006/2007	112.200	26.200	138.400

(\*) Energia firme

Tabela 3 : Recursos hidráulicos brasileiros, existentes versus aproveitados.

Fonte : MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, extraído do BEN 2007.

A ELETROBRÁS desenvolveu o SISTEMA DE INFORMAÇÕES DO POTENCIAL HIDROELÉTRICO BRASILEIRO – **SIPOT**, com o objetivo de armazenar e processar informações sobre estudos e projetos de usinas hidrelétricas.

Segundo a ELETROBRÁS, o potencial hidroelétrico brasileiro é composto pela soma da parcela do potencial estimado (remanescente + individualizado) com a do potencial inventariado (EXTRANET / ELETROBRÁS, 2008 ).

As definições dos termos utilizados no **SIPOT** estão reproduzidas a seguir:

- **Remanescente** - resultado de estimativa realizada em escritório, à partir de dados existentes, sem qualquer levantamento complementar, considerando um trecho do curso d'água, via de regra situado na cabeceira, sem determinar o local de implantação do aproveitamento;
- **Individualizado** - resultado de estimativa realizada em escritório para um determinado local, à partir de dados existentes ou levantamentos expedidos, sem qualquer levantamento detalhado;
- **Inventário** - resultado de estudo da bacia hidrográfica, realizado para a determinação do seu potencial hidroelétrico através da escolha da melhor alternativa de divisão de queda, caracterizada pelo conjunto de aproveitamentos compatíveis entre si, e com projetos desenvolvidos de forma a obter uma avaliação da energia disponível, dos impactos ambientais e dos custos de implantação dos empreendimentos;

- **Viabilidade** - resultado da concepção global do aproveitamento, considerando sua otimização técnico econômica, compreendendo o dimensionamento das estruturas principais e das obras de infra-estrutura local, a definição da respectiva área de influência, do uso múltiplo da água e dos efeitos sobre o meio ambiente;
- **Projeto Básico** - aproveitamento detalhado, com orçamento definido, em profundidade que permita a elaboração dos documentos de licitação das obras civis e do fornecimento dos equipamentos eletromecânicos;
- **Construção** - aproveitamento que teve suas obras iniciadas, sem nenhuma unidade geradora em operação;
- **Operação** - aproveitamento que dispõe de, pelo menos uma unidade geradora em operação.

Obs.: os aproveitamentos somente são considerados nos estágios "inventário", "viabilidade" ou "projeto básico" se os respectivos estudos tiverem sido aprovados pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.

## 1.2 Gestão Ambiental para implantação de novas hidroelétricas

Para qualquer implantação de projeto, especificamente instalação para geração de energia, ou sua Linha de Transmissão, é necessário pela legislação brasileira realizar Estudo de Impacto Ambiental - EIA, e Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, e conseguir o Licenciamento Ambiental.

No caso das hidroelétricas, aqui em avaliação, tem-se implicações de ordem ambiental, com destaque para a área inundada pelos reservatórios, suas conseqüências sobre o meio físico-biótico e sobre as populações atingidas. As preocupações com essas questões são agravadas pelo fato de que, a maior parte do potencial remanescente no Brasil para implantação de hidroelétricas está localizado em áreas de condições sócio-ambientais delicadas, sobretudo na região da Amazônia, em áreas de vasta biodiversidade, muitas vezes com fauna e flora ainda desconhecidos.

Na situação atual, o licenciamento ambiental de projetos hidroelétricos no Brasil ainda é problemático e demorado. O processo está evoluindo, em fase de alteração e melhoria.

Para melhor entendimento dos fatores complicadores sugere-se consulta ao documento do Banco Mundial, **Relatório No. 40995-BR**, intitulado : *“Licenciamento Ambiental de Empreendimentos Hidrelétricos no Brasil: Uma Contribuição para o Debate.”*

Por ser uma fonte de energia limpa e renovável, não se pode deixar que estas dificuldades influenciem no aproveitamento deste recurso disponível. Ressaltando-se também o fato de que é um investimento economicamente muito atrativo em termos de custo de geração. A hidroeletricidade é indispensável à expansão da capacidade de geração de energia elétrica, conforme as necessidades para atendimento da demanda.

Dentre os impactos ambientais provocados pela construção de barragens de usinas hidroelétricas ou de abastecimento, destacam-se os relacionados com a ictiofauna. (MME, COMASE, 1995).

### **1.3 Ecossistemas Aquáticos - interrupção de “habitat” por barragens**

Os ambientes aquáticos podem ser marinhos e continentais. Estes ambientes abrigam e sustentam grande quantidade de seres vivos, desde algas, bactérias, plantas, macrófitas (plantas de origem terrestre que se adaptaram ao ambiente aquático, como aguapés), crustáceos, insetos, e vertebrados. Das espécies de vertebrados, os peixes são desta fauna os de maior número de espécies conhecidas. (NELSON, 1994, apud ANA 6-9,2008).

Segundo definição, são considerados peixes, o grupo de vertebrados aquáticos de sangue frio que possuem brânquias, nadadeiras, endoesqueleto ósseo ou cartilaginoso e corpos alongados cobertos na maioria dos casos por escamas. Também, podem ser cobertos por couro.

Também, por definição, Ictiofauna é a coletânea de espécies de peixes. Sua origem vem dos termos ÍCTIO, (grego ikhtys), que exprime a idéia de peixe, e FAUNA que é o conjunto de animais de uma região. Analisando apenas os ambientes aquáticos continentais, formados pelas bacias hidrográficas, há grande variedade em relação aos ecossistemas sustentados, pois dependem diretamente da região geográfica onde estão localizadas estas bacias.

Os ecossistemas aquáticos no Brasil são analisados segundo o Ministério do Meio Ambiente - MMA de acordo com o bioma ao qual pertencem como segue: Floresta Amazônica, Caatinga, Cerrado e Pantanal, Mata Atlântica e Campos Sulinos, Zona Costeira e Zona Marinha.

Cada espécie de peixe tem seu “habitat” específico. Basicamente influenciado pela temperatura da água, condição físico-químico da água, estado de repouso ou corredeiras, águas mais fundas ou mais rasas, protegidas por vegetação ciliar ribeirinha, ou mais expostas à incidência de luz solar, etc. Todos estes fatores, também afetam a estrutura da cadeia alimentar.

A construção de uma barragem altera localmente o ecossistema aquático. Isto é consequência do represamento da água. Independente de ser possibilitado ao peixe uma via de acesso artificial de um lado a outro da barragem, as águas represadas não terão as mesmas características das águas originais, que antes fluíam naturalmente pelo leito do rio. Há mudanças na temperatura da água, a condição físico-química, elas ficam mais fundas, são mais calmas, há grande área de incidência de luz solar (superficial), há inundação permanente de áreas sazonalmente alagáveis; que dentre outros fatores, podem afetar a cadeia alimentar. Em síntese, as novas condições posteriores a implantação de uma barragem, são desfavoráveis, ou no mínimo criam algum tipo de desconforto, aos peixes nativos da região. Dependendo da adaptabilidade destes peixes nativos, muitas vezes há alteração na composição de espécies regionais. Podendo inclusive, ocorrer aparecimento ou procriação excessiva de uma nova espécie, que não existia no local. Infelizmente, o desaparecimento de uma determinada espécie também poderá haver, mas estaria localizado naquela região do rio, pois poderia estar à salvo em outras áreas.

Existe um grande número de observadores e analisadores envolvidos com este tema, entre eles existe um órgão governamental específico o COMASE - COMITÊ COORDENADOR DAS ATIVIDADES DE MEIO AMBIENTE DO SETOR ELÉTRICO. Sugere-se consultar, o interessante resumo do **Seminário sobre fauna aquática e o setor elétrico brasileiro**; reuniões temáticas preparatórias: caderno 5 - ações, Piraí, 3 a 5 de maio, 1994 / Comitê Coordenador das Atividades de Meio Ambiente do Setor Elétrico - COMASE - Rio de Janeiro: ELETROBRÁS, 1995.

## 1.4 Peixes Migratórios

Muitas espécies de peixes de água doce migram.

Migração de peixes é uma expressão cujo significado não é muito fácil de ser compreendida. No Brasil, as pessoas estão mais familiarizadas com o termo popular “Piracema”. A Piracema é uma migração para desova sentido rio acima. Os peixes de Piracema são muito importantes economicamente, como o Surubim, o Dourado, o Curimba, o Pacu, o Jaú, a Piramutaba, entre outros. Apesar de toda essa importância, a Piracema é pouco conhecida, ou estudada. Segundo especialistas, no passado não foi dada a devida importância para criar sistemas de transposição em barragens no Brasil, porque os peixes brasileiros são reofílicos, isto é, vivem, migram e desovam nos rios, enquanto que os peixes do hemisfério norte, são anádromos (como por exemplo, as trutas e os salmões), ou seja, eles nascem nas cabeceiras dos rios doces, se deslocam até a foz, vivem e amadurecem nos mares e quando adultos, voltam às cabeceiras dos rios para desova, onde morrem. (MENDES, 1969, apud MARTINS, 2000 ).

O pesquisador brasileiro Flávio Lima, em entrevista à Agência Amazônia de Notícias; explica a seguir o ciclo migratório da Dourada: (AGÊNCIA AMAZÔNIA DE NOTÍCIAS, 10/5/2007),

“[...] os exemplares crescem no estuário amazônico, na região de Belém, e migram até três mil quilômetros rio acima para se reproduzir, desovando em áreas de altitude superior, muitas vezes na Colômbia e no Peru[...]”.

“[...] a integridade da Bacia Amazônica parece importante para que os grandes bagres completem seu ciclo de vida, e a Dourada praticamente não usa o outro grande tributário do Rio Amazonas, que é o Rio Negro[...]”.

“[...] o Madeira é provavelmente o rio da Amazônia mais importante para a pesca, depois do Solimões[...]”.

Lima avalia como incerta a eficiência de mecanismos de transposição de peixes, adotados para garantir o trânsito deles entre as partes do rio a jusante (abaixo) e a montante (acima) de uma barragem. No caso de um canal lateral – a opção prevista no projeto das usinas do Rio Madeira – opina que a eficiência para a subida de jusante à montante pode ser “bem razoável”.

“[...]O problema maior é a volta, ou seja, a descida de montante a jusante, importante especialmente para as ovas e larvas, que são levadas pela correnteza. [...]”.

## 1.5 Peixes em conflito com Barragens

Peixes de todas as espécies, sempre serão um ponto de discórdia durante o projeto de instalação de uma barragem.

Analisemos a recente controvérsia da implantação das usinas do Rio Madeira. Neste caso, o Ibama teme pela integridade de três espécies de bagres, sendo eles : Dourada, Piramutaba e Piraíba. Há o receio de que tais espécies de peixes sejam extintas, além do possível impacto que sofrerão as demais espécies.

Se analisado o Parecer Técnico gerado pelo IBAMA para o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) das Usinas Hidroelétricas de Santo Antônio e Jirau, especificamente sobre o assunto Ictiofauna e Pesca, cujo trecho “interessante” sobre o inventário de espécies é reproduzido na íntegra mais abaixo, verifica-se que o estudo de levantamento do RIMA cataloga o maior registro de espécies efetuado em toda região, até a presente data. Ou seja, é justamente naquele local que ocorre a maior diversidade de espécies de peixes existentes no mundo !

Reproduz-se a seguir, o texto extraído da página 76 de 256, do PARECER TÉCNICO Nº 014 do IBAMA / 2007 :

“[...] O numero de espécies coletadas no estudo foi extremamente significativo. Foram identificadas 459 espécies no EIA, mais 4 foram encontradas nas coletas provenientes do complementação solicitada pelo Ibama, além dessas 463 espécies, mais 34 já tinham sido coletadas. Assim, o total de espécies no trecho, Araras até o Rio Jamari, é de 493 espécies, maior que o encontrado no Rio Negro. Esse era até então conhecido como o tributário que possuía a maior riqueza ictiofaunistica do mundo. Assim, com base no conhecimento atual, a área onde se está propondo a construção das Hidrelétricas é o trecho que possui a maior riqueza ictiofaunistica do mundo [...]”.

Questiona-se esta informação.

A afirmativa é possível mas improvável.

Pois, a impressão que o leitor daquele documento terá, será de que é verdade, caso seja extraído apenas este parágrafo do referido parecer. Porém, no parágrafo seguinte do mesmo parecer, existe uma informação de que possivelmente e provavelmente o inventário possa ser maior ainda se realizado em outros rios da mesma Região Amazônica ou, até mesmo em outra região do planeta ainda não catalogada. Conforme continuação do referido texto, redigido à seguir:

“[...] É possível, entretanto que algum rio tenha um maior numero de espécie, talvez já coletado até, mas não ainda catalogado, porém é fato a região neotropical é extremamente rica em espécies, talvez até 8.000 espécies, sendo que grande parte está na Amazônia. Não há concorrência no mundo. Isso não quer dizer que ele não possa ser superado por outro, pois esses estudos ainda foram pouco realizados em outros rios, incluindo a própria Amazônia[...]”.

É correto questionar a implantação destas barragens sobre o impacto nestas ou outras espécies de peixes. Porém, também deve ser lembrado que o desmatamento ciliar, o mercúrio do garimpo despejado nas águas do rio e os aterros que inutilizam as áreas de alagadiços marginais, são outros fatores externos que influenciam na diminuição da quantidade de peixes no local. São todos fatores causados pelo homem, sem contar o fator mais influente de todos, que é a pesca, cada vez mais intensiva, e até mesmo predatória.

Recentes pesquisas de quantidades remanescentes de salmão selvagem americano existente nas bacias dos rios Columbia e Snake na região noroeste americana (Estados Unidos), influenciaram movimentos ambientalistas locais a incentivar idéias da remoção de barragens de hidroelétricas naqueles rios, no intuito de liberar o rio aos peixes, uma vez que, as atividades mitigatórias anteriormente implantadas não terem surtido o efeito desejado para garantir a sobrevivência das espécies. É interessante lembrar que a importância da sobrevivência dos salmões selvagens americanos tem preocupado e influenciado a construção de usinas hidroelétricas naquela bacia hidrográfica, já desde a construção da primeira barragem em Bonneville há mais de 70 anos atrás. Aquelas barragens tem outros fatores

positivos além da geração de energia elétrica, tais como: permitir a navegação barateando o transporte, irrigação da lavoura ribeirinha, combate às enchentes através da regularização do leito do rio e lazer, entre outros, principalmente gerando indiretamente grande quantidade de empregos e riqueza. Ou seja, a remoção daquelas barragens traria grandes conseqüências econômico-sociais para a região.

Segundo Lucio Flavio Pinto, da ADITAL - Noticias da América Latina e Caribe, 2007 :

“[...] barragens e represas não deveriam mais ser fonte de preocupação e problemas para os peixes, pois existe uma solução técnica já largamente dominada e utilizada, inclusive no Brasil : a escada de peixe [...]”.

Escada de peixe tem uma longa história, segundo pesquisas relatadas na Wikipédia, de mais de 300 anos. De origem européia, a primeira escada de peixes construída no Brasil data de 1911 na barragem de Itaipava no Rio Pardo / SP (MARQUES, M. G., 2003). A escada de peixes construída na usina de Bonneville na década de 50, no rio Colúmbia, nos Estados Unidos da América, foi implantada para salvar uma espécie ainda mais valiosa que a Dourada, o salmão selvagem americano. Na ocasião, os pescadores ameaçaram dinamitar a barragem caso não fosse garantido aos salmões a possibilidade de subirem pelo rio para desovar nas cabeceiras do lado do Canadá, no alto Colúmbia. Para eles, o salmão valia mais do que “Kilowatts” (grandeza para indicar potencia elétrica). Aquela escada foi um projeto inovador, a primeira de uma nova geração, realmente eficiente para os salmões.

A implantação de escadas de peixe no Brasil, por enquanto é apenas regulamentada por lei estadual, e em apenas alguns estados da União.

## **1.6 Sínteses**

Neste caso específico, será necessário lembrar que :

- Há a necessidade de aumentar a oferta de energia elétrica ao mercado consumidor.
- Ainda há um grande potencial hídrico disponível no Brasil.
- O custo de energia elétrica gerada por hidroelétrica é muito barata em relação a térmica, pois, após instalada não necessitará de pagamento pelo custo do combustível pela sua operação durante toda a vida útil do empreendimento.

- As hidroelétricas não poluem<sup>1</sup>, diferentemente das usinas térmicas cuja queima de combustível é poluente além de que, seus gases são causador de efeito estufa, piorando o aquecimento global.

Não se deve simplesmente eliminar a hipótese de utilizar o potencial hídrico remanescente apenas por não se conhecer exatamente qual seu efeito e impacto no ambiente em que será implantado, sem analisar todas as possibilidades e alternativas possíveis.

Nunca se deve desprezar a mitigação dos impactos.

O bom senso que deveria prevalecer, nem sempre prevalece. Pois, geralmente cada pessoa tem o seu ponto de vista que entende estar correto, e que conseqüentemente, o dos outros sempre estará errado.

Manter e aumentar a geração de energia através de hidroelétricas, e convivendo melhor com um dos problemas decorrentes dos seus impactos ambientais, ou seja, os peixes nas barragens, principalmente aqueles de espécie migratória, é o que este trabalho visa relatar.

---

<sup>1</sup> Segundo estudos recentes por FEARNSIDE, Philip M. / INPA / Brasil, algumas represas (de hidroelétricas ou não) geram gás metano (CH<sub>4</sub>) que é um dos gases geradores do efeito estufa. Este gás é devido às condições da vegetação que ficou submersa em consequência da sua decomposição, tendendo a diminuir com o passar do tempo. Para maiores detalhes podem-se procurar estudos e trabalhos elaborados, p.ex.em < <http://philip.inpa.gov.br/>. >

## 2. ESTRUTURAS EM UMA HIDROELÉTRICA

### 2.1 Introdução

Hidroelétrica, é uma usina geradora de energia elétrica, cuja fonte de energia é um recurso natural, a água. Esta água é proveniente da natureza, por isto são consideradas fontes de energia limpa e renovável (considerando-se os ciclos da água). Localizam-se necessariamente em um rio, ou tem acesso às águas deste rio através de um canal ou túnel, já que necessitam das águas do rio como fonte de combustível para acionar as turbinas. As turbinas são a fonte de energia mecânica que estão acopladas aos geradores, que por sua vez geram eletricidade.

### 2.2 Termos técnicos em Hidroelétricas

Uma hidroelétrica exige a construção de algumas estruturas para compor seu projeto, conforme detalhado à seguir :

- A maior obra civil e portanto sua maior estrutura, é a barragem, item 1 da fig.2.
- A barragem represa a água formando um reservatório, item 7 da fig.2, e para evitar que um excesso de volume de água venha a ocasionar um transbordamento, existem os vertedouros, item 3 da fig.2.
- As águas no reservatório são conhecidas como a região à montante da barragem, e o rio onde as águas são devolvidas após turbinamento, é denominado de jusante, item 8 da fig.2.
- Existem estruturas de captação na montante, denominadas de Tomada de Água, item 2 da fig.2, através dela a água é conduzida até as turbinas por meio de tubos chamados de condutos forçados.
- A casa de força, ou casa de máquinas, item 4 da fig.2, abriga os equipamentos de geração, ou seja, as turbinas e os geradores, assim como seus equipamentos e sistemas auxiliares.
- Geralmente existe uma área plana próxima da casa de força, onde estão instalados os equipamentos para conexão elétrica entre as máquinas e a linha de transmissão, chamada de Subestação, item 5 da fig.2. Algumas usinas possuem subestações abrigadas e isoladas a gás, geralmente por falta de espaço físico para uma subestação a céu aberto.

- Nas subestações são interconectadas as Linhas de Transmissão, item 6 da fig.2, por onde a energia elétrica gerada escoa e é interligada aos demais sistemas elétricos até chegar aos consumidores.

As configurações de cada usina são diferentes, devido às peculiaridades do relevo, do rio, e do tipo de aproveitamento hidroelétrico que está implantado.

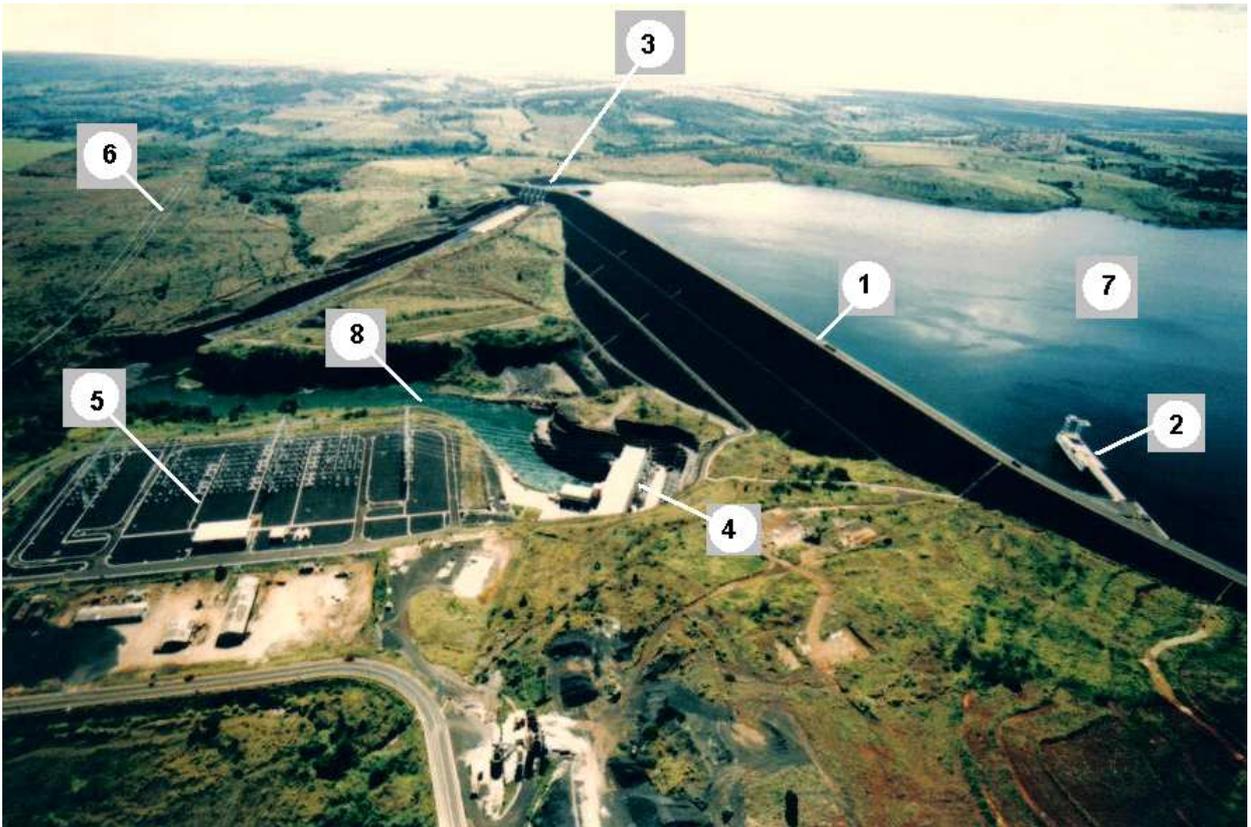


Fig. 2.: Vista aérea da Usina Hidroelétrica de Nova Ponte / CEMIG / MG, Brasil.

As hidroelétricas podem ser classificadas conforme abaixo :

I. Segundo a potência instalada:

- pequenas
- médias
- grandes

II. Segundo a queda:

- baixa queda
- média queda
- alta queda

III. Segundo as características de produção de energia:

- usinas à fio d'água: não possuem uma bacia de acumulação ou represa significativa e, portanto, sua geração é inconstante
- usinas com acumulação, que possuem grandes represas, garantindo um fornecimento de energia constante

IV. Segundo a forma de criar um desvio para adução da água nas máquinas:

- Usina de represamento
- Usina de desvio
- Usina de derivação, sendo que esta difere do tipo desvio, ao devolver a água de jusante em outro rio

Também existem as reversíveis, que são aquelas que possuem dois lagos de acumulação, um a montante e outro a jusante, sendo que em certo período do dia operam como geradores de energia quando turbinam a água de montante para jusante (geralmente no horário de pico), e em outro período, são carga para o sistema elétrico, quando operam como estações de bombeamento, levando água de jusante a montante (geralmente à noite, quando o consumo diminui e há energia disponível).

### **2.3 Instalações de Hidroelétricas por onde flui água**

A água flui de montante a jusante, normalmente apenas pelas turbinas quando estão em operação, gerando energia elétrica.

Em caso de maior acréscimo de volume de águas em montante do que aquele consumido pelas máquinas, o nível do reservatório subirá até seu limite de acumulação máximo, sendo que conseqüentemente as comportas de vertedouro serão abertas, permitindo assim que o excesso de água, que não é turbinada, possa fluir livremente escoando pela calha do vertedouro até o leito do rio à jusante. O vertedouro poderá, em ocasião excepcional, também ser aberto no caso de todas as máquinas estarem paradas, garantindo assim um fluxo e nível mínimo do leito do rio à jusante, garantindo a chamada vazão sanitária.

Algumas usinas tem canais paralelos as barragens, construídos artificialmente para permitir um caminho de subida aos peixes. Basicamente são as chamadas escadas de peixes, que serão descritas no decorrer do trabalho.

### 2.3.1 Tipos de Turbinas

As turbinas podem ter diferentes formas construtivas, dependendo da altura, da queda entre montante e jusante. A seguinte fórmula é utilizada para cálculo da potência extraível de uma turbina:

$$P = \rho \cdot g \cdot \eta \cdot H \cdot Q$$

Fórmula 1 : Potência extraível de queda d'água.

Sendo que :

P = potência (W);

$\rho$  = densidade da água (kg/m<sup>3</sup>)  $\approx$  998 kg/m<sup>3</sup>

g = aceleração da gravidade(m/s<sup>2</sup>)  $\approx$  9.8 m/s<sup>2</sup>

$\eta$  = rendimento da unidade (aprox. 90%)

H = queda líquida (m)

Q = vazão turbinada (m<sup>3</sup>/s)

Quanto menor a queda para produzir maior potência, maior deverá ser sua vazão. O gráfico da figura 3 ilustra as possibilidades de configuração, considerando-se as quedas e as vazões :

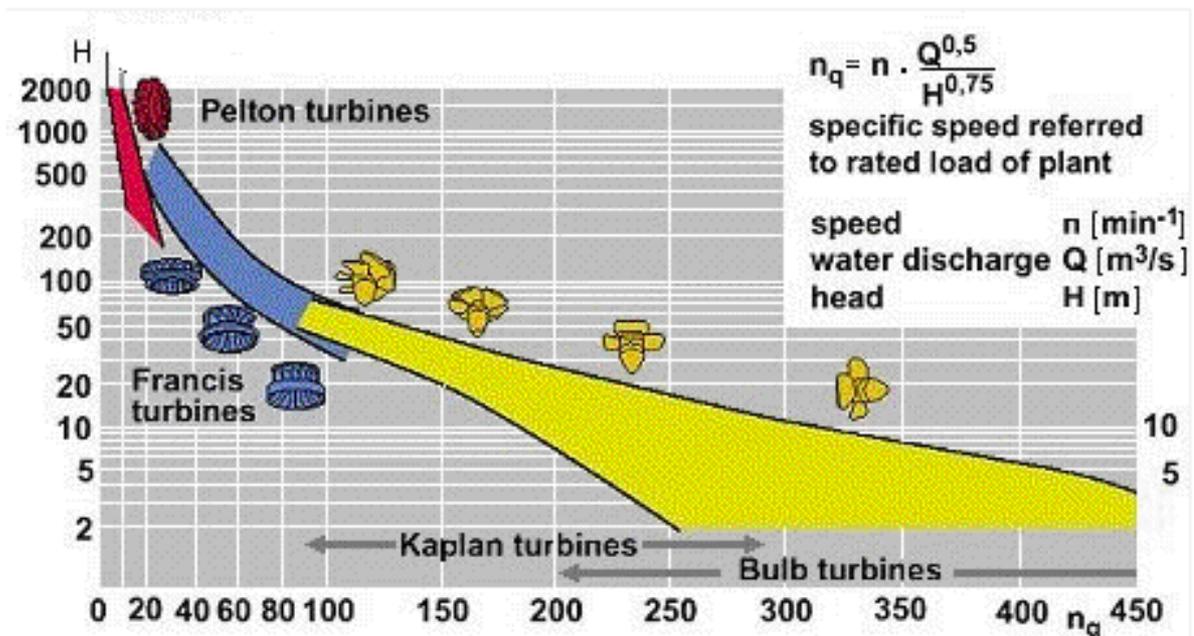


Figura 3: Possibilidades de tipos de turbina, segundo quedas e vazões.

A seguir serão descritos resumidamente os tipos de turbina utilizados em hidroelétricas.

### 2.3.1.1 Turbinas Pelton

As turbinas tipo PELTON são empregadas em usinas de alta queda.

São turbinas de reação, pois a pressão de entrada é maior que a pressão de saída, nelas a água é direcionada através de jato de abertura regulável, chamados bicos injetores, sobre as conchas do rotor, e sua jusante é aberta a pressão atmosférica, ou seja as máquinas não estão instaladas submersas, ficando sempre acima do nível do rio a jusante.

Forma construtiva : Grosseiramente poderia ser descrita como uma roda d'água. Possui um disco no qual na extremidade são fixadas conchas duplas sobre as quais os jatos dos bicos injetores são direcionados fazendo a mesma girar. De acordo com o diâmetro da roda e sua potência podem haver diversos bicos injetores. A velocidade e a potência são reguladas pela abertura dos bicos injetores, posicionados simetricamente ao redor da roda.

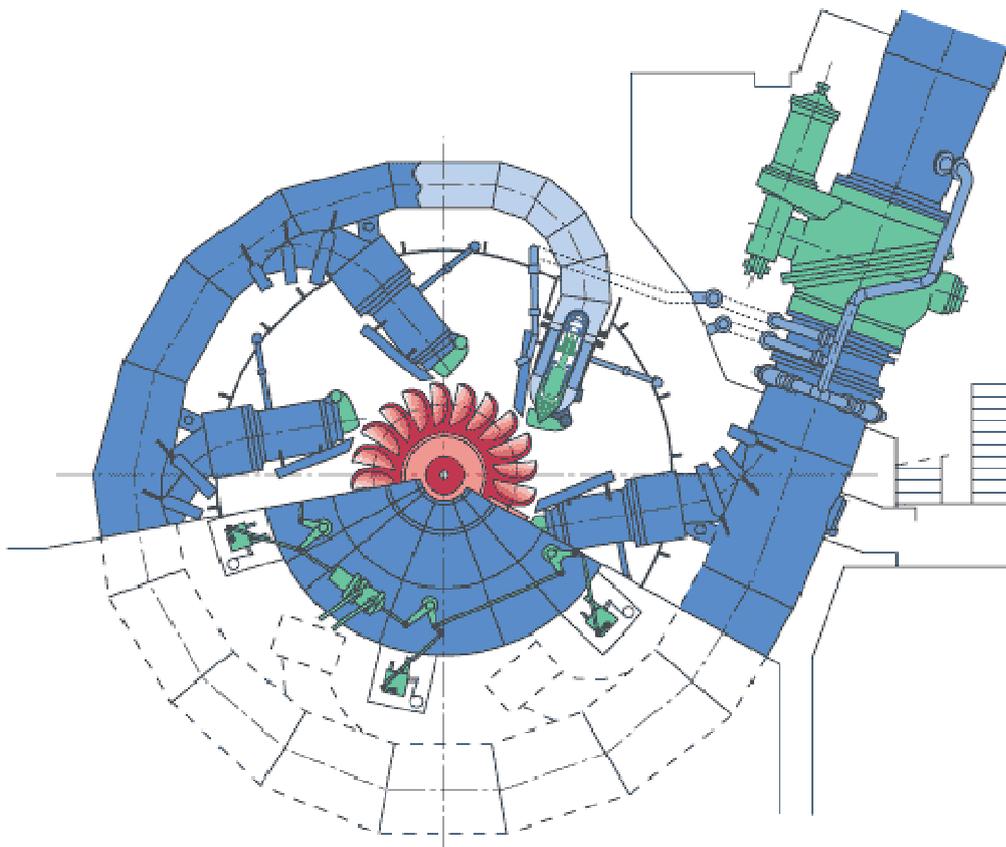


Figura 4 : Esquemática de Rotor Pelton com conjunto distribuidor e bicos injetores.

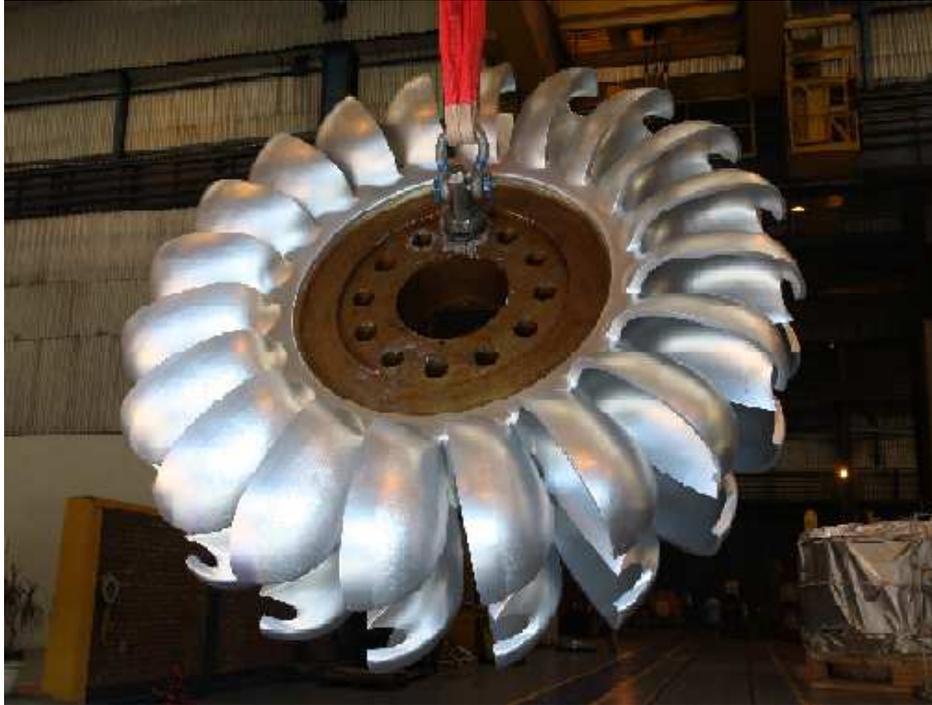


Figura 5 : Foto de Rotor Pelton.

### 2.3.1.2 Turbinas Francis

As turbinas tipo FRANCIS são empregadas em usinas de média queda.

São turbinas de ação, pois a pressão de entrada é igual a pressão de saída, nelas a água que desce pelo conduto forçado é direcionada circularmente ao redor da turbina através de uma caixa espiral cujo controle de volume turbinado é realizado através da regulação de abertura das pás do distribuidor. Esta água é direcionada em sentido radial para o rotor (em máquinas verticais), e seu rotor sempre está submerso, abaixo da cota do leito do rio em jusante.

Forma construtiva: de forma bem simplificada, sua roda é um cilindro que, por dentro é fechado por um cone inverso sendo que na parte superior, o cilindro tem diâmetro menor e, na parte inferior com diâmetro maior existe um anel que fecha a lateral do cilindro. É composta por várias pás verticais inclinadas, ligeiramente curvadas com perfil hidráulico específico, montadas circularmente lado a lado, dentro do cilindro por fora do cone.

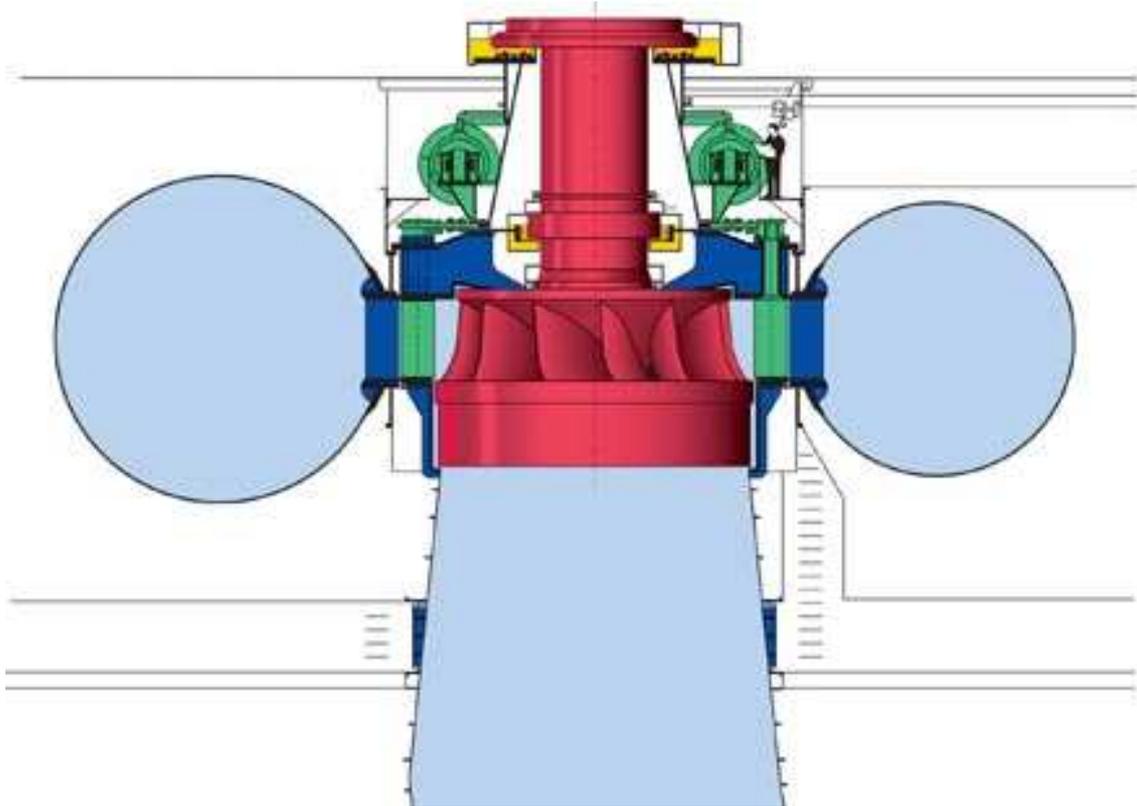


Figura 6: Corte esquemático de uma turbina FRANCIS.



Figura 7 : Foto de um Rotor Francis.

### 2.3.1.3 Turbinas Kaplan

Já as turbinas tipo KAPLAN são empregadas em usinas de baixa queda, necessitando porém de grande volume de água para gerar níveis de potencia economicamente viáveis.

Também são turbinas de ação, pois, a pressão de entrada é igual à pressão de saída, porém nelas a água que foi direcionada através de uma caixa espiral flui pela roda em sentido axial, pois, o distribuidor fica acima da roda da turbina (em máquinas verticais). O controle de potencia é regulado pelo controle de volume turbinado através da abertura regulável das pás do distribuidor, em conjunto com a posição das pás da roda, que tem posição variável. Este controle através de um conjugado de posicionamento das pás do rotor juntamente com abertura do distribuidor, visa fazer a máquina operar em melhor condição de eficiência, de acordo com as variáveis de nível de água em montante e jusante, ou seja, com queda líquida variável. Seu rotor sempre está submerso, abaixo da cota do leito do rio em jusante. Existe um tipo de turbina KAPLAN com pás fixas, são as chamadas de tipo PROPELLER, esta por sua vez somente dispõe de um ponto de eficiência máxima.

Forma construtiva : Grosseiramente poderia ser descrita como uma hélice de navio ou de motor de barco. Dentro da parte central chamada de ogiva, há um mecanismo com embolo e bielas que movido através de óleo permite as pás girarem alguns graus, mudando sua posição.

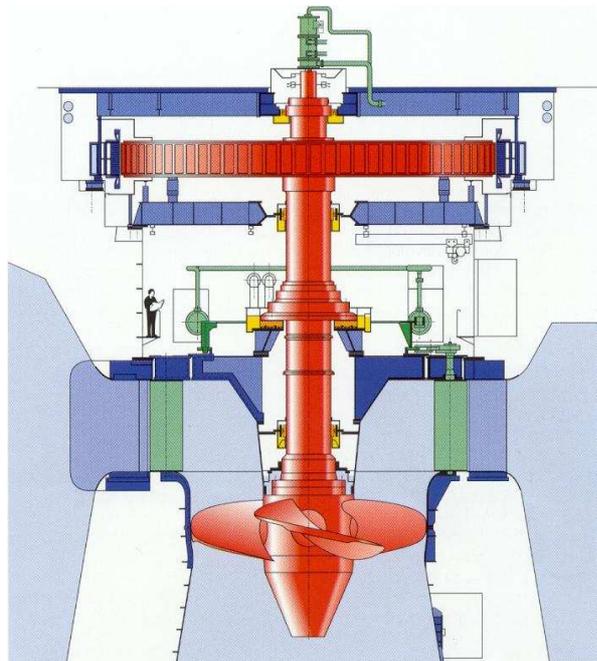


Figura 8 : Corte esquemático de uma turbina Kaplan.



Figura 9 : Foto de um Rotor Kaplan.

#### **2.3.1.4 Turbinas Bulbo**

As turbinas tipo Bulbo, são máquinas de eixo horizontal. Seu modelo de turbina é uma máquina KAPLAN ou PROPELLER. São empregadas em usinas de baixíssima queda. A grande diferença nesta versão é que os geradores acoplados ao eixo ficam totalmente submersos na água, sendo que o rio, captado na tomada de água, flui ao redor do gerador até alcançar axialmente mais em direção jusante, a roda da turbina que faz rodar o conjunto rotativo.

Forma construtiva : Grosseiramente poderia ser descrita como um torpedo submerso na água, e afixado em uma estrutura civil. A água flui ao seu redor, em um conduto construído em torno do “torpedo”, entrando pelo lado do “nariz” e saindo pelo lado da hélice.

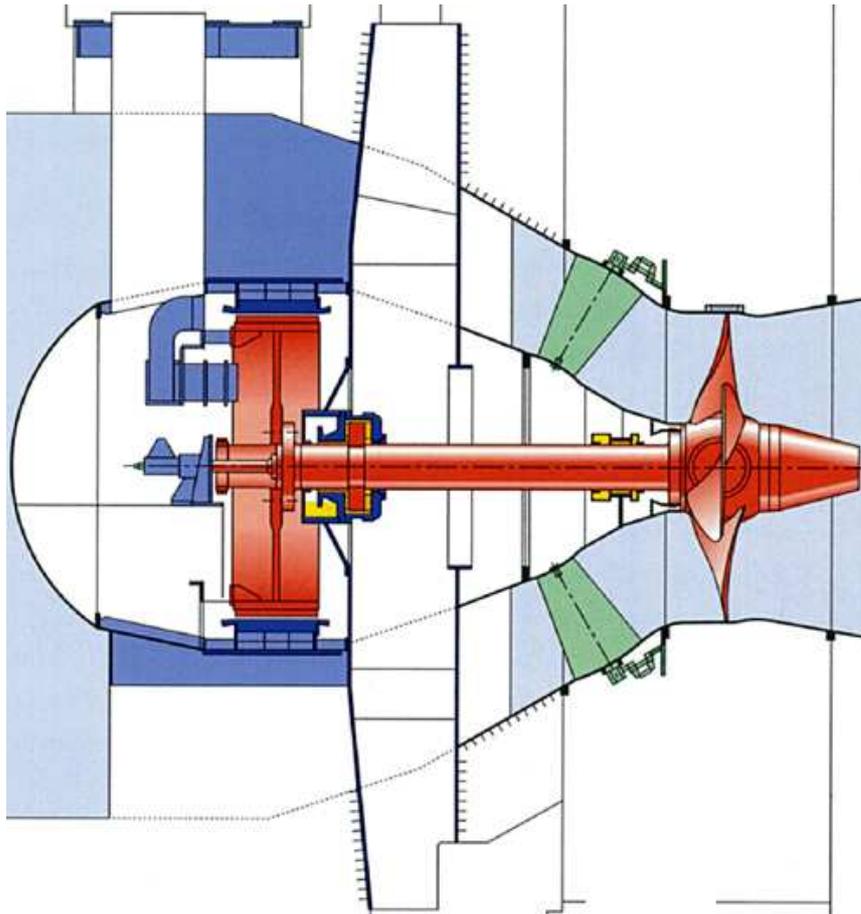


Figura 10 : Corte esquemático de uma turbina de eixo horizontal tipo Bulbo.



Figura 11 : Foto de um Rotor Bulbo.

## **2.3.2 Tipos de Vertedouros**

Os vertedouros também são meios por onde a água de montante poderá fluir para jusante.

### **2.3.2.1 Vertedouros de superfície com comportas**

A maioria dos vertedouros é constituído de comportas tipo segmento, que quando acionadas, são erguidas fazendo fluir água do reservatório por baixo da comporta.

A comporta tem uma altura que permite acumular água no reservatório, até que ele atinja sua cota máxima de montante. Em outras palavras, estas comportas permitem que se ajuste o nível de montante do reservatório, e o número delas permite regular a velocidade com a qual se deseja deplecionar o reservatório. Uma vez que a cota de montante esteja abaixo da cota da boca da comporta do vertedouro, não poderá mais fluir água para jusante pelo vertedouro.

### **2.3.2.2 Vertedouros de superfície de crista livre**

Algumas barragens possuem um dique cuja cota de elevação de construção máxima é exatamente na altura da cota máxima que se deseja que o reservatório opere. Este tipo de construção é conhecido como vertedouro de crista livre, pois quando a água atingir um valor mais alto que este limite, toda ela fluirá por cima desta crista em direção a jusante, ou seja, a água transborda por uma seção do dique especialmente construído para este fim.

A água passará totalmente sem necessidade ou possibilidade de controle ou regulação. Uma vez que a cota de montante esteja abaixo da cota da crista, a água não mais fluirá por este caminho.

Uma das variedades de vertedouro por crista livre são as chamadas “TULIPAS”, construções circulares em meio aos reservatórios, que funcionam como o popular “ralo”.

### **2.3.2.3 Vertedouros de fundo ou descarregadores de fundo**

Algumas barragens possuem as chamadas descargas de fundo. A diferença básica já indicada pelo próprio nome, é que a entrada da água neste sistema de comunicação entre montante e jusante é pelo fundo da represa em montante. Ou seja, existem aberturas na parte mais próxima do fundo, que se comunicam através de dutos até a jusante. Estes dispositivos se

tornam essenciais em barragens que tenham vertedouros de crista livre e necessitam assegurar que no período de baixo volume de água, quando a cota em montante esta abaixo da crista, possam jogar água em jusante quando as máquinas estiverem paradas, garantindo a vazão sanitária do rio em jusante.

Como a pressão da água nestes casos é muito alta ao sair do tubo da descarga de fundo, instala-se uma válvula dispersora, que transforma um jato concentrado de alta pressão em diversos mais dispersos.

## **2.4 Desenvolvimento de turbinas “Fish friendly”**

### **2.4.1 Introdução**

Tornar as turbinas de hidroelétricas mais amigáveis ao convívio com peixes, evitando lesão física de origem mecânica aos peixes que passam por seu interior. Este é o conceito das turbinas conhecidas como “fish friendly”.

Basicamente trata-se de uma turbina Kaplan modificada. Pois, são empregadas em baixas quedas e é turbinado grande volume de água.

O novo design avançado é resultado de pesquisas, com estudos em computador utilizando modelagem por dinâmica de fluídos - CFD - “Computational Fluid Dynamics”, construção de modelos reduzidos, e implantação de idéias inovadoras. Isto é conseqüência de uma necessidade ambiental cada vez mais evidente, ante aos resultados meramente econômicos da geração e venda de energia.

É importante salientar que, os peixes tem condições de sobreviver quando são sugados e passam dentro máquinas de baixas quedas e grande volume de água turbinada, como as turbinas Kaplan. O índice de sobrevivência é considerável, e depende do tamanho dos peixes. Nas demais formas construtivas de turbinas, esta possibilidade de sobrevivência dos peixes quase que não existe.

#### **2.4.2 Desenvolvimento do projeto da turbina “Fish Friendly”**

Para se decidir o que alterar na turbina, foi necessário estudar profundamente quais os efeitos que prejudicavam os peixes quando passavam por dentro dela.

Há os efeitos de origem mecânica, (choque ou contato, moagem ou esmagamento e raspagem) que podem ser influenciados pela quantidade de pás, tamanho da roda, tamanho dos peixes, rugosidade das superfícies, além da localização por qual zona os peixes transitam em seu interior.

Há também os efeitos de fluído das forças da água, tais como: pressão, cavitação, do efeito de jato, que também são dependentes da localização por qual zona os peixes transitam no interior da turbina.

Entre outras coisas, a sobrevivência dos peixes está relacionada à geometria e características da força de fluidos, nas zonas por onde passam dentro da turbina.

No sentido de aumentar a compatibilidade da turbina com o meio ambiente, mais especificamente com os peixes, se tornou necessário alterar características no design. Como mencionado anteriormente, trata-se de modificações em turbinas Kaplan, amplamente utilizadas em usinas de baixa queda.

Será analisado o funcionamento de uma turbina Kaplan. O sistema de regulação dupla, atuando simultaneamente na posição de abertura do distribuidor e na posição das pás do rotor, proporciona melhor desempenho ao longo de uma vasta faixa de quedas e de cargas, permitindo uma utilização otimizada em diferentes vazões de água. Devido a estas condições de configuração, ela oferece a vantagem econômica significativa de operar em alta eficiência, mesmo em carga parcial, sendo que, em caso de variação de queda, uma reconfiguração da posição das pás da roda poderá compensar isto, e continuar operando em boa eficiência. Estes pontos de operação podem ser observados na curva de colina da máquina em questão. Quanto se tem uma roda com pás ajustáveis, a construção se torna um pouco mais complexa. A roda Kaplan possui um servomotor interno ao eixo, o qual é acionado por pressão de óleo de regulação, e move um pistão acoplado a um mecanismo de bielismo interno, que faz todas as pás da roda da turbina inclinarem em alguns graus, simultaneamente. Este mecanismo está

contido dentro da peça central da roda, chamada ogiva. Na ogiva estão fixas todas as pás da roda através de seus eixos. Os munhões são acionados pelo mecanismo, fazendo o ângulo das pás serem modificados conforme a configuração necessária. As pás são lâminas que tem um perfil hidráulico, permitindo que a água fluindo entre elas crie um impulso rotativo na turbina. A turbina foi desenvolvida para ser uma máquina que corresponda às necessidades hidráulicas e mecânicas do projeto. Sendo assim, de acordo com a posição angular das pás, haverá uma forma geométrica diferente. O conjunto das posições das pás relacionadas com a posição do distribuidor compõem uma curva de conjugação. Esta curva varia a posição das pás e abertura do distribuidor conforme a queda e a potência desejadas, sendo responsável pela eficiência da turbina. Porém, o fato de pontas de lâminas afiadas como machados estarem salientes, ou o aparecimento de lacunas entre as partes, que ocasionam turbulência localizada, não é fator que prejudica sua performance.

A mudança mais significativa no projeto da nova turbina, em relação a uma turbina Kaplan padrão normal ou convencional, é a eliminação destas lacunas, dos espaços vazios (gaps ou vãos) existentes entre as pás da turbina em seu diâmetro interno com a ogiva, além dos espaços vazios entre a borda do diâmetro externo da pá, com o aro câmara da turbina. De acordo com a posição ajustada das pás nos modelos convencionais de turbina, estes espaços podem variar de tamanho, sendo maiores ou menores. Estes espaços são causadores de lesões em peixes, podendo vir até a causar sua morte. Eles podem inclusive, serem aprisionados em seu interior e cortados pelas pás em rotação quando expelidos para fora dos espaços. Estes espaços também podem causar o surgimento de um alto gradiente de variação de velocidades da água, com vórtices de cavitação local, e aumentar significativamente a possibilidade de impacto mecânico.

A eliminação destes espaços também proporciona uma superfície mais uniforme para o fluxo de água, reduzindo as turbulências.



Figura 12 : Detalhe do vão entre pá e ogiva em Kaplan convencional, na posição aberta.

Para melhor compreender o novo “design”, ou seja, o projeto mecânico da turbina, pode-se fazer as seguintes analogias:

Imagine-se 3 esferas, concêntricas e sólidas. É necessário que as esferas sejam ocas, pois uma está dentro da outra. Suponha esferas de cores distintas, sendo escolhida a cor azul para a esfera de menor diâmetro, vermelho para a esfera de diâmetro intermediário, que envolve a esfera azul, e amarelo para a esfera de maior diâmetro, externa a todas. Tomaremos a esfera intermediária vermelha, cujo diâmetro externo é limitado pela amarela e cujo diâmetro interno é limitado pela esfera azul. Em seguida cortaremos dela a parte que não interessa. Desta forma, haverá um disco na região equivalente à “linha do equador”. Considerando-se assim, pode-se imaginar que o conjunto composto pela esfera azul e o anel em vermelho, formam algo parecido como o planeta Saturno e seu anel. Corta-se então o anel vermelho em segmentos, 4, 5 ou 6 (equivalentes ao número de pás da turbina). Toma-se cada segmento destes, fixando seu centro através de um eixo sobre a esfera azul. Se verá que cada segmento pode girar sobre a esfera azul em qualquer ângulo ou posição e sempre haverá um contato pleno entre o diâmetro interno do anel vermelho e a esfera azul, sem surgimento de qualquer vão. Da mesma maneira, se o anel vermelho, ou qualquer um de seus segmentos, girar sobre a esfera azul, na esfera amarela que é montada como envoltória, nunca aparecerão espaços entre as regiões de contato.

Em outras palavras, para os segmentos de anel, independente de sua posição angular entre as esferas internas e externas, nunca existirá uma posição em que se criam aberturas entre as

regiões vizinhas. Existe sim um vão mínimo, “gap”, uniforme e necessário para permitir o livre movimento entre as peças, sem roçar.

A seguir temos a demonstração conceitual, com utilização das três esferas concêntricas de diferentes cores.

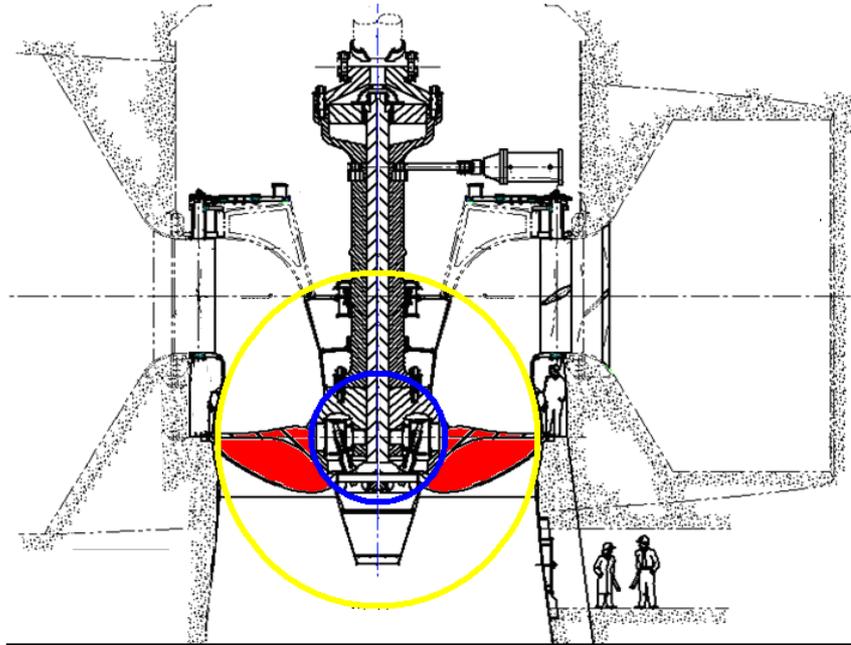


Figura 13 : Esquema conceitual das 3 esferas concêntricas.

- Fazendo-se a analogia a turbina, a esfera azul é a ogiva.
- Os segmentos do anel vermelho são as pás da turbina Kaplan.
- A esfera amarela é a envoltória conhecida como aro câmara.

Este é o conceito de “turbina fish-friendly”, também denominada por alguns especialistas de turbina MGR, ou seja, abreviação dos termos em inglês Minimum Gap Runner (rotor de vão mínimo).

### 2.4.3 Projeto da turbina “fish friendly” da empresa Voith

Em 1999 a primeira das 10 novas turbinas projetadas pela empresa fabricante de equipamentos para hidroelétricas Voith Hydro Inc., foi colocada em operação na usina de Bonneville, nos Estados Unidos da América, como parte do programa de repotenciação e reforma da primeira casa de força do complexo de geração de energia de Bonneville.

Esta substituição de roda de turbina visava melhorar o desempenho operacional, reduzir custos de manutenção, e aumentar a taxa de sobrevivência dos peixes que passam por seu interior no sentido jusante, durante o período de migração dos jovens salmões.

Mesmo com testes em modelo reduzido e todo o conceito envolvido, ainda foi necessário provar que, no assunto passagem de peixes por seu interior, o novo projeto era, no mínimo, igual ou melhor que o projeto convencional. Para ajudar a compreender os mecanismos que afetam a sobrevivência dos peixes que passam por uma turbina, foi necessário realizar um estudo biológico comparando a passagem dos peixes, tanto através de uma máquina convencional existente, como através da nova turbina substituída tipo MGR. Tal estudo foi realizado na usina de Bonneville, em estreita cooperação entre fabricante, cliente e órgãos governamentais, cujos resultados foram encorajadores, e serão descritos nos capítulos seqüentes deste trabalho.

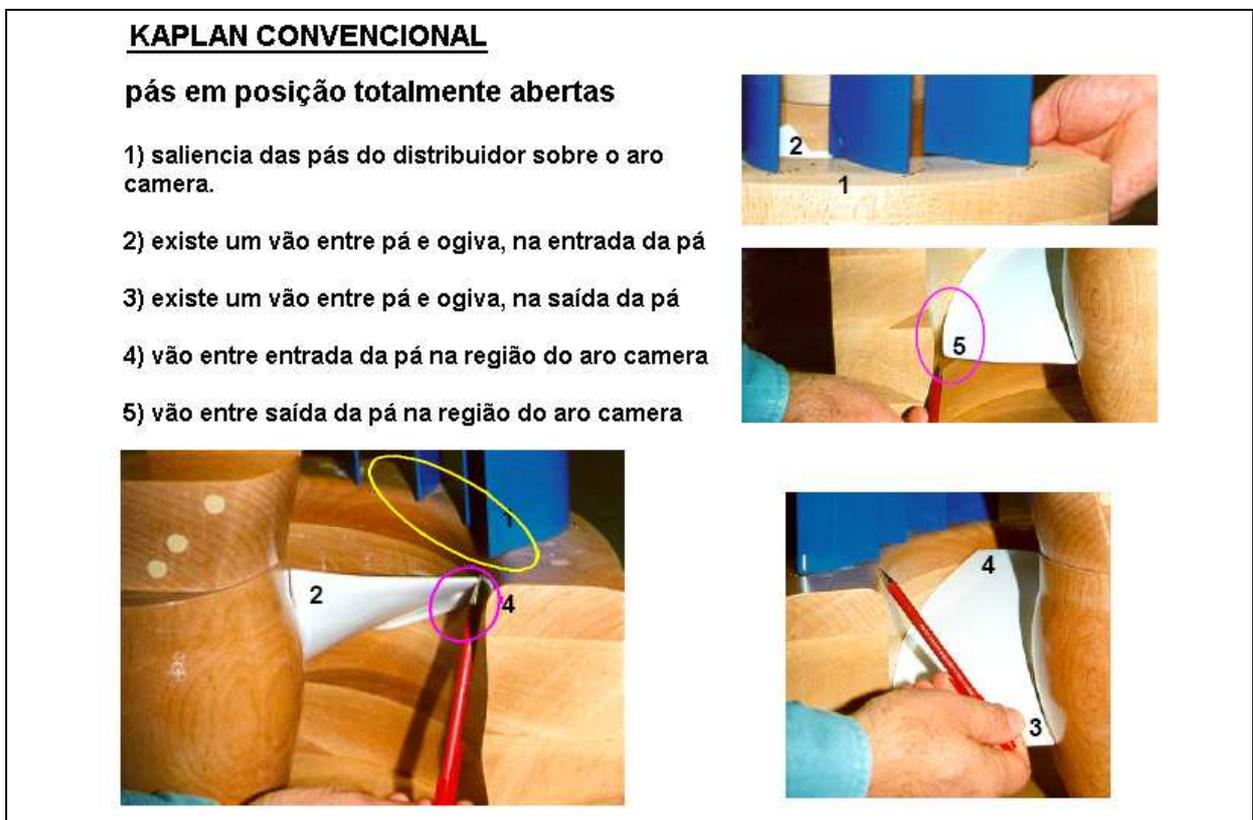
O grande trunfo adicional era que, a solução da troca da turbina antiga, que já necessitava de substituição devido a problemas decorrentes do tempo de operação, adicionalmente foi possível um aumento de potência. Este aumento de potência é interpretado como um retorno futuro para custear o investimento, pois, a nova máquina consegue extrair mais potência do mesmo volume de água, quando turbinado pela máquina convencional, através de maior eficiência operacional e extrair potência adicional, pelo fato de conseguir turbinar mais água, sem alterar a captação e o conduto.

O “design” da turbina ficou conhecido tecnicamente como turbina MGR - Mínimum Gap Runner, pois, incorporou um novo desenho de pás, ogiva e aro câmara. Minimizando, ou até mesmo, eliminando os vãos entre a ogiva e as pás, com conseqüente redução de turbulência e, ocasionando menores lesões aos peixes, quando estes passam pelo interior das turbinas, conforme resultados obtidos..

Em seguida reproduz-se algumas fotos de modelos demonstrativos em escala reduzida, para facilitar a visualização dos gaps existentes entre pás e ogiva ou aro câmara, conforme a posição angular das pás da roda Kaplan convencional e, comparativamente o mesmo com um modelo de roda tipo MGR.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> fotos gentilmente cedidas pela empresa Voith / York / USA



**MGR KAPLAN** - Minimum Gap Runner -  
pás em posição de ângulo mínimo

- 1) As pás do distribuidor não são salientes
- 2) Não existe vão entre entrada da pá e ogiva
- 3) Não existe vão entre entrada da pá e aro camera
- 4) Não existe vão entre saída da pá e ogiva
- 5) Não existe vão entre saída da pá e aro camera

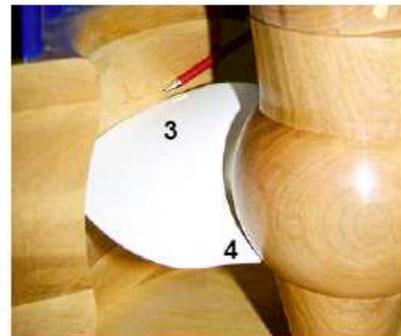
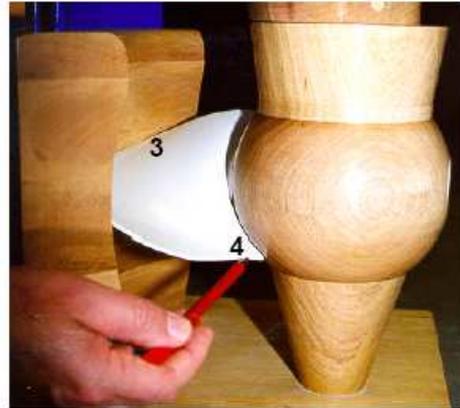


Fig. 16 : Kaplan MGR com pás em posição fechada - pouca vazão turbinada.

**MGR KAPLAN** - Minimum Gap Runner -  
pás em posição de ângulo máximo

- 1) As pás do distribuidor não são salientes
- 2) Não existe vão entre entrada da pá e ogiva
- 3) Não existe vão entre entrada da pá e aro camera
- 4) Não existe vão entre saída da pá e ogiva
- 5) Não existe vão entre saída da pá e aro camera



Fig. 17 : Kaplan MGR com pás em posição aberta - grande vazão turbinada.

Para desenvolver e produzir esta novidade tecnológica, a empresa empregou sua equipe de engenheiros e especialistas altamente qualificados, sob a liderança do Eng. Richard K. Fisher, Jr.; Vice President da Voith Siemens Hydro, Inc. USA / York / Pensilvânia.

Para alguns espectadores, o desafio e o segredo está em ter as idéias, ou seja, desenvolver o projeto, “engenheirar” o equipamento. Já para outros, que conhecem as dificuldades da metodologia de fabricação, consideram que o verdadeiro segredo do sucesso está no processo de fabricação envolvido, e a capacidade de superar dificuldades de execução. E, finalmente para outros, o verdadeiro segredo está em vencer as dificuldades ao juntar as peças do quebra cabeça gigante, que foi fabricado e agora precisa ser transformado em um único componente, uma turbina operacional, lá no canteiro de obras.

Na realidade, o desafio e o segredo do “know how”, é o conjunto de todas as etapas mencionadas anteriormente.

Para os especialistas da Voith, o desenvolvimento e a fabricação foram apenas mais um desafio. O grande desafio, porém, foi juntar as peças e montar tudo em campo. Não se deve esquecer que um projeto de reforma é sempre um fator complicador extra, que adiciona dificuldades às atividades em campo, cheio de imprevistos, totalmente diferente de quando se está construindo uma usina nova.

No caso de troca da turbina, tanto em Bonneville, como no projeto Wanapum, inclusive houve a necessidade da remoção de parte das estruturas civis de concreto existentes, para adaptá-las ao perfil do que se necessitava montar.

Em seguida, está reproduzido um corte simplificado pela roda da turbina de Bonneville, o primeiro projeto reformado, mostrando inclusive as diferentes máquinas (convencional e nova) no mesmo croqui.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> desenhos gentilmente cedidas pela empresa Voith / York / USA.

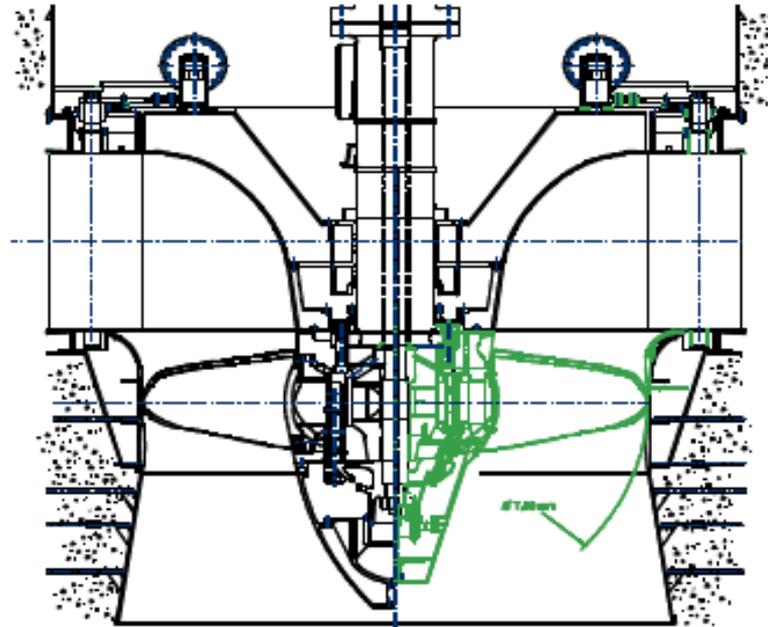


Figura 18 : Corte comparativo entre perfil da roda da turbina convencional existente e o modelo reformado projetado do tipo MGR, instalado em Bonneville.

Em detalhe, o corte na região do aro câmara que foi necessário ser executado no concreto existente, para instalação da máquina com o novo perfil. Observa-se à esquerda, a vista do perfil existente, e à direita, a vista do perfil esférico da nova máquina.

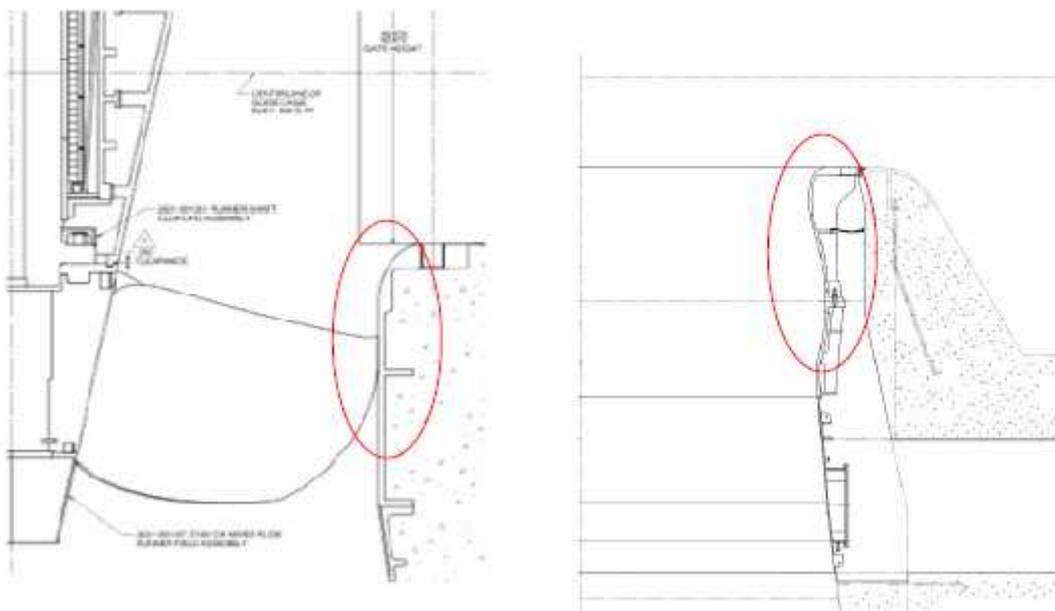


Figura 19 : Detalhe da alteração do perfil do aro câmara.

Reproduz-se a seguir um corte pela roda da turbina de Wanapum, outro projeto reformado, mostrando inclusive, as diferentes máquinas (convencional e nova) no mesmo desenho. Devido às mudanças de design, e com a roda nova tendo uma pá a mais, com a mesma vazão turbinada, se conseguiu gerar uma potência significativamente maior.

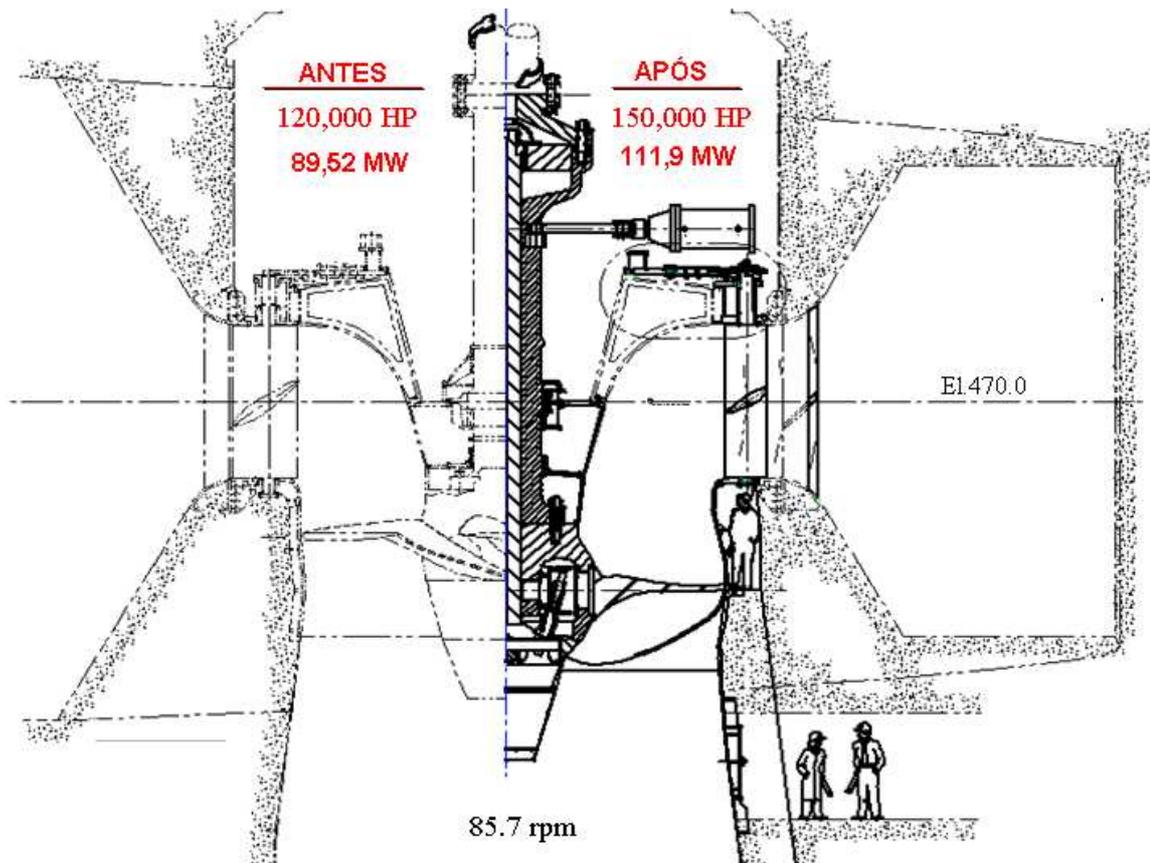


Figura 20 : Croqui do corte central da maquina de Wanapum.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> observa-se no lado esquerdo da linha de corte central, o croqui da máquina antiga, convencional, já do lado direito, a nova máquina de Wanapum, reformada, com a instalação de uma roda tipo MGR , desenho : Voith Inc. / USA

### **3. PEIXES SE DESLOCANDO NO SENTIDO JUSANTE**

#### **3.1 Introdução**

Para certas populações de peixes residentes nas imediações dos projetos hidrelétricos, um fator de mortalidade e lesão física ou estresse causado a estes indivíduos ocorrerá quando tentarem passar para jusante pelas estruturas da hidroelétrica. Esta passagem poderá ser voluntária ou não, pois, a água que se desloca através das turbinas gera um fluxo, que atrai os peixes em direção à tomada de água, ou apenas sugará aqueles mais próximos.

Espécies migratórias de peixes são particularmente afetadas, porque quando jovens, tem a necessidade de completar seu ciclo de vida migrando rio abaixo. Uma espécie migratória afetada nos Estados Unidos da América é o salmão.

Esta passagem do reservatório de acumulação até jusante poderá ocorrer por dentro das turbinas, pelos vertedouros quando abertos, pelas escadas de peixe ou outros tipos de desvios, especialmente implantados para ajudar os peixes neste trajeto. O que poderá resultar em lesões, ou até morte dos peixes. Um dos grandes desafios ambientais enfrentados pela geração de energia hidroelétrica é a mortalidade, ou ferimentos causados aos peixes que passam pelo interior das turbinas em movimento.

As perdas quando da passagem pelo interior das turbinas, poderiam ser mitigadas através da redução do número de peixes sugados (por exemplo, melhorando as telas de retenção, ou melhorando o sistema de desvio para canais paralelos). Alternativamente, a mortalidade poderia ser reduzida através da melhoria das condições no interior da turbina. Uma variedade de organizações está realizando uma quantidade considerável de investigações, para melhorar a taxa de sobrevivência dos peixes que passam por dentro da turbina.

Estudos realizados até meados da década de 1990, na Bacia do Rio Columbia no noroeste americano, sobre peixes que migram no sentido jusante pelo interior das turbinas, em diferentes projetos hidroelétricos daquela região, foram resumidos por WHITNEY et al, 1997 apud ČADA, GLENN F. et al, 2000.

A taxa de sobrevivência dos peixes que passam por dentro da turbina, depende muito das características, tanto da turbina (por exemplo, o tipo e o tamanho da turbina, além do modo de operação), bem como dos peixes (espécie, tamanho, condição física). Teoricamente, peixes pequenos têm maiores possibilidades de serem arrastados, em contra partida, devido a seu tamanho, tem maiores chances de saírem ilesos. Peixes grandes têm maior força e podem vencer o fluxo, evitando serem tragados.

Em turbinas de instalações de alta queda (por exemplo, turbinas tipo PELTON), a mortalidade será total. Por outro lado, em turbinas com vazões de água maiores (por exemplo, KAPLAN, FRANCIS, e turbinas BULBO), a taxa de sobrevivência geralmente é de 70% ou até mais. Pode-se classificar as turbinas tipo KAPLAN e ou BULBO, como aquelas de menor taxa de mortalidade, devido sua queda ser muito baixa.

Experiências com novos projetos de turbina mais favoráveis aos peixes, tem demonstrado taxas de sobrevivência ainda mais elevadas.

### **3.2 Fatores que causam danos diretos aos peixes durante o trajeto dentro da turbina.**

FISHER et al. (1997) propôs que o fluxo turbulento incidindo sobre as estruturas (no caso da turbina composto por pás diretrizes do pré-distribuidor, palhetas móveis do aparelho distribuidor, e as pás do rotor), pode ser uma significativa fonte de lesões aos peixes quando passam por dentro da turbina, conforme citado por GLENN F. ČADA et al, 2000. Esses pesquisadores sugeriram que a melhor configuração de fatores, minimizando as chances de ocorrência de danos mecânicos nos peixes, não necessariamente coincidem com a condição de maior eficiência operacional da máquina.

#### **3.2.1 De origem mecânica**

São originados por choque (de contato) , raspagem, e esmagamento (ou moagem).

Devido a diferentes regiões que podem ser percorridas durante a passagem de peixes dentro da turbina, terem diferentes combinações de condições de fluidos e obstáculos mecânicos, é razoável propor que as lesões e a taxa de sobrevivência sejam também afetadas pela

respectiva região da passagem, ou rota seguida. Considerável esforço foi empreendido projetando e desenvolvendo sistemas que lançam peixes em áreas específicas e diferentes, dentro da turbina, onde o fluxo de água os fará passar ao longo de uma rota previamente pretendida. Assim, caso a caso, pode-se identificar quais as rotas que causam maiores lesões e, conseqüentemente estudar o que deve ser modificado no projeto mecânico da turbina.

### **3.2.2 De origem por força do fluido**

Ocasionados pelo efeito do jato, pressão e cavitação.

Cientistas do Pacific Northwest National Laboratory - PNNL, têm analisado a relação entre as velocidades da água no interior da turbina e lesões causadas aos peixes. O fenômeno chamado de “efeito do jato” ocorre quando dois fluxos de água com velocidades diferentes, passam um pelo outro. O conceito de “EFEITO DE JATO” é similar a uma pessoa que está dentro de um veículo em movimento e põe a sua cabeça para fora da janela, conforme explicação de Scott Abernethy, especialista técnico sênior do PNNL. O carro pode estar se movendo a uma velocidade constante, enquanto que o ar ambiente dentro do carro está imóvel. Pelo efeito do jato, a cabeça da pessoa estará exposta ao ar ambiente externo do veículo, portanto, estará exposta à velocidades de ar ambiente diferente do restante do corpo, e conseqüentemente a cabeça poderá ser impelida para trás ( PNNL, 1999 ).

Dependendo da intensidade deste efeito, um peixe pode apenas ficar momentaneamente desorientado, pode perder algumas escamas, ou ser machucado, sofrer cortes ou até decapitação. Os efeitos observados com maior freqüência nos peixes durante este estudo foi a remoção ou perda de escamas e das coberturas das brânquias.

Cientistas do PNNL estão estudando o impacto do efeito do jato sobre alguns tipos de peixes, como o Salmão Chinook, a Truta, o Salmão Steelhead e o Salmão Primavera. Os resultados podem ajudar engenheiros a desenvolverem um projeto de turbina específico e adequado ao tipo de peixe que migra através dela. Durante a passagem por dentro da turbina, um peixe será submetido à diversas mudanças na velocidade da água, sendo que, forças de efeito de jato ocorrem em cada mudança de velocidade da água. As maiores forças de efeito de jato, normalmente ocorrem perto das pás da turbina, mais especificamente, nas pontas das pás (diâmetro externo), ( PNNL, 1999 ).

Variações de pressão, efeitos do jato, e turbulências que ocorrem em diferentes regiões dentro de uma turbina, podem ser avaliadas e estudadas com modelos reduzidos de turbinas. Porém, há a necessidade de realizar medições reais para calibrar e validar estes modelos de estudo.

Desenvolvimento de dispositivos, como o peixe falso de sensoriamento para monitoramento, conhecido como “sensor fish”, que mede e armazena durante o trajeto alguns destes fatores causadores de lesões aos peixes ao passarem pela turbina, ajuda a entender e estudar o que ocorre. O peixe falso para sensoriamento é descrito em um capítulo específico, mais adiante deste trabalho.

Operar a unidade fora da faixa ideal de eficiência, também causa variação nas condições de passagem. Nas extremidades da faixa de operação da turbina, ocorrem diferenças de pressão, efeitos de jato, turbulência e vórtices, tornando as condições favoráveis a ocorrência de cavitação. Como, tudo isto são fatores prejudiciais aos peixes, é considerado que a sobrevivência é reduzida nestas condições de operação em baixa eficiência.

### **3.3 Fatores que causam danos indiretos aos peixes durante o trajeto dentro da turbina.**

Mortandade indireta é o termo utilizado para descrever aqueles peixes que sobrevivem sem danos físicos quando saem em jusante, após um trajeto dentro da turbina, mas que acabam morrendo posteriormente em consequência de terem sido submetidos à níveis de elevado estresse durante a passagem, causando um aumento da susceptibilidade à doença, ou podendo ocasionar perda de equilíbrio e desorientação. Esta desorientação é responsável por tornar o peixe temporariamente mais vulnerável, principalmente à predadores em jusante, pois, não conseguem ser ágeis no momento de escapar de seus predadores naturais. Predadores na jusante são a maior fonte de mortalidade indireta para peixes que passam pelas turbinas.

### **3.4 Monitoramento em peixes que passam pelo interior das turbinas**

A metodologia descrita aqui foi empregada especificamente em estudos realizados nas hidroelétricas de Boneville e Wanapum, nos Estados Unidos da América. Estas usinas estão equipadas com turbinas tipo Kaplan, de baixa queda e com grande volume de água turbinada. Sendo que, o Rio Columbia, onde estão localizadas, apresentam grande problema ambiental com a diminuição de peixes migratórios, especificamente o Salmão Selvagem americano, que já foi alavancador da economia regional no passado. Algumas das máquinas já estão instaladas à mais de 70 anos, e necessitavam serem reformadas ou repotenciadas, contrariando porém, movimentos ambientalistas locais que no intuito de recuperar as populações de peixes nativos, sugeria como solução extrema, a remoção de algumas barragens desta bacia hidrográfica.

Para satisfazer movimentos ambientalistas, optou-se por averiguar a veracidade do mito de que, as turbinas são a principal causa da mortalidade de peixes.

Nestas usinas foram instalados protótipos de turbinas experimentais, da versão chamada turbinas fish-friendly, ou seja, amigáveis aos peixes, também podendo ser classificadas como ecologicamente mais corretas. Realizou-se então uma série de ensaios para estudos em peixes nesta nova unidade e, em paralelo, nas máquinas antigas. Os peixes eram lançados por mecanismos especialmente projetados e introduzidos dentro das turbinas, em diferentes condições de operação. Após passarem por dentro, eram novamente recolhidos em jusante, para avaliação de danos e/ou injúrias sofridas. Este estudo biológico foi concluído com análise estatística dos resultados de variações de três fatores: duas turbinas diferentes, diferentes locais de introdução de peixes, e quatro níveis operacionais (eficiência), fornecendo assim, várias condições independentes para estimativas de avaliação comparativa dos efeitos principais, sobre as suas interações ou combinações (ČADA, G. F., apud Hydropower R&D, 2001).

#### **3.4.1 Metodologia & Sensores**

Como o único componente alterado era a turbina, que foi substituída por outra, não se examinou outras regiões internas da unidade, as quais também podem ser consideradas como

causadoras de injurias e danos aos peixes. Sendo assim, avaliou-se apenas a passagem dos peixes por dentro das turbinas.

Uma roda de turbina Kaplan, devido à sua forma construtiva, tem diferentes pontos que podem causar danos a peixes. Sendo assim, os danos são consequência da região de passagem por dentro delas, ou seja, da rota que o peixe segue.

Para estes casos estudados, as rodas das turbinas Kaplan foram divididas em 3 zonas distintas. Considerou-se como zonas principais :

- 1) a zona periférica da extremidade externa das pás;
- 2) a zona central da pá
- 3) a zona da ogiva, ou seja, o diâmetro interno das pás.

A zona de passagem é consequência direta de onde o peixe entra no pré-distribuidor, considerando-se sua altura axial, que tem relacionamento com a profundidade que o peixe nada, quando entra na captação da tomada de água.

Como as turbinas Kaplan podem operar com diferentes posições angulares de suas pás, para conseguir maior eficiência de geração por vazão de água turbinada, dependendo de condições de diferentes níveis em montante e jusante, há consequentemente posições angulares de pás, que, devido à sua geometria, criam verdadeiras guilhotinas, prejudicando assim os peixes quando estes transitam por estas regiões. Consequentemente, a região de menor probabilidade de causar danos aos peixes, é a região central das pás, pois elas tem perfil suave e liso (FISHER, R. et al, 2000 ).

### **Os peixes utilizados nos testes.**

Sempre foram utilizados peixes criados em incubadoras / criadouros, e depois de passarem pelos testes nas máquinas, após recuperados e analisados caso sobrevivessem, eram liberados no Rio Columbia, à jusante da usina do teste.

Na sede do projeto, ou seja, nas barragens, os peixes foram mantidos em reservatórios especiais dentro do canal existente para transposição de jovens salmões pertencente às usinas. Os peixes eram mantidos nestas condições por um período mínimo de 24 horas para

aclimatização e adaptação às condições daquela água antes de sua codificação por etiquetagem, ou seja, tagueamento (colocação de TAG) e lançamento.

Os peixes utilizados nas diferentes variantes das condições em estudo nos testes, eram retirados de um mesmo grupo de peixes, assegurando assim, semelhante condição do espécime. Os tamanhos médios eram semelhantes para todos os grupos.

### **Marcação por etiquetagem com TAG.**

No manuseio e identificação dos peixes utilizou-se técnicas similares às utilizadas em outras ocasiões de avaliação biológica de peixes (HEISEY et al. 1992, apud FISHER, 2000).

Lotes de 5 a 10 peixes eram retirados aleatoriamente dos reservatórios, e levados a um local próximo, aonde eram identificados, marcados, e muito bem equipados, após isso, eram recolocados em tanques com água corrente, aonde permaneciam até serem utilizados nos testes. Não eram utilizados os peixes que estivessem com comportamento anormal, ferimentos graves, infecção por fungos, ou apresentassem perdas de escamas (com falha de escamas maior de 20% em cada lado). Os mesmos critérios de seleção e verificação eram aplicados à todos os grupos de peixes.

Primeiramente, os peixes eram anestesiados com 0,5% MS 222 [ethyl m-aminobenzoate, anestésico específico para seres de sangue frio - fabricado por SANDOZ (Sandoz AG, Basel)] e, em seguida marcados, equipados com dois TAGs tipo balão = infláveis como um airbag, ainda não inflados e um mini rádio transmissor. Os TAGs eram afixados por um pino de aço inoxidável, que era inserido através da musculatura sob suas barbatanas dorsais. Um biólogo afixava o rádio transmissor e um dos TAGs com balão inflável, abaixo da nadadeira dorsal, e o outro balão na frente da cauda. Cada item tinha um número que identifica o peixe quando era apanhado mais adiante, por um barco em jusante. A identificação destes equipamentos era utilizada como uma forma secundária de identificar à qual grupo de testes o peixe pertencia, ou seja, em qual combinação de localização / turbina / condição de descarga (eficiência), o peixe era solto. Após recapturado e avaliado, se estivesse vivo, era colocado em um tanque, para observação por um período de 48 horas. Após recolhidos, os balões e o rádio transmissor eram removidos, sendo então colocada uma única etiqueta numerada VI (Visual Implant, Noroeste Marine Technology, Inc., Shaw Island, WA), para identificar os peixes neste período de observação.



Figura 21 : Peixe tagueado, foto de NORMANDEAU ASSOCIATES.

Fonte: Scientific Approaches f. Evaluating Hydroelectric Project Effects, fig.13, Final Report.

### **Liberação de peixes durante os testes.**

Os peixes eram soltos nas tubulações de lançamento, especialmente desenvolvidas para inserir os peixes em zonas pré-determinadas no interior das turbinas, e, apenas após estarem recuperados do efeito da anestesia. Os TAGs eram ativados antes de serem lançados. Instantes antes dos peixes serem lançados, um pouco de água era injetado no balão para ativar um gel, que age como um dispositivo temporizador para inflar o balão. O tempo para inflar os balões podia ser regulado, e era ajustado para uma determinada variação da temperatura e da quantidade de água que fluía para dentro dele. Geralmente, grupos de cinco peixes dentro de um intervalo total de dois minutos, eram soltos em uma determinada condição de teste e, após no mínimo três destes peixes serem recapturados na jusante da usina, um novo grupo de cinco peixes eram então liberados. Os procedimentos utilizados no manuseio, marcação, libertação e recaptura dos peixes eram idênticos para todos os grupos em todos os testes.

Para comparar as causas dos efeitos nos peixes que eram submetidos à passagem pelo interior da turbina, também eram liberados peixes na saída das máquinas, diretamente na sucção, podendo-se assim comparar a quantidade e tipos de injúrias e/ou lesões, registrados nestes peixes, e determinar se os danos físicos em peixes recuperados eram oriundos da passagem por dentro da turbina, ou se aconteciam depois, já no tubo de sucção. Estes peixes, que podemos chamar de comparativos, eram oficialmente classificados de peixes de controle.

Um único grupo de peixes classificados como peixes de controle era liberado para comparar dados nas condições do teste em execução. Ou seja, quando dois grupos de 40 peixes eram soltos por dia, um grupo em cada máquina para serem avaliados em estudo comparativo, nas mesmas condições das variáveis de profundidade ou zona de passagem e eficiência da turbina, em seguida, um único grupo de 40 peixes de controle era solto à jusante da turbina. Resumindo, em um dia em que se liberou 120 espécimes, foram liberados, 40 em cada uma das duas turbinas em um local específico, e 40 utilizados como um grupo de peixes comparativos de controle.

### **Recaptura dos peixes.**

Segundo o biólogo responsável pelos testes, a velocidade da água era entre 3,6 a 4,5 metros por segundo perto da ogiva, e se reduz para algo entre 1,8 a 2,4 metros por segundo, quando o peixe saía da turbina, já em jusante. Neste ponto, os balões começavam a inflar e outros biólogos em barcos, com acompanhamento de antenas sintonizadas para a frequência do rádio transmissor, recolhiam os peixes facilmente para fora da água, pois os 2 balões os faziam flutuar, como se fosse um jaleco salva vidas. A dispersão dos peixes na jusante, após a passagem pelas turbinas e saindo pela sucção, era rastreada à partir dos sinais dos rádio transmissores. A localização da maior parte dos peixes recapturados foi determinada pelo uso de tecnologia GPS (Global Positioning System). Os peixes, enquanto ainda submersos, eram monitorados por várias embarcações, e eram recapturados quando vinham à superfície, ou seja, quando os TAGs de balão se inflavam e conseqüentemente os faziam flutuar, ficando boiando na superfície. Geralmente, os barcos recapturavam os peixes aproximadamente 50 metros à jusante da casa de força.

Para minimizar a ação de seu predador natural, as gaivotas, um funcionário do Departamento de Agricultura Regional espantava e até poderia tomar uma atitude mais drástica, como eliminar as gaivotas que freqüentavam a zona de recuperação de peixes. Torna-se importante

salientar que, naquele estado existe um programa para minimizar a ação predatória das gaivotas sobre os filhotes de salmão, implantado desde 16 de dezembro de 1999, justamente com o intuito de aumentar as chances de sobrevivência desta espécie de peixe.

Assim que recapturados, os peixes eram colocados em um sistema de manutenção de vida à bordo dos barcos, e seus TAGs eram removidos ainda à bordo. Cada peixe era analisado. Era verificada a existência de perda de escamas e lesões, e atribuídos códigos relativos à gravidade de seus ferimentos. Os peixes recapturados eram transferidos com baldes para um dos tanques existentes em terra. Lá, eram observados por um período adicional de 48 horas para avaliação das condições de sobrevivência pós recaptura, e verificada uma possível mortalidade durante este período.

### **Classificação dos peixes recapturados.**

O estado imediato de um indivíduo na ocasião da recaptura foi descrita e classificada como :

1. vivo,
2. morto,
3. desconhecidos,
4. machucado por ação predatória,
5. recaptura de balões soltos.

Os seguintes critérios foram estabelecidos para definir essas denominações:

1. vivo - recapturados vivos e assim permanecendo durante 1 hora; ou quando o peixe não veio à superfície para ser recapturado, porém, os sinais do rádio transmissor indicavam movimento em padrões típicos de peixes juvenis;
2. morto - recapturados mortos, ou que tenham morrido dentro do intervalo de tempo de 1 hora após sua recaptura, ou quando os balões inflados eram recapturados sem o peixe, e a telemetria do radio transmissor não mostrasse indicação de movimento;

3. desconhecido - quando nem TAGs, ou peixes eram recapturados, e não havia sinais de rádio ou, apenas breves sinais, não sendo suficientes para sua localização ou avaliação;
4. machucado por ação predatória - quando foi observado os peixes sendo atacados pelas gaivotas, seus predadores naturais, ou eram recapturados com marcas claras de bicadas e/ou mordidas, ou a rádio telemetria conseguiu monitorar aqueles que perderam os TAGs balão infláveis (em decorrência do ataque), indicando movimentos rápidos dos peixes fora das águas turbulentas, avaliado como peixe machucado.

### **Classificação das lesões nos peixes recapturados.**

As lesões foram avaliadas imediatamente após sua recaptura e, posteriormente durante um exame mais detalhado depois de expirado o prazo de 48 horas do período de observação. Lesões e perdas de escamas foram categorizadas por tipo e extensão de tamanho da área corporal. Um peixe era classificado como descamado, se mais de 20% de escamas estavam faltando em um lado.

Peixe sem quaisquer tipos de lesões visíveis, porém, que não conseguiam nadar ativamente, foram classificados como portadores do efeito de "perda de equilíbrio". Esta condição já foi verificada em estudos anteriores e, muitas vezes, desaparece dentro de 10 a 15 minutos, após recaptura.

Simultaneamente foram tiradas fotografias dos ferimentos para registro posterior. Os peixes vivos com lesões visíveis foram fotografados apenas após o período de 48 horas de observação.

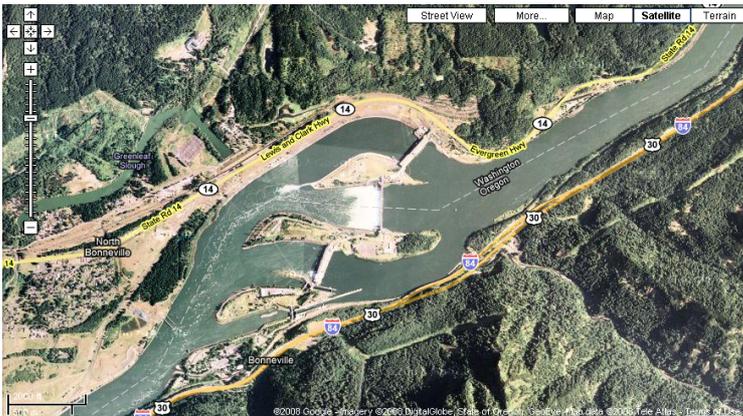
Caso a mortalidade ocorresse após 1 hora da recaptura, o peixe era considerado como pertencente aos grupos de peixes que morreram nas 48 horas seguintes ao teste, ou seja, durante o período de observação. Durante o período de observação de 48 horas, os peixes eram avaliados em intervalos de 12 horas. Peixes mortos foram identificados pela etiqueta numerada VI e necropsiados para determinar a potencial causa da morte.

### 3.4.2 Resultados comparativos com turbinas tipo “Fish Friendly”

#### 3.4.2.1 Hidrelétrica de Bonneville

##### Detalhes construtivos da Hidroelétrica de Bonneville.

Bonneville é o nome da última barragem construída no rio Columbia sentido rio abaixo, ou seja, para quem segue seu percurso até o mar (está a 235 km da foz) localizado a leste de Portland, no Estado de Oregon / USA. A hidroelétrica é constituída por duas casas de força, ou casas de máquinas, um vertedouro central e uma eclusa. A primeira casa de força foi concluída em 1938 e está localizada entre a margem do estado de Oregon e a ilha Bradford Island. A segunda casa de força foi construída em 1982, e está localizada entre a margem do estado de Washington e a ilha de Cascades Island. O vertedouro, composto por 18 comportas, cada uma com pouco mais de 15 metros de largura, está localizado entre a ilha de Cascades Island e a ilha de Bradford Island.



Extrato do Google Earth

Usina de BONNEVILLE,  
Vista por satélite



Google Earth - ID: 11290323 por Sam Beebe / Ecotrust

Usina de BONNEVILLE,  
Vista aérea por montante

Figura 22 : Detalhes ilustrativos da usina de Bonneville.

A primeira casa de força contém 10 unidades geradoras verticais equipadas com turbinas tipo Kaplan de pás ajustáveis, cada uma com vazão hidráulica de aproximadamente de 385 metros cúbicos por segundo. Cada turbina Kaplan convencional instalada, tem uma roda de diâmetro de 7112 milímetros, possui 5 pás, e uma velocidade nominal de 75 rotações por minuto (rpm). É composta por 2 unidades de 43 MW e 8 unidades de 54 MW. Já a segunda casa de força, tem instaladas 8 unidades de 66,5 MW.

As comportas do vertedouro são levantadas para permitir a passagem do excesso de vazão dos rios, podendo assim a água passar livremente à uma profundidade de aproximadamente 15 metros, abaixo da superfície do nível de montante da represa. Estas comportas são normalmente abertas de 0,3 a 2 metros, para facilitar a passagem ou migração no sentido jusante de filhotes juvenis de peixes salmonídeos.

### **Testes biológicos na Usina de Bonneville.**

No início de novembro de 1999, Normandeau Associates iniciou testes biológicos na Unidade 6. Estes testes, também chamados de análises biológicas, foram financiados pelo U.S.ARMY CORPS OF ENGINEERS - COE, pelo Grant PUD, Órgão Distrital de Utilidade Pública n ° 2 do Condado de Grant, pelo Departamento de Energia Americano (USA), e pela Bonneville Power Administration.

Em Bonneville, vinte e dois biólogos trabalharam neste estudo, à um custo estimado de US\$ 2,5 milhões de dólares americanos, financiado pela COE, DOE e Grant PUD. O Dr.Dennis Schwartz, biólogo do COE, foi o gestor deste projeto. Entre 15 de novembro de 1999 e 31 de janeiro de 2000, foram liberados 7200 peixes em diferentes condições de testes. Os testes com passagem de peixes foram realizados em quatro vazões turbinadas distintas, sendo de 6200, 7000, 10500, e 12000 CFS (pés cúbicos por segundo), pelos padrões americanos, e que correspondem respectivamente a: 175,5; 198; 297 e 340 metros cúbicos por segundo. As turbinas geralmente operam com uma queda de 60 m. A queda bruta durante estes testes foi mantida constante, em 57 m. Os ensaios foram realizados na unidade 5 (já existente) e na nova turbina instalada na unidade 6 (tipo *fish friendly*). Todos os testes foram realizados com as telas para desvio de peixes instaladas na tomada de água. Todos os filhotes juvenis de Salmão tipo Chinook utilizados em testes na usina de Bonneville, vieram da incubadora e criadouro de peixes de Leavenworth, no Estado de Washington / USA. Estes peixes tiveram

de ser transportados até a usina, em grupos de aproximadamente 750 peixes por vez, em tanques montados sobre caminhões.

### Lançamento de peixes na Usina de Bonneville

Para certificar-se de que os peixes dos testes passassem pela zona especificada em avaliação, construíram-se tubulações de aço, que levavam os peixes desde o local de inserção até o pré distribuidor. O lançamento era localizado fora da usina em montante perto da tomada de água. Foram instalados 3 ramos de tubulações em paralelo, sendo que, cada uma desembocava em uma altura diferente do pré distribuidor entre suas palhetas fixas. Foi demonstrado que o fluxo de água que passa pelo pré distribuidor na sua região mais baixa, atravessa a turbina na sua região mais externa, ou seja, na borda das pás da roda Kaplan. Similarmente, aquele fluxo de água que passa pelo pré-distribuidor na parte axialmente mais elevada, atravessará a turbina mais próxima da ogiva Kaplan. Analogamente, aquele fluxo de água que flui na metade da altura axial do pré-distribuidor, atravessa a turbina na parte central das suas pás.

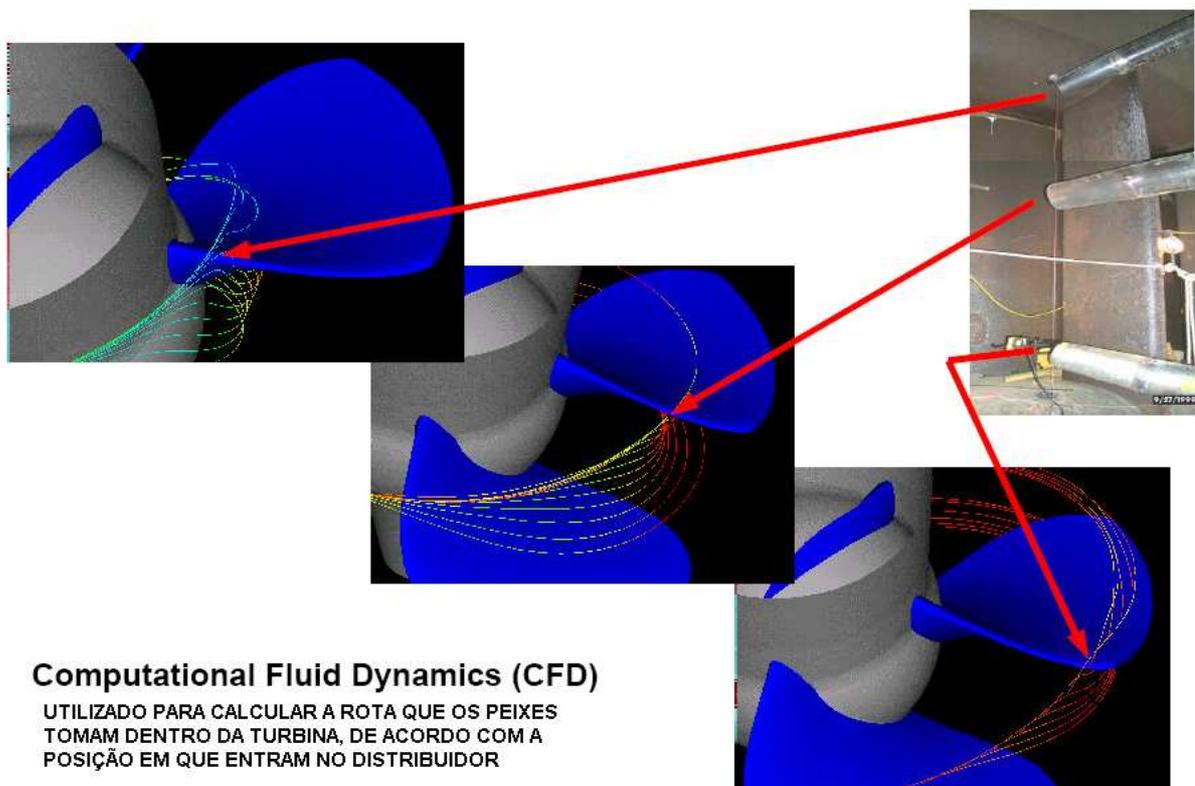


Figura 23 : Estudos em CFD - análise computacional de fluídos, para Bonneville.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Fotos gentilmente cedidos pela empresa Voith Inc / York / USA

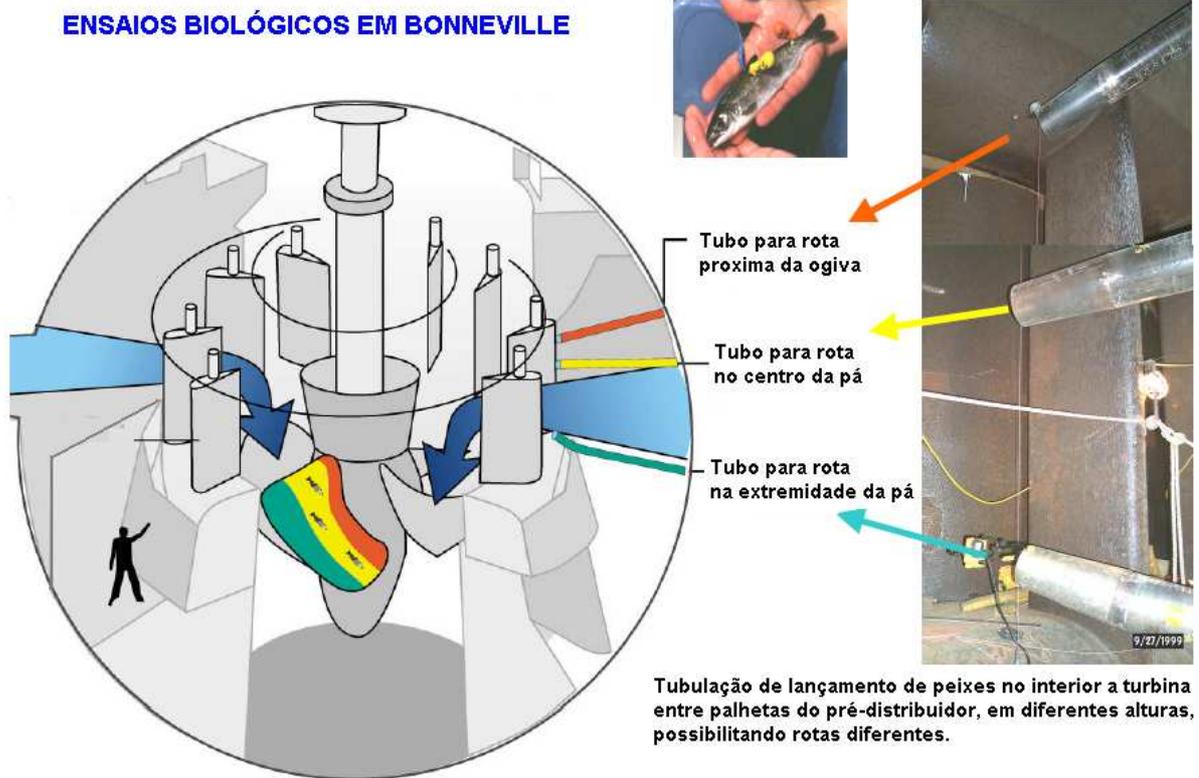


Figura 24 : Esquema de tubulação para lançamento localizado em Bonneville.<sup>6</sup>

Os tubos foram concebidos para terem velocidades de saída próximas aos valores da velocidade da água no local da libertação, no interior da turbina, próximo às pás diretrizes do pré-distribuidor. Minimizando assim as chances dos peixes serem prejudicados por distúrbios hidráulicos na sua saída dos tubos. Os três tubos de libertação foram posicionados de tal maneira que, se evitasse um possível choque dos peixes no teste com as pás do pré-distribuidor ou, com as palhetas móveis do aparelho distribuidor.

A saída para liberação do tubo inferior foi alocada em 15% da altura axial do pré-distribuidor, o tubo de lançamento central em 50%, e o de lançamento superior à 85% da altura axial. Realizaram-se testes nos laboratórios do U.S.CORPS OF ENGINEERS (COE) WATERWAYS EXPERIMENTAL STATION em um modelo em escala de uma máquina Kaplan similar, onde constatou-se que estes locais de lançamento deveriam satisfazer as necessidades, e enviar os peixes aos locais desejados dentro da turbina, para as rotas sob avaliação. Cada dia se alternava o local de lançamento, assim, a rota de passagem variava dia a dia.

<sup>6</sup> Fotos gentilmente cedidos pela empresa Voith Inc / York / USA

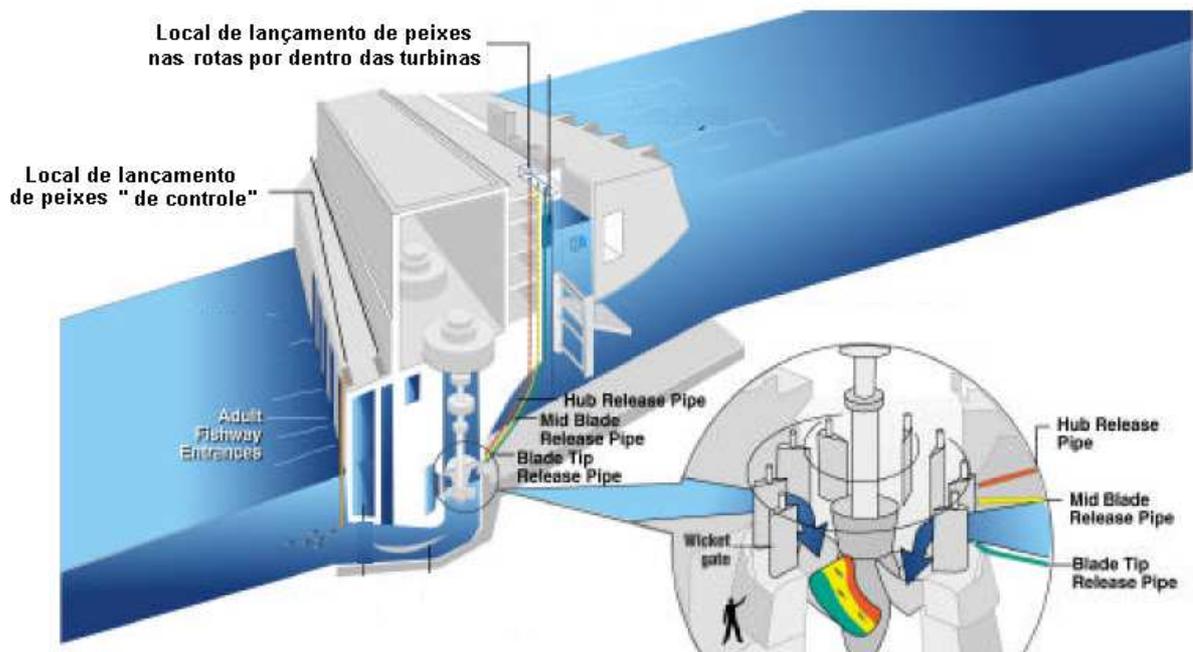


Figura 25 : Localização dos lançamentos dentro das turbinas e dos peixes de controle durante estudo biológico em Bonneville.

### Resultados da Usina de Bonneville.

Como já descrito, o sistema tubular, que desemboca em três diferentes pontos da região do pré-distribuidor, consegue garantir que os peixes passem por certa rota pré-determinada, dentro da turbina girando.

No total foram doze distintas condições de análise em separado, para cada uma das duas turbinas (4 níveis potência x 3 rotas de passagem). Estas condições foram testadas aleatoriamente para que, depois de 12 dias, cada uma pudesse ser estudada uma vez. Sempre quando possível, os peixes eram lançados no mesmo dia para a mesma condição de rota e potência em ambas as turbinas. Assim, por exemplo, os peixes foram liberados para passar perto da ogiva, em ambas as turbinas, no mesmo dia e em ajustes de potência idênticos.

As avaliações das lesões nos peixes utilizados em todas as condições de testes em máquina antiga, com turbina Kaplan convencional, foram realizadas na unidade de número 5. Já, os mesmos testes em máquina nova, equipada com turbina tipo “fish friendly”, foram realizados na máquina de número 6.

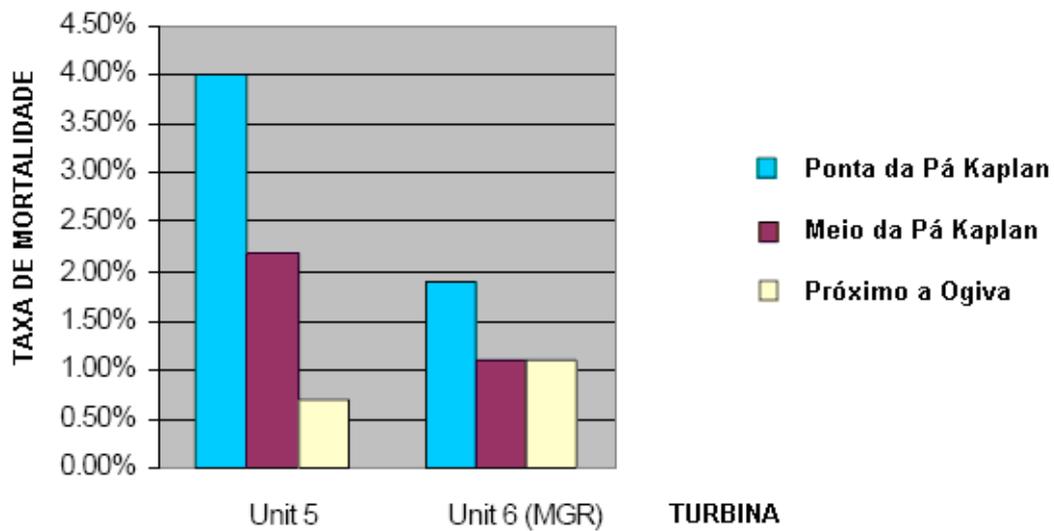


Figura 26 : Comparativo de taxas de mortandade entre turbina convencional vs. tipo MGR.

Fonte : FISHER et al, “Initial Test Results of the New Kaplan Minimum Gap Runner Design on Improving Turbine Fish Passage Survival for the Bonneville First Powerhouse Rehabilitation Project”, Figura 7 , Pág 8.

Como resultado, observou-se que as lesões em todos os peixes recapturados em todos os 3 pontos de soltura e em todas as condições operacionais, foram reduzidas pelo uso das turbinas modificadas.

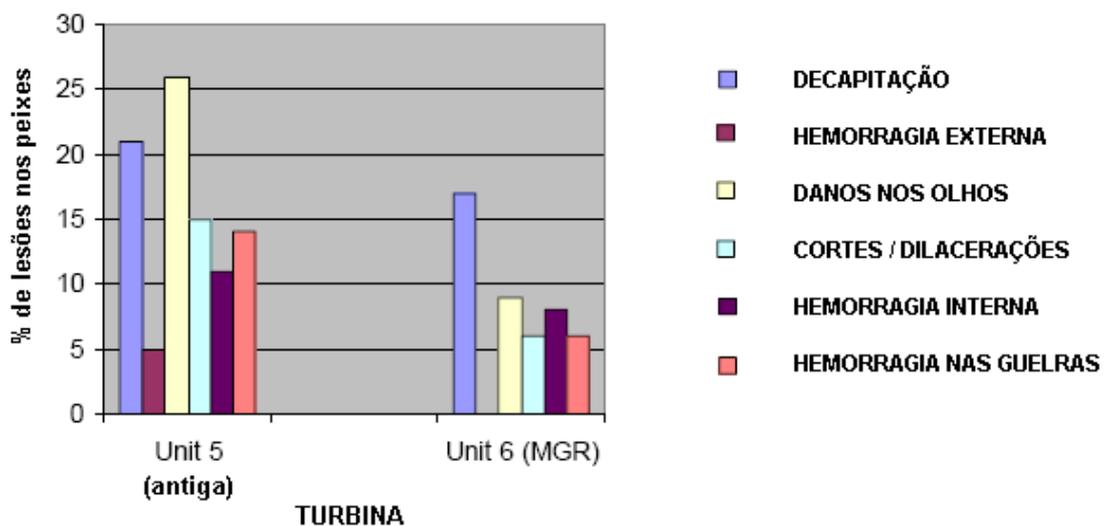


Fig : distribuição porcentual de lesões naos peixes comparativamente em ambas unidades

Figura 27 : Distribuição porcentual de tipos de lesões nos peixes, comparando-se ambos os tipos de turbina - convencional versus MGR.

Fonte : Fisher et al, “Initial Test Results of the New Kaplan Minimum Gap Runner Design on Improving Turbine Fish Passage Survival for the Bonneville First Powerhouse Rehabilitation Project”, Figura 8 , Pág. 9.

Com base na análise dos resultados estatísticos médios, as lesões analisadas no modelo de turbina tipo “*fish-friendly*”, como na Unidade 6, obtiveram uma redução de ocorrência de 40% em comparação com os valores analisados em uma turbina original, no caso, na Unidade 5. Vale lembrar que, as lesões analisadas são apenas aquelas causadas ou associadas à roda da turbina, e não incluem as lesões que podem ser causadas pela caixa espiral, palhetas do pré-distribuidor ou pás do distribuidor, pois, os peixes foram liberados dentro da turbina, de tal maneira que passavam entre as palhetas do pré-distribuidor e com as pás do distribuidor abertas em uma posição determinada. Sendo assim, as lesões analisadas representam apenas as lesões ocasionadas na zona da região das pás da turbina, através da qual os peixes passaram.

Observou-se também que a Unidade 5 equipada com turbina Kaplan convencional, apresentou uma mortalidade mais elevada em comparação com a nova Unidade 6, devido aos espaços de abertura das pás na nova unidade não existirem, garantindo assim a eliminação de uma armadilha à passagem dos peixes.

Um dos objetivos do teste foi avaliar a hipótese de que as maiores chances de sobrevivência de peixes na passagem por dentro de turbinas em operação, variava de acordo com o ponto de operação da turbina, mas não tinha correlação com o ponto de operação na melhor eficiência. Teorias anteriores tinham proposto que a turbina operando no ponto de melhor eficiência, seria coincidente com o ponto de maior sobrevivência dos peixes (Bell, 1981). Baseado nesta hipótese, foram impostas restrições operacionais. Consequentemente, usinas equipadas com turbinas Kaplan instaladas no Rio Columbia e operadas pelo U.S.CORPS OF ENGINEERS – COE, deveriam manter as turbinas funcionando com cargas próximas ao desvio máximo de 1%, da máxima eficiência operacional. Portanto, os testes em Bonneville foram concebidos para considerar o efeito de uma variedade de condições de funcionamento (descargas, potências, e eficiência), sobre às possibilidades de sobrevivência nos peixes que passavam pelo seu interior. A primeira unidade substituída foi a Unidade 6 (colocada em operação comercial em 27 de julho de 1999) e, em seguida a Unidade 4 (setembro 1999). As demais oito unidades foram substituídas, à taxa de uma por ano, com conclusão em 2008.

Peixes falsos de sensoramento, também foram utilizados no estudo em Bonneville. O peixe artificial com tamanho similar a um jovem salmão, foi desenvolvido pelo Pacific Northwest National Laboratory - PNNL, para melhor entender as condições físicas, às quais eram expostos os peixes durante a passagem dentro de uma turbina. O peixe falso é instrumentado para medir e registrar pressões, esforços, temperatura, momentos torcionais, aceleração e outros parâmetros hidráulicos verificados durante a passagem. Tal como os peixes verdadeiros e vivos, estes peixes artificiais foram anexados à TAGs com balão inflável, e introduzidos na turbina pelos mesmos tubos de lançamento, e recuperados à jusante. Maiores detalhes sobre os peixes falsos e seu desenvolvimento, está descrito mais adiante em item específico deste texto ( FISHER, R. et al, 2000 ).

### 3.4.2.2 Hidroelétrica de Wanapum

#### Detalhes construtivos da Hidroelétrica de Wanapum

A Grant PUD, Órgão Distrital de Utilidade Pública n ° 2 do Condado de Grant localizada na região leste do Estado de Washington / USA, é a operadora do Complexo Priest Rapids, constituído pelas Hidroelétricas de Wanapum e de Priest Rapids ambas no rio Columbia.



Extrato do Google Earth

Usina de WANAPUM,

Vista por satélite



Usina de WANAPUM,

Vista aérea por jusante

Figura 28 : Fotos ilustrativas da Hidroelétrica de Wanapum.

Grant PUD é uma empresa pública criada em 1938. Em 1955, a Comissão Federal de Energia, agora chamada de Comissão Federal Reguladora da Energia – FERC, emitiu uma licença de 50 anos de operação para o Projeto Priest Rapids, o maior projeto hidroelétrico não federal daquele estado, com 1.755 MW de capacidade instalada. A licença original expirou em 2005 e, após uma licença anual provisória pela FERC, se renovou a licença por mais 50 anos.

A barragem de Wanapum se localiza à montante da barragem de Priest Rapids, no rio Columbia. A hidroelétrica da barragem de Wanapum contém 10 turbinas Kaplan verticais convencionais, cada uma com potência nominal de 89,5 MW (equivalente a 120.000 HP) com queda líquida de 24,4 m (80 ft). As turbinas têm uma velocidade nominal de rotação de 85,7 rpm e um diâmetro de rotor de 7,2 m de diâmetro (285 polegadas). Cada roda possui 5 pás reguláveis, a turbina tem 16 palhetas no pré-distribuidor e 20 pás reguláveis no distribuidor.

### **Testes da Usina de Wanapum**

Como parte dos compromissos assumidos pela operadora das usinas de Priest Rapids, visando aumentar a sobrevivência dos juvenis de salmonídeos, que passam por suas instalações durante o período de migração sentido jusante, a Grant PUD apresentou em outubro de 2003 para a FERC, a proposição de troca de equipamentos, substituindo as turbinas, por novas com design tipo *fish friendly*. Solicitou autorização para operar e testar uma Turbina deste tipo na hidrelétrica de Wanapum, onde 70% dos jovens salmonídeos se utilizam do caminho por dentro da turbina durante sua rota migratória rio abaixo.

As máquinas novas, além de contribuírem para diminuição da mortalidade de peixes, devido às suas características construtivas, teriam outro benefício, no caso econômico, pois, permitem maior geração de energia. Isto, é consequência de suas rodas de turbina terem seu diâmetro aumentado de 7239 milímetros para 7747 milímetros nas unidades existentes, o que, em conjunto com demais alterações de projeto, proporciona um aumento de 89.520 kW para 111.855 kW.

Com a previsão de que os resultados fornecidos pelos testes biológicos, nos quais se demonstraria que a taxa de sobrevivência de jovens salmões ao passarem por dentro da turbina nova, é no mínimo igual, e provavelmente até maior do que nas máquinas existentes, a

comissão federal FERC emitiu em julho de 2004, uma licença que autoriza a substituição das nove unidades restantes desta usina. Como consequência, Grant PUD patrocinou este estudo biológico para comparar a sobrevivência de peixes que passam pela recém instalada Unidade 8 com turbina modificada, e em uma turbina original existente, no caso a Unidade 9 (DRESSER T.J. et al, 2006 ).

Em 1992, Grant PUD solicitou ao fabricante de turbinas e equipamentos Voith, que realizasse estudos visando à substituição das rodas das turbinas da hidroelétrica de Wanapun. Foi desenvolvido um modelo em escala de 1 para 20 da roda existente, para avaliação e análise de cavitação e performance.

Já em 1996, parte dos estudos financiados pelo US Department of Energy - DOE, foi aplicado em análise computacional da dinâmica dos fluídos (CFD) e utilizou-se a avaliação do fluxo de água por dentro das turbinas, para prever a trajetória de peixes durante a passagem nas máquinas. A análise em CFD, indicou que peixes que entrassem na tomada de água à 10 m (30 pés) de profundidade, eram levados à passarem entre as palhetas do pré-distribuidor e as pás do distribuidor à meia altura axial delas, e assim por sua vez passarão dentro da turbina no centro da pá Kaplan. Também foi determinado por este estudo, que os peixes que entrassem na tomada de água à 3 metros (10 pés) de profundidade, seriam levados à parte superior entre as palhetas do pré-distribuidor e do aparelho distribuidor, e assim lançados na roda da turbina em seu raio menor, ou seja, perto da ogiva Kaplan.

Nestes testes, os peixes também vieram de um criadouro e incubadora de peixes. Foram usados jovens salmões que estavam tagueados com balões infláveis e rádio transmissores. Os peixes possuíam um comprimento entre 135 a 210 mm, com média de 169 mm. Foram liberados um total de 7.325 peixes monitorados pelas turbinas e, adicionalmente mais 1447 chamados peixes de controle, que eram liberados nas mesmas condições de cada teste, porém, diretamente na jusante, podendo-se assim comparar quais as lesões eram originários dentro da turbina, e quais foram causadas após passagem até serem recolhidos em jusante.

### Lançamento de Peixes na usina de Wanapum

Durante o ano de 1996, na época de migração do jovem salmão para rio abaixo, foi realizado em Wanapum por Normandeau Associates um estudo sobre a sobrevivência dos peixes que passavam por dentro das turbinas, encomendado por Grant PUD.

Este estudo forneceu as estimativas de sobrevivência observada na tabela 4 à seguir, utilizando a metodologia de marcação com balão TAG, soltura e recaptura. Estes peixes foram libertados diretamente na tomada de água da turbina em duas profundidades diferentes, sendo um ponto à 3 metros (10 pés) abaixo da cota da represa em montante e à 10 metros (30 pés) abaixo desta cota. Estes testes foram conduzidos em quatro condições de vazão, sempre com a queda líquida constante.

<b>Vazão turbinada</b>	<b>Eficiência</b>	<b>Soltura a 3m de profundidade (10 pés)</b>	<b>Soltura a 10m de profundidade (30 pés)</b>
<b>m<sup>3</sup>/s ( pes<sup>3</sup>/s )</b>	<b>( % )</b>	<b>Taxa sobrevivência ( % )</b>	<b>Taxa sobrevivência ( % )</b>
250 ( 9.000 )	93,5	89,7	95,6
310 ( 11.000 )	94,2	92,4	97,4
425 ( 15.000 )	92,7	94,8	100
480 ( 17.000 )	88,6	89,0	97,4

Tabela 4 : taxas de sobrevivência para diferentes condições nas turbinas originais

Fonte: RAIMOND O.E. et al, “Advances in turbine development for fish survival”, Tabela 1, pág. 3.

Diferente do estudo desenvolvido em Bonneville, aqui também comparou-se duas turbinas diferentes, porém, com lançamento de peixes direto nas 3 diferentes aberturas da tomada de água (A, B e C) em 2 níveis de profundidade, respectivamente 3 e 10 metros, e repetindo tudo em 4 condições operacionais diferentes, no caso com vazões diferentes, respectivamente 255, 310, 425 e 480 metros cúbicos por segundo, o que corresponderia à eficiências de 93,51%, 94,23% (máxima), 92,75% e 88,57% (faixa limite para operar sem cavitação). Foram utilizados 40 peixes para cada condição de teste, sendo que, mais de 88% deles foram recuperados em jusante. A maior perda de peixes, ou seja, que não foram recuperados por perda de seus TAGs, são dos grupos de teste inseridos no lançamento de maior altura axial,

sendo aqueles que passam mais perto da ogiva. Acredita-se que, nestes casos, estas perdas de TAGs foi consequência das excessiva turbulência hidráulica. Houve adicionalmente alguns testes secundários. Como, por exemplo, lançamentos especiais com peixes imobilizados para avaliar a hipótese de que, o peixe ativo tem a possibilidade de exercer a escolha do caminho e se mover entre as zonas previamente estabelecidas durante a passagem, desde a tomada de água até o interior da turbina.

### **Resultados da usina de Wanapum**

Os dados de recuperação dos peixes lançados em Wanapum, tanto dentro da turbina, como daqueles de controle lançados em jusante, foram modelados por funções estatísticas de valores médios e fatores de desvio.

A principal surpresa no resultado, que causou até preocupação, é que os dados apresentados indicavam desempenho similar ou ligeiramente pior, no quesito sobrevivência dos peixes que passavam por dentro da turbina nova, em relação à turbina convencional antiga (DRESSER, THOMAS J. J. et al, 2006 ). A sobrevivência total medida estatisticamente depois de finalizado o período de 48 horas de observação pós recaptura, para a nova turbina, a Unidade 8, era de 97,0%, enquanto que na turbina existente, a Unidade 9, foi de 97,5%. A diferença estatística não foi significativa ( $P \geq 0,05$ ) ou seja, quase desprezível. Houve variações de resultado de acordo com as variantes da zona de lançamento, e vazões turbinadas. Avaliando-se os peixes inseridos à 3 metros de profundidade, a porcentagem de sobrevivência total após o período de 48 horas de observação após recaptura, excedeu na turbina nova os valores observados da turbina antiga. Respectivamente, 98,5% contra 97,9% na antiga, vide dados da tabela 5, a seguir. No entanto, no lançamento à 10 metros de profundidade, a mesma taxa de sobrevivência dos peixes após um período de 48 horas foi significativamente menor na turbina nova ( $P \leq 0,05$ ). A média geral da taxa de sobrevivência para peixes lançados à 10 metros de profundidade na turbina nova, foi de 95,4% contra 97,1% para a turbina existente. Esta menor taxa de sobrevivência observada na nova Unidade 8 nos peixes lançados à 10 metros de profundidade tem diferentes fatores causadores. Com base em estudos de modelo e com modelagem computacional em CFD, além de estudos com utilização de peixes falsos, do tipo de sensoreamento, provou-se que peixes liberados à 10 metros de profundidade passaram perto do centro da pá da turbina Kaplan, em ambas as Unidades. Como há uma diferença na sua configuração, ou seja, o numero de pás (rotor Kaplan de cinco pás na Unidade 9, contra

rotor de seis pás na nova Unidade 8), há maiores chances de colisão, o que pode ter contribuído pela menor taxa de sobrevivência nos peixes na nova turbina da Unidade 8. Mesmo assim, foi interessante constatar a grande taxa de sobrevivência média em ambas as unidades.

<b>PROFUNDIDADE (metros)</b>	<b>VAZÃO (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>UNIDADE 8 (nova)</b>	<b>UNIDADE 9 (existente)</b>	<b>DIFERENÇA</b>
3	255	0,9956	0,9779	+ 0,0177
3	310	0,9947	0,9933	+ 0,0014
3	425	0,9804	0,9787	+ 0,0017
3	480	0,9687	0,9650	+ 0,0037
média		0,98485	0,97872	
10	255	0,9465	0,9765	- 0,03
10	310	0,9672	0,9523	+ 0,0149
10	425	0,9628	0,9736	- 0,0108
10	480	0,9404	0,9825	- 0,0421
média		0,95422	0,97122	

Tabela 5 : Levantamento estatístico das taxas de sobrevivência em Wanapum.

Fonte : DRESSER, THOMAS J.Jr. et al, “Wanapum Dam Advanced Hydro Turbine Upgrade Project: Part 1 - Passage Survival and Condition of Yearling Chinook Salmon Through an Existing and Advanced Hydro Turbine at Wanapum Dam, Mid-Columbia River, USA.”, tabela 1, pag. 6

Segundo literatura <sup>7</sup> há indicações que a maior parte dos salmonídeos juvenis entram nas tomadas de água pela parte superior, ou seja, estão a poucos metros de profundidade, sendo

<sup>7</sup> Conforme citado na página 6 em artigo publicado por THOMAS J.DRESSER Jr. et al, “Wanapum Dam Advanced Hydro Turbine Upgrade Project: Part 1 - Passage Survival and Condition of Yearling Chinook Salmon Through an Existing and Advanced Hydro Turbine at Wanapum Dam, Mid-Columbia River, USA.”, apresentado na Conferencia HydroVision 2006, em Portland, Oregon, USA.

assim conseqüentemente, a taxa de sobrevivência das turbinas novas deve ser mais elevada que nas antigas.

Um estudo realizado em Wanapum durante o ano de 1984, mostra variação na distribuição de peixes pela escala de profundidade, e que na profundidade da faixa de 0 a 5,5 metros, passam 78,4% dos salmões, enquanto que os 21,6% restantes estão na faixa de 4,5 a 25,6 metros de profundidade. Se, considerada esta distribuição na vertical, ao volume de peixes, resultará que as novas turbinas terão uma taxa de sobrevivência média de 97,8% contra 97,7% nas existentes, maior, porém nada significativo. Trata-se da aplicação de um simples exercício matemático.

Além da taxa de sobrevivência, também se analisaram estatisticamente os peixes chamados sãos e intactos depois de recapturados, ou livres de injúrias, sendo considerados aqueles que não apresentavam qualquer tipo de dano visual, sem perdas de escamas e sem observar-se efeito de perda de equilíbrio, durante o período de observação de 48 horas posterior à recaptura. A tabela 6, a seguir, registra as diferenças estatísticas de peixes sãos e livres de injúrias, considerando a profundidade e vazões. Apenas na condição de 3 metros de profundidade e com vazão de 255 m<sup>3</sup>/s, a nova versão de turbina demonstrou resultados melhores que a unidade antiga. Porém, se aplicada a distribuição vertical de peixes, por profundidade, a média porcentual da unidade nova seria 98,1 contra 97,8, o que não é nada significativo.

As lesões observadas nos corpos dos peixes recapturados por causa mecânica ou pelo efeito do jato da água consistem principalmente em cortes, contusões, arranhões e decapitação. Os peixes também apresentaram hemorragias, olhos esbugalhados, cortes nas guelras, e/ou hemorragias internas. Não havia um tipo de lesão predominante, exceto que nos peixes lançados em 10 metros da unidade antiga, havia maior incidência de decapitação e de danos graves ao corpo, do que naqueles na unidade nova (8,2% contra 1,0%). Nos testes adicionais realizados na nova unidade 8, comparando peixes imobilizados com peixes livres e ativos, os resultados foram insignificantes.

---

PROFUNDIDADE (metros)	VAZÃO (m <sup>3</sup> /s)	UNIDADE 8 (nova)	UNIDADE 9 (existente)	DIFERENÇA
3	255	0,9896	0,9723	+ 0,0173
3	310	0,9806	0,9840	- 0,0034
3	425	0,9750	0,9831	- 0,0081
3	480	0,9676	0,9779	- 0,0103
média		0,9782	0,9793	
10	255	0,9634	0,9907	- 0,0273
10	310	0,9467	0,9708	- 0,0241
10	425	0,9490	0,9675	- 0,0185
10	480	0,9554	0,9714	- 0,0160
média		0,9536	0,9751	

Tabela 6 : Tabela estatística de peixes sãos sem qualquer tipo de dano físico e sem observação de perda de equilíbrio, em Wanapum.

Fonte : DRESSER, THOMAS J.Jr. et al, “Wanapum Dam Advanced Hydro Turbine Upgrade Project: Part 1 - Passage Survival and Condition of Yearling Chinook Salmon Through an Existing and Advanced Hydro Turbine at Wanapum Dam, Mid-Columbia River, USA.”, tabela 2, pag. 7

### 3.4.2.3 Resultados em vertedouros

Um outro caminho que conecta fluxo de água entre montante e jusante da barragem, existente em todas as represas, são os vertedouros. Estes também são atrativos aos peixes para serem utilizados como passagem.

A grande inconveniência neste caso é a forma construtiva da rampa, cujo formato geralmente tem perfil de rampa de salto de esqui, especialmente projetado para permitir uma dissipação

da força exercida pela pressão da água que flui em alta velocidade, evitando assim, danos ao leito do rio na região do impacto quando atinge a jusante. Considerando-se porém, que estamos analisando barragens de baixa queda, a água que flui, não chega a atingir altas velocidades e, em alguns casos, a parte inferior da comporta segmento do vertedouro estará submersa no leito do rio em jusante. No caso aqui relatado, referente a estudos executados na hidroelétrica de Bonneville nos Estados Unidos da América, a construção, sendo muito antiga, é conceitualmente diferente das comportas segmento da atualidade, pois, são comportas vagão acionados axialmente, abrindo por baixo, quase que diretamente no nível em jusante. Alguns dos vertedouros, tem na sua rampa de saída, estruturas dentadas dentro da água em jusante para dissipar esta força.

Em Bonneville, como fator mitigador para permitir a migração rio abaixo, as comportas de vertedouro ficam abertas no período de migração. Sempre lembrando que, a água que passa pelo vertedouro não gera energia, e como o período é longo, durante este período haverá máquinas ociosas na usina, não gerando energia, deixando assim de ser vantagem comercial.

O COE realizou estes estudos em diferentes tipos de vertedouros utilizando-se da mesma metodologia de soltura de peixes tagueados com balões e recaptura em jusante, e analisando suas condições, e estado imediato após recaptura e posteriormente, após um período de observação de 48 horas.



Figura 29 : Foto do Vertedouro de BONNEVILLE.

### 3.4.3 Peixes falsos - “*the sensor fish*”

Sómente os peixes sabem o que realmente acontece com eles quando percorrem um trajeto específico que se deseja estudar. À quais condições são submetidos, a que pressões são expostos, existência de turbulências, impactos com obstáculos, etc.. Porém, nada disto pode ser transmitido ou informado pelo peixe a um biólogo, ou cientista. Para descobrir isto, desenvolveu-se então um peixe falso, artificial, equipado com diversos sistemas de sensoriamento e registro, visando assim, coletar dados durante um trajeto específico.

Desenvolvido por cientistas do Pacific Northwest National Laboratory - PNNL, é um dispositivo com sensores de coleta de dados que mede as forças às quais os peixes são submetidos, durante a passagem por projetos hidroelétricos. (CARLSON, THOMAS J. et al, sem data)

O dispositivo contém acelerômetros, um microprocessador, um sensor de pressão, um amplificador analógico digital, memória digital, conexão para computador, tudo integrado numa cilindro de policarbonato transparente. É alimentado por baterias padrão AAA. Sua flutuabilidade é neutra, (como um peixe vivo, ele não flutua ou afunda), e conseqüentemente o seu caminho imita filhotes durante a migração, no qual os fluxos em alta velocidade (entre 3 e 10 m/s) o levam a percorrer um caminho a jusante, com pouco controle sobre os seus movimentos. Neles, também são implantados TAGs balões especialmente concebidos para inflar, trazendo o dispositivo para a superfície. Acompanha um micro rádio transmissor, que ajuda a encontrá-lo e ser recuperado após conclusão do teste.

Os engenheiros desenvolveram dezenas de tipos de peixes sensores falsos desde que o PNNL desenvolveu esta idéia. Os primeiros modelos, com 15 centímetros de comprimento, eram emborrachados com perfil de peixe, possuindo uma cauda. Seu formato evoluiu, sendo remodelados até atingirem hoje um estágio mais durável em formato de tubos cilíndricos.

À partir dos dados, pode-se dizer quando o dispositivo está se movendo para frente e para trás, se é girado em torno de seu próprio eixo, se ele foi capturado em uma turbulência, ou se ele sofreu impacto ao colidir com uma estrutura da turbina. Os dados que são coletados usando o dispositivo, estão ajudando a visualização do percurso realizado por um peixe verdadeiro em seu caminho através da turbina. Este dispositivo fornece dados sobre condições

reais experimentadas pelos salmões jovens, quando passam por uma turbina em funcionamento.

Os peixes falsos, uma vez colocados na água, são apenas levados pelo fluxo, os seus minúsculos computadores internos medem, recolhem e armazenam dados enquanto atravessam a turbina. Na parte final do percurso os balões tipo “airbags” são inflados, o peixe falso flutua para a superfície, onde cientistas esperam em barcos para recolhê-los. Uma vez à bordo do barco, um cientista conecta um cabo ao peixe para transferência de dados para um computador. Após a recuperação dos dados, as memórias dos dispositivos são apagadas, as baterias são recarregadas, e são colocados novos balões, preparando o peixe falso para nova missão.

Os dados recolhidos ajudarão a identificar os locais mais vulneráveis durante a passagem para peixes, permitindo aos engenheiros desenvolver um design de turbina mais segura para os peixes. Pois, apenas conseguir dados oriundos de análise de peixes vivos, não possibilita associar as causas específicas dos tipos de lesões ou da morte. Com a utilização simultânea de peixes vivos, os peixes falsos fornecem um histórico físico, de amplitude de forças a qual é exposto, frequência de ocorrência destas forças e, quando associada à lesão registrada, os pesquisadores podem utilizar estas informações para identificar causadores de lesão.

Durante os testes biológicos realizados na Hidroelétrica de Wanapum, para avaliar as condições durante a passagem por dentro das turbinas em 2005, foram soltos mais de 7000 jovens salmões vivos, além da introdução e recuperação de 818 peixes falsos de tamanho similares aos reais, instrumentados para gravar pressão e a aceleração durante o mesmo trajeto. O peixe falso também foi lançado através da turbina da Hidroelétrica de Bonneville, demonstrando que os peixes que transitam pela parte mais profunda da tomada de água na turbina, sofrem menor turbulência, limitando aparecimento de tonturas. Tonturas estas, que facilitariam a posterior exposição aos predadores.

O primeiro modelo de peixe falso foi desenvolvido contendo um transdutor de pressão, acelerômetros, sensores de tensionamento, e pilhas, encapsulado em um corpo de polímero dielétrico moldado, tendo aproximadamente o mesmo tamanho de um jovem salmão Chinook (com 150 mm de comprimento). Infelizmente, o seu peso era de 160 g , 4 vezes maior que o

peso de um peixe filhote verdadeiro e sua flutuabilidade negativa complicava sua recuperação.



Figura 30 : O primeiro modelo de peixe falso desenvolvido pelo PNNL

Fonte : PNNL, The Sensor Fish.

Já, o novo modelo pesa aproximadamente o mesmo que um salmão jovem. Sendo assim, sua flutuabilidade é quase neutra na água, como a de um peixe, quando impulsionado pela água em movimento, nem afunda nem emerge. Seria suficientemente pequeno para ser implantado no interior, ou anexado no exterior a um salmão adulto verdadeiro, caso se queira realizar estudos assim.



Figura 31 : Foto do modelo novo de peixe falso

Fonte : PNNL, Advensor

### 3.4.4. Variações de pressão experimentadas por peixes

Pressão de água é expressa em quilopascal (kPa), sendo que:

**101,3 kPa = 1 atmosfera = 760 mmHg (milímetros de mercúrio) = 14,73 psi.**

A pressão da água aumenta com a profundidade, a uma taxa de 9,799 kPa por metro de profundidade (= 0,0294 atmosfera / pés = 0,434 psi / pés = 73,49 mmHg / m).

Assim, um peixe que vive próximo da superfície da água sofre ação de 101kPa, enquanto que um peixe que vive à 10m de profundidade sofre a ação de uma pressão de água de aproximadamente 200kPa (ABERNETHY C. S. et al, 2001).

Os peixes controlam a profundidade em que nadam, sendo assim, eles podem garantir que a taxa de variação de pressão em que são submetidos nos rios seja pequena, e não prejudicial à sua saúde. Peixes acostumados a viver em águas superficiais que são arrastados para dentro da turbina, experimentarão uma variação de pressão crescente durante o trajeto em que passam no sentido jusante. Essa elevação da pressão pode ocorrer em um período variando de segundos à minutos, dependendo de quanto o peixe resiste tentando nadar em contra fluxo na tomada de água. Quando o peixe passa pela roda da turbina, a pressão cai rapidamente, muitas vezes para abaixo da pressão atmosférica. Ocasionalmente, devido aos efeitos de cavitação em turbinas, as pressões à jusante da roda podem, momentaneamente, atingir valores abaixo da pressão de vaporização de água. Porém, caso isto aconteça, a passagem por esta zona de baixa pressão ocorre em alguns poucos segundos. Após sair pela sucção, à jusante, o peixe quando nada novamente próximo à superfície, é novamente exposto à pressões atmosféricas, ou até maiores, se o peixe resolver nadar para águas mais profundas.

#### 3.4.4.1 Simulações em laboratório de variações de pressão

##### 3.4.4.1.1 O equipamento

O sistema de simulação de efeitos de pressão para peixes quando de sua passagem por dentro de uma turbina hidroelétrica, foi projetado e construído por Reimers Engineering, dos Estados Unidos da América, em 1994 e é descrito em Montgomery Watson (1995). O sistema pode

criar uma variedade de regimes de pressão, permitindo fazer experiências visando estudar resultados em peixes que são submetidos à estes efeitos.

Trata-se de uma câmara hiperbárica. Esta câmara é formada por dois tubos de acrílico de 11 polegadas de diâmetro (27,5 centímetros), por 22 polegadas (55 cm) de comprimento. O volume de cada cilindro é de aproximadamente 34 litros. Os cilindros são conectados à pistões hidráulicos, que por sua vez estão ligados à pistões pneumáticos. Estes pistões pneumáticos são controlados por um computador que está conectado a um sistema de pressurização com gás, podendo assim mover os pistões hidráulicos para pressurizar ou despressurizar a câmara, conforme se deseja. A máxima pressão atingida na câmara durante as experiências foi de 3 atm, ou seja 400 kPa. O sistema pode reduzir em 0,1 segundos a pressão de 3 atm (~ 400 kPa), até uma pressão próxima ao ponto de vaporização da água (~ 1 psi ou  $2e^{-10}$  kPa). Um programa de computador especialmente desenvolvido, controla os pistões pneumáticos utilizados na seqüência de pressurizar e despressurizar (ABERNETHY, C. S. et al, 2001 ).

#### **3.4.4.1.2 Simulando efeitos em peixes**

Utilizam-se peixes vivos das mesmas espécies que habitam os rios das usinas em estudo. Dentro do dispositivo especialmente construído para simulação de pressão, após o período de aclimação nas condições da água do ensaio, os grupos de peixes são submetidos às condições, simulando passagem pela turbina conforme mostrado na figura a seguir.

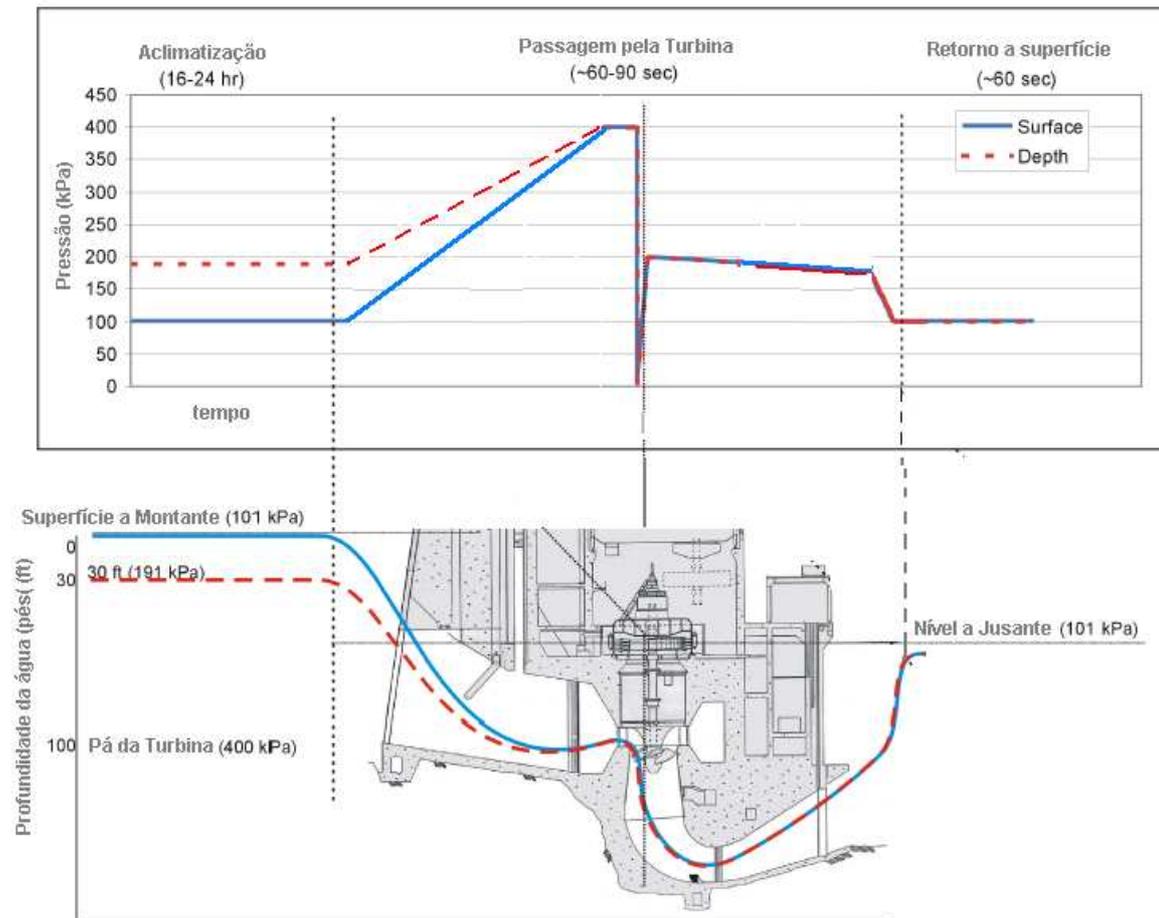


Figura 32 : Demonstração do ciclo de variação de pressão à que são submetidos peixes durante a passagem pelo interior de uma turbina Kaplan.<sup>8</sup>

Fonte : ABERNETHY, C. S. et al. PNNL- DOE / ID 10853-1-3.7., figura 3.3.

Pressão inicial para peixes de superfície e para aqueles que vivem à 10 metros de profundidade (aproximadamente 3 pés)<sup>9</sup>, são ajustadas na câmara hiperbárica, respectivamente com 101 kPa e 191 kPa, conforme a condição do ensaio em questão.

Na condição da vida real, a seqüência de variação de pressões para o peixe no trajeto dentro da turbina vertical, pode ser descrita a seguir:

- A pressão aumenta à medida que os peixes aumentam a profundidade dentro da turbina.
- O pico de pressão ocorre quando os peixes passam entre as pás da roda da turbina.

<sup>8</sup> profundidade marcada em pés ( ft )

<sup>9</sup> 1 pé equivale a 0,305 metros

- As pressões retornam à valores superficiais quando o peixe passa pelo tubo de sucção e sai em jusante.

Para dar início à seqüência de simulação na câmara hiperbárica, inicialmente o pistão é movido de tal maneira que se possa fazer purga de qualquer volume de ar que possa ter ficado acumulado no interior do cilindro. Em seguida, o pistão fica posicionado exatamente no meio do percurso. Quando a seqüência é iniciada, as válvulas de entrada e saída, são rapidamente fechadas, e o computador controla o pistão para manter a pressão adequada no interior da câmara hiperbárica, de 101 ou 191 kPa, conforme o tipo de peixes em estudo. Após um breve período de, aproximadamente 15 segundos, o "mergulho" é iniciado. A duração total aproximada do ciclo simulado é de 90 segundos. Ao final da seqüência, a câmara retorna para condições de "superfície" com pressão de 101 kPa, e sendo restabelecido o fluxo de água nos cilindros. Dois minutos após a conclusão do ciclo de variação de pressão, os peixes são retirados da câmara e colocados em recipientes para análise.

Na câmara hiperbárica, foram estudados efeitos em vários tipos de peixes simulando a passagem por dentro de turbinas, como a Truta Arco-iris, o salmão Chinook, além do peixe Bluegill. No caso destes estudos, alguns peixes apresentaram sintomas de perda de equilíbrio, e ou apresentaram convulsões imediatamente após os picos de pressão durante o ciclo de passagem. Em Bluegills, houve aparecimento de manchas vermelhas sob a pele, que pode ser interpretado como sintoma de hemorragia interna. Após testes, inspecionou-se imediatamente as condições dos peixes (vivos, mortos, ou quaisquer anomalias ou sintomas externos). Neste processo também se verificou a sobrevivência em longo prazo, sendo verificados de hora em hora, até completar 48 horas de observação, após conclusão dos ensaios. Registrou-se o número de peixes mortos, a quantidade que sofriam perda de equilíbrio, apresentavam comportamento anormal ou problemas de flutuabilidade, além de sinais externos de lesão. Peixes mortos eram examinados imediatamente para determinar a causa da morte. Os peixes sobreviventes foram sacrificados após o período de observação de 48 horas e analisados interinamente, no intuito de procurar por hemorragias, ou anormalidades.

Os dados levantados ajudam a estudar a causa da mortalidade dos peixes, que pode ser o efeito somatório das lesões pela passagem por dentro das turbinas, associado com a variação de pressão às quais eles são submetidos neste trajeto. Bluegills foram mais sensíveis à efeitos de pressão do que as duas espécies de salmonídeos. Salmões do tipo Chinook que habitam e

se deslocam mais próximos à superfície, sofrem menores lesões ou menor taxa de mortalidade devido às mudanças de pressão durante o trajeto.

#### **3.4.4.1.3 Simulações de pressão em passagens por máquinas horizontais tipo “Bulbo”**

Maquinas horizontais tipo bulbo, geralmente são instaladas em barragens de baixíssima queda, o que resulta em uma menor velocidade da água através da turbina, resultando em uma exposição mais prolongada dos peixes que passam por seu interior à diferenças de pressão. No entanto, a maior diferença entre maquinas horizontais e verticais é que a pressão em uma unidade vertical é relativamente uniforme ao longo de uma secção transversal, enquanto que, em uma unidade horizontal a pressão à qual o peixe será submetido depende dele passar através da turbina perto do topo, em baixo, ou em profundidade mediana. Para os ensaios, os cientistas resolveram utilizar a secção transversal na parte central para análise de cenários de testes laboratoriais (ABERNETHY, C. S. et al, 2003).

A figura à seguir mostra duas trajetórias de passagens de peixe por dentro de uma turbina bulbo, sendo marcado em azul, peixes que se aproximam nadando perto da superfície (101 kPa), e em vermelho, aqueles que se aproximam a uma profundidade de 3 pés, aproximadamente 10 metros de profundidade (191 kPa).

Čada (1990)<sup>10</sup> relata que a pressão da água em uma turbina tipo bulbo variava de um pico de 210 kPa para uma pressão de aproximadamente 80 kPa. Neste tipo de turbina, um peixe de superfície e aclimatizado em 101 kPa, durante a trajetória pela turbina, irá experimentar uma duplicação da pressão à montante da roda, seguindo-se por uma momentânea diminuição da pressão até 80% da pressão à qual estava aclimatizado, tudo dentro de um período de aproximadamente 15 segundos.

---

<sup>10</sup> Conforme citação em : Fish Passage Through a Simulated Horizontal Bulb Turbine Pressure Regime: A Supplement to "Laboratory Studies of the Effects of Pressure and Dissolved Gas Supersaturation on Turbine-Passed Fish" , PNNL-13470 B, C. S. Abernethy et al / 2003

Os testes em laboratório com utilização do simulador de pressão, indicaram que as mudanças de pressão ocorridas durante a maior parte do trajeto em uma turbina tipo bulbo, não são prejudiciais aos salmões Chinook, e pouco prejudiciais aos Bluegill. No entanto, em algumas áreas dentro da turbina tipo bulbo horizontais, poderão ocorrer pressões extremas que se tornam prejudiciais aos peixes.

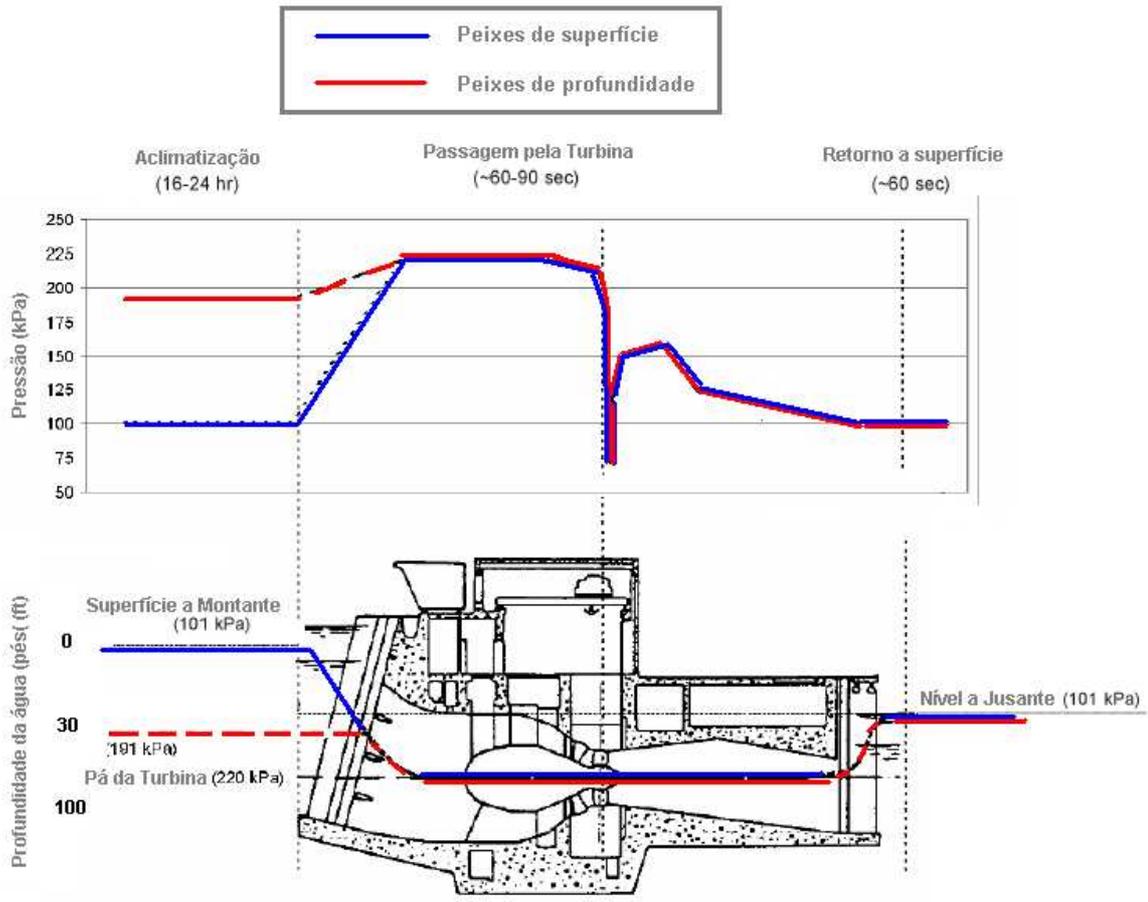


Figura 33 : Demonstração do ciclo de variação de pressão à que são submetidos peixes durante a passagem pelo interior de uma Bulbo de eixo horizontal. <sup>11</sup>

Fonte : Abernethy, C. S. et al. Fish Passage Through a Simulated Horizontal Bulb Turbine Pressure Regime: A Supplement to "Laboratory Studies of the Effects of Pressure and Dissolved Gas Supersaturation on Turbine-Passed Fish", PNNL-13470 B, 2003, figura 2.2, na pag. 43.

<sup>11</sup> Profundidade marcada em pés (ft) sendo que 1 pé equivale a 0,305 metros

## 4 PEIXES SE DESLOCANDO NO SENTIDO MONTANTE

Este capítulo objetiva explicar sobre os sistemas para transposição de peixes, os quais são implantados para atenuar os efeitos negativos das barragens, sobre os peixes migradores ou de piracema, quando em seu trajeto rio acima.

No Brasil, nos últimos 10 anos, o ritmo de construção das usinas e barragens se intensificou, porém, a construção dos mecanismos de transposição para peixes não acompanhou esse crescimento.

Há algumas décadas atrás, o assunto Sistemas de Transposição para Peixes, denominado STP's, não era muito abordado, visto que os órgãos licenciadores não os exigiam, além do que, estudos desprovidos de qualificação técnica eram feitos por profissionais sem preparo biológico e ambiental, e da ausência de dados de pesquisa ou estatísticos referentes aos peixes locais, tais como: rotas de migração, ambientes reprodutivos, velocidade, capacidade e preferências dos cardumes, dentre outros. A não necessidade de construção dos STP's, facilitava a vida dos empreendedores, lembrando que esses sistemas eram e são muito caros, além de serem complexos, pois, envolvem ciências do meio ambiente, biologia, engenharia e ecologia. Felizmente e, de maneira recente, a sociedade passou a ter acesso às informações e esclarecimentos sobre as questões ambientais, através dos estudos de impacto ambiental, das associações, comitês e entidades afins e posicionando-se sobre as ingerências do poder público e privado. Desta forma, a realidade da construção dos STP's está mudando, pois, muitas barragens já são providas desse sistema (TURMA DO BIGUÁ, 2007). Ainda assim, no Brasil, apenas 1,4% do número oficial de barragens tem um STP, o que é um número ínfimo para a proporção de nossos recursos hídricos, dimensão, importância e variedade da ictiofauna (MARTINS, 2000).

Referente aos peixes, algumas espécies realizam migrações regulares, as quais compreendem, migrações diárias (neste caso, verticais, entre a superfície e águas mais profundas), até anuais, variando de distâncias pequenas, até centenas de quilômetros. Normalmente, as migrações estão relacionadas ou com a reprodução, ou com a alimentação.

Os peixes migratórios classificam-se da seguinte forma:

1. diádromos – peixes que migram entre os rios e o mar:
2. anádromos – peixes que vivem geralmente no mar, porém, se reproduzem em água doce;
3. catádromos – peixes que vivem nos rios, porém, se reproduzem no mar;
4. potamódromos – peixes que migram sempre em água doce, em um rio, ou de um rio para um lago;
5. oceanódromos – peixes que migram sempre em águas do mar.

(HICKMAN, 2004)

Em linhas gerais, podemos definir um STP, como sendo um dispositivo artificial utilizado para atrair e conduzir seguramente os peixes à outros ambientes, rio acima, viabilizando a migração reprodutiva e a ligada à alimentação (migração trófica ).

A operação dos STP's significa uma perda de água pela calha de passagem do mesmo. Este volume pode ser considerado pequeno no caso de aproveitamentos de grande porte, porém, é bastante representativo, no caso de pequenas centrais hidroelétricas (PCH). Face ao exposto, para identificação do impacto no custo da implantação do STP em um empreendimento hidroelétrico, é necessário um estudo, com o objetivo de quantificar as perdas energéticas e, buscando alternativas para sua minimização.

A eficiência de um tipo de STP está intimamente relacionada com o conhecimento das características biológicas das espécies que o utilizarão e entendimento do comportamento dessas espécies alvo. Tal conhecimento pode ser denominado de base biológica dos mecanismos de transposição, e inclui diversos aspectos, tais como:

- a)- habilidades natatórias dos peixes, em termos de velocidades mínimas de atração e velocidades máximas capazes de serem superadas;
- b)- padrões migratórios, compreendendo a distribuição temporal e espacial das diferentes espécies;

c)- comportamento no canal de fuga, particularmente a distribuição das diferentes espécies em função de características de escoamento (profundidade, velocidade, nível de turbulência, qualidade da água, temperatura, oxigênio dissolvido, luminosidade);

d)- capacidade dos peixes de localizarem o caminho de volta durante a migração para jusante (MARQUES, 2003).

#### **4.1 Legislações no Brasil sobre sistemas de transposição de peixes**

No Brasil, a utilização de sistemas de transposição de peixes (STP's), começou a ser levada mais a sério, após a edição de algumas leis estaduais, que obrigam os empreendedores a instalarem esses mecanismos, garantindo a sobrevivência das espécies dos peixes de piracema.

No caso do estado de Minas Gerais, existe a Lei nº 12.488 de 09/04/1997, a qual torna obrigatória a construção de mecanismos de transposição de peixes em barragens em curso de água naquele estado, exceto quando, em função das características do projeto, o sistema não se mostrar eficaz. A Lei nº 12.488 de 09/04/1997, rege que:

“[...] Art. 1º - É obrigatória a construção de escadas para peixes de piracema em barragem a ser edificada em curso de água de domínio do Estado.

Parágrafo único - O disposto neste artigo não se aplica quando, em virtude das características do projeto da barragem, a medida for considerada ineficaz, ouvido o Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM

Art. 2º - As barragens existentes na data da publicação desta Lei deverão ser adaptadas no prazo de 5 (cinco) anos.

Art. 3º - Compete ao COPAM aplicar as penalidades pelo descumprimento desta Lei, de acordo com a legislação em vigor.

Art. 4º - O Poder Executivo regulamentará esta Lei no prazo de 180 (cento e oitenta) dias.

Art. 5º - Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação

Art. 6º - Revogam-se as disposições em contrário. [...]”.

Além dessa lei, o artigo 20º do Decreto estadual nº 38.744 de 10/04/1997, determina que para o licenciamento ambiental de novas usinas hidroelétricas, é exigida a construção desses mecanismos.

No caso do Estado de São Paulo, a Lei nº 9.798, de 7 de outubro de 1997, publicada no Diário Oficial v.107, n. 193, 08/10/1997, dispõe sobre a construção de escadas para peixes em barragens edificadas em cursos de água de domínio do Estado. Conforme os termos do artigo 28, § 4º, da Constituição do Estado:

“[...] Artigo 1.º - obrigatória a construção de escadas para peixes em barragens edificadas ou a serem implantadas nos cursos de água de domínio do Estado.

Parágrafo único - Nas barragens já existentes, a obrigatoriedade da construção referida no “caput” deste artigo dependerá de parecer técnico exarado pelo Conselho Estadual do Meio Ambiente - CONSEMA, em face das características do projeto.

Artigo 2.º - O Poder Executivo regulamentará esta lei no prazo de 90 (noventa) dias.

Artigo 3.º - As despesas com a execução desta lei correrão à conta de dotações próprias, consignadas no orçamento vigente e suplementadas, se necessário, devendo os orçamentos futuros destinar recursos específicos para seu fiel cumprimento.

Artigo 4.º - Esta lei entrará em vigor na data de sua publicação [...]”.

No ano de 2002, a Comissão de Defesa do Consumidor, meio ambiente e minorias, Substitutivo do Relator aos Projetos de Lei nº 4.630, de 1998 e nº 884, de 1999, torna obrigatória a implantação, nas barragens de cursos de água para quaisquer fins, de sistemas de transposição que possibilitem a migração dos peixes.

Conforme decreto do Congresso Nacional :

“[...] Art. 1º - Esta Lei torna obrigatória a implantação, em todas as barragens de cursos de água, construídas para quaisquer fins, de sistemas de transposição que permitam a migração dos peixes.

§ 1º - O disposto no caput não se aplica aos casos em que sistemas de transposição sejam ineficazes ou dispensáveis, mediante pareceres técnicos aprovados pelo órgão ambiental competente.

§ 2º - Os sistemas de transposição a que se refere o caput atenderão as diretrizes e normas estabelecidas pelos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, aos quais cabe fiscalizar o cumprimento desta Lei.

Art. 2º - Fica estabelecido o prazo de cinco anos, contado da data de publicação desta Lei, para que os empreendedores apresentem ao órgão ambiental competente os estudos de avaliação da viabilidade de sistemas de transposição, no contexto da conservação das espécies, para barragens já implantadas, ou em implantação.

Art. 3º - Será concedido ao empreendedor o prazo máximo de cinco anos para implantação do sistema de transposição considerado viável, contado a partir da data de sua aprovação pelo órgão ambiental competente.

Art. 4º - Com base em fundamentação técnica apresentada pelo empreendedor, o órgão ambiental competente poderá prorrogar os prazos estabelecidos nos artigos 2º e 3º.

Art. 5º - O Poder Executivo estabelecerá os regulamentos necessários à aplicação desta Lei.

Art. 6º - Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação [...]”.

## **4.2 Por canais paralelos**

Canais paralelos entre a represa de montante e o rio mais abaixo em jusante, é uma alternativa onde o declive a percorrer é reduzido, ou se for o caso, a extensão tem de ser suficientemente longa para permitir um baixo declive.

### **4.2.1 O exemplo de Itaipu - Binacional Brasil Paraguai**

Em 1977 foram iniciados estudos científicos sobre a migração dos peixes no rio Paraná, servindo de base para a construção do Canal da Piracema. Trata-se de um rio artificial que faz a ligação do reservatório de Itaipu com o rio Paraná. Com aproximadamente 10 km de comprimento, utiliza parte do leito do rio Bela Vista, e tem como objetivo vencer o desnível de 120 metros entre o rio Paraná e a superfície do reservatório. Foi implantado pelo governo

do Estado do Paraná. O canal permite aos peixes subirem às áreas de reprodução no período da piracema, contribuindo para preservação da biodiversidade. Até agosto de 2006, passaram pelo Canal da Piracema cerca de 130 espécies migradoras e não migradoras, o equivalente a cerca de 70% das espécies de peixes conhecidos da região.



Figura 34 : Detalhe do Canal de Piracema de Itaipu (Foto: Ney de Souza/AM).

Fonte : (Divisão de Imprensa - Itaipu Binacional)

Como prova da eficiência deste canal foi citado na mídia o seguinte fato: Um exemplar de Piapara, marcado por pesquisadores da Usina de Itaipu e solto no canal artificial da hidroelétrica, percorreu 565 quilômetros antes de ser recapturado no Rio Aguapeí, próximo à cidade de Panorama, em São Paulo. Para chegar lá, o peixe atravessou toda a planície de inundação do rio Paraná e transpôs duas barragens: a da própria Itaipu e a da usina de Porto Primavera. O peixe foi encontrado 10 km abaixo da foz do Rio Aguapeí, afluente do Rio Paraná, situado acima da Usina de Porto Primavera e próximo à Usina de Jupia. Esse exemplar bateu o recorde anterior de distância percorrida por peixes marcados em Itaipu: o de um pacu, encontrado à jusante da Usina de Rosana, a 420 km de onde foi solto (JORNAL ILUSTRADO, 2005). O veterinário Domingo Fernandez, do setor de Ictiologia da Itaipu, acredita que o peixe desovou no Aguapeí e estava retornando ao rio Paraná quando foi encontrado. O exemplar transpôs a barragem de Porto Primavera pela escada ou pelo elevador

de peixes construídos naquela usina, fato este que reforça a viabilidade do Canal da Piracema como alternativa para a reprodução dos peixes do Rio Paraná.

Piapara - A piapara (*Leporinus elongatus*) é uma espécie migratória de longas distâncias, bastante freqüente na Bacia do Paraná. O exemplar em questão, identificado com a marca 37908, foi muito além da média de dispersão de peixes recapturados nos trabalhos de marcação de peixes, que é de 60 a 80 quilômetros (DIVISÃO DE IMPRENSA – ITAIPU BINACIONAL, 2005).

### **4.3 Por escadas de peixe**

As escadas para peixes representam um dos tipos de STP mais conhecidos no mundo e apresentam diversas configurações geométricas. As principais partes que compõem as escadas são: entrada, centro e saída. A entrada é o local por onde entram os peixes e é equivalente à saída do fluxo de água. Por conseguinte, a saída é o local por onde os peixes saem e é equivalente à entrada de água. O centro da escada é formado por vários tanques, que separados por barreiras. Estas barreiras controlam o nível de água em cada tanque. A escolha do tipo de escada deve atender às características natatórias dos peixes selecionados para transporem o obstáculo. Para algumas espécies, como o salmão, já se conhecem geometrias adequadas, entretanto, para a maioria das espécies isto não ocorre, e muitos projetos têm demonstrado desempenho insatisfatório. A adoção de escadas como STP é considerada normal para desníveis pequenos, normalmente inferiores à 10 metros. Para alturas maiores, são necessários tanques de descanso e escadas consecutivas (MARTINEZ, C.B. et al, 2000).

Importante lembrar que, as escadas de peixes são construídas para os peixes como uma passagem de jusante para montante e não um meio de escoamento da água de montante para jusante. Neste caso, o mais importante é facilitar às condições de entrada dos peixes e não de entrada de água. Assim, para o dimensionamento das escadas, deve ser levado em consideração, o ponto de vista da migração de peixes.

#### **4.3.1 Tipos de Escadas de Peixes**

### Escada tipo Degraus-tanque / Orifício

Este tipo de escada é a mais utilizada. Também conhecida como “degraus-tanque”, consta de um canal aberto que interliga o montante e jusante através de vários tanques, formando uma escada. O funcionamento é muito simples, pois, a água que desce por gravidade, vai preenchendo os degraus, passando de um para o outro por transbordamento ou por aberturas internas. Os peixes, sobem a escada saltando e/ou nadando contra a correnteza, tanque a tanque, até atingir o reservatório. Os tanques são separados entre si, por transbordadores ou simples barreiras que controlam os níveis. As paredes que funcionam como vertedor são denominadas "baffles". Também, nos degraus existem aberturas internas pelas quais os peixes podem passar, ao invés de saltarem sentido montante (MARQUES, 2003).

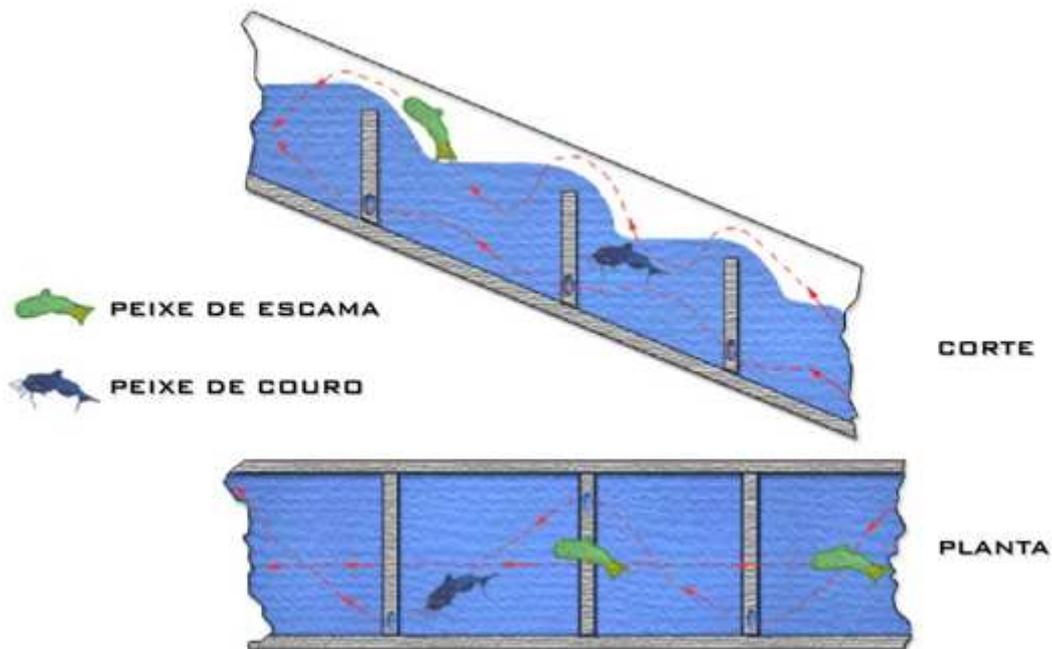


Figura 35 : Diferença do percurso na escada de peixes.

Fonte : Site da ELETRONORTE na Internet / Complexo Hidrelétrico Belo Monte.htm.

Cada tipo de peixe tem uma preferência de passagem. Existem dois tipos de peixes, os de escama e os peixes de couro, sendo os peixes de escama são peixes habituados ao salto para vencer a correnteza do rio, enquanto os peixes de couro são mais habituados ao nado. Enquanto uns zigzagueiam pelos orifícios, outros saltam pelos “baffles”.

Para os dois tipos de escoamento da água, quer seja por transbordamento, quer seja pelos orifícios, a energia ganha pela água na passagem de tanque a tanque, é dissipada por turbulência. No caso do fluxo de água ser pequeno, em comparação com o volume do tanque, é possível absorver toda turbulência, dissipando a energia antes que a água verta e/ou passe pelo orifício novamente. Neste caso, a energia é dissipada uniformemente ao longo da escada, facilitando a transposição, pois, reduz em muito as dificuldades impostas aos peixes (MARQUES, 2003).

### **Escada tipo Denil**

Criada há aproximadamente 80 anos, por Denil, na Bélgica, este tipo de escada, concebeu a idéia de dissipar a energia do escoamento da água, instalando-se estruturas nas escadas, denominadas "vanes". Os "vanes" são instalados na seção transversal do canal e espaçados regularmente, forçando assim, um refluxo. Este refluxo de água se contrapõe ao escoamento principal, reduzindo a velocidade contra o peixe, facilitando sua subida (MARQUES, 2003).

### **Denil em obstáculos naturais**

Este tipo de escada, tem algumas vantagens quando implantada em obstáculos naturais. A principal vantagem é que o peixe pode escolher a profundidade de natação, fazendo com que a subida seja menos tortuosa. Entretanto, há uma grande desvantagem, pois, este tipo não possui tanques de descanso em sua concepção. Para resolver esse problema, há a necessidade de construir tanques de descanso em intervalos regulares, quebrando assim grandes extensões da estrutura e, conseqüentemente, evitando desgastar os peixes. Face à excelente dissipação de energia, esta escada pode trabalhar com elevado volume de água, se comparada a outras de mesma seção, gerando um maior atrativo para os peixes (MARQUES, 2003).

### **Escada tipo ranhura vertical**

Esta escada é um canal onde o orifício, que permanecia sómente no fundo, se estende sobre toda a altura do "baffle", tomando a forma de uma ranhura ou fenda vertical. Com esta nova geometria, as características hidráulicas do escoamento mudam em relação à estrutura original tipo orifício. Em 1943, uma adaptação dessa versão foi proposta, ficando mundialmente conhecida como Hell's Gate ou porta do inferno. Ela incorpora o mesmo princípio da escada

tipo Denil, sendo considerada uma mistura entre os tipos de escadas existentes. Tem sido amplamente usada na América do Norte e na Europa, para a transposição de Salmão e outras espécies. Nesta escada, são instaladas uma série de "baffles" espaçadas em intervalos regulares entre as paredes do canal. As "baffles" são desenhadas de tal forma que parte do escoamento que passa pela ranhura tenha um refluxo devido ao "baffle" subsequente. Caso as ranhuras estejam bem dimensionadas, a dissipação de energia é muito boa, para uma grande gama de vazões e níveis de água. Isto proporciona ao peixe nadar de tanque a tanque em qualquer profundidade (MARQUES, 2003).

É interessante frisar que todos os critérios citados são específicos a cada espécie de peixe, ou seja, o dimensionamento deve variar de espécie para espécie, e ainda são muito pesquisados em laboratórios via modelos reduzidos.



Fig.36 : Escada de peixes da Usina Hidroelétrica de Peixe / ENERPEIXE / Tocantins, Brasil.

#### 4.3.2 O problema das escadas de peixe no Brasil: armadilhas ecológicas?

No Brasil, encontra-se uma imensa diversidade de espécies de peixes, cujas características natatórias diferem em muito das apresentadas pelos salmonídeos. Este fato, associado à crescente exigência da implantação de STP nas barragens das usinas hidroelétricas, através de

leis estaduais ambientais, torna necessária a definição de estruturas adequadas à ictiofauna brasileira.

A validação dos critérios de projeto passa, obrigatoriamente, por estudos que avaliam as características hidráulicas das estruturas propostas, e a interação do fluxo com os padrões natatórios da ictiofauna. O número de pesquisas relacionadas ao funcionamento hidráulico de escadas de peixes vem crescendo, entretanto, ainda são insuficientes, não existindo um consenso sobre os critérios, seja para sua caracterização completa, ou para definir sobre quais parâmetros devem ser considerados. Os padrões de turbulência do escoamento em escadas para peixes, cujas características supõem-se relacionarem com o grau de aceitação ou rejeição das espécies, são praticamente desconhecidos.

Outra denominação para as escadas de peixes, segundo pesquisadores, é “*armadilha ecológica*” para as espécies tropicais. Após estudos, foi concluído que, as escadas de peixes idealizadas originalmente para salmões na América do Norte, são uma armadilha mortal para as espécies tropicais.

Originalmente as escadas foram concebidas para salmonídeos, os quais, vindos do mar, subiam os rios, atravessavam as escadas e os reservatórios, e desovavam nas cabeceiras. As escadas funcionam no hemisfério norte porquê os salmões adultos não precisam voltar, pois, eles desovam apenas uma vez na vida e o ciclo se completa em uma só jornada. Já, os peixes da América do Sul, desovam diversas vezes na vida. Desta forma, no caso do Brasil, as escadas aumentam o risco de extinção das espécies que vivem à jusante das barragens.

Segundo Agostinho, pesquisador da Universidade Estadual de Maringá :

“[...] depois de subir, os peixes adultos e as larvas não voltam mais e, assim, não completam o ciclo reprodutivo, ou seja, acabam confinados no trecho acima do reservatório, onde o ambiente é mais pobre para a reprodução [...]” (UNIVERSIDADE DO TOCANTINS, 2008).

A conclusão anterior foi obtida após uma série de estudos em parceria com a Universidade de Tocantins. Foram observadas as escadas dos reservatórios de Porto Primavera, no rio Paraná,

do complexo do rio Paranapanema e da usina de Lajeado, no rio Tocantins, conforme detalhado mais adiante, neste trabalho.

Algumas espécies estudadas, tais como o dourado (*Salminus brasiliensis*), pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*), piracanjuba (*Brycon orbignyanus*), pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e curimatá (*Prochilodus lineatus*) se deslocam rio acima, para desovar em afluentes, durante a época da cheia. Porém, a volta é fundamental para o ciclo reprodutivo. Neste trajeto, os ovos descem rio abaixo, enquanto se desenvolvem. Quando chegam na região de várzea, entram em canais, lagos, lagoas, etc. Nesses ambientes, eles encontram lugar seguro para crescerem e, na próxima cheia, voltam aos rios, se integrando aos cardumes de adultos.

Considerando-se que os novos aproveitamentos hidroelétricos no Brasil tendem a ser de menor queda, pois, os de maiores quedas já foram implantados, tudo indica que as escadas de peixes serão os mecanismos a serem utilizados inicialmente em maior quantidade (UNIVERSIDADE DO TOCANTINS, 2008).

### **O exemplo dos Mandis do Rio Tocantins**

Estes peixes realizam uma dura viagem de muitos quilômetros para desovar. Porém, ao chegarem à barragem de Lajeado, ao norte de Palmas, são surpreendidos por vários predadores, tais como, aves aquáticas, botos e jacarés. Os que resistem a esses predadores, necessitam subir os 874 metros da escada de peixes, para atingirem o reservatório. Porém, nesta escada há uma grande concentração de peixes carnívoros. Por fim, ainda devem resistir aos ataques de tucunarés e piranhas, que vivem no reservatório. Os que têm sucesso na jornada dificilmente farão o percurso de volta até seu habitat original. Também, suas larvas e seus ovos serão quase todos destruídos ou devorados, o que põe populações inteiras de mandis e outras espécies de peixes migradores do Tocantins em risco de extinção.

Este fenômeno observado por cientistas da Universidade Estadual de Maringá (PR) e da Universidade Federal do Tocantins, muito provavelmente está se repetindo em vários outros rios, pois, as escadas de peixe, concebidas para atenuar o impacto de hidrelétricas sobre os peixes, facilitando a reprodução, estão acelerando o processo de extinção das espécies. O biólogo Fernando Mayer Pelicice, da Universidade Estadual de Maringá, diz:

“[...] Elas funcionam como armadilhas ecológicas [...]”,

“[...] Se forem feitas sem muitos estudos técnicos, acabam tirando os peixes de um ambiente onde eles têm condições de se reproduzir e jogando-os em um ambiente mais pobre [...]”.

Em um estudo publicado on-line no mês passado na revista científica "Conservation Biology", ele e seu colega Ângelo Antonio Agostinho analisam casos de escadas instaladas na usina de Porto Primavera, no rio Paraná, e do complexo de hidrelétricas do rio Paranapanema. Após estudos, concluíram que essas escadas estão causando impactos negativos e devastadores à fauna local. Neste estudo de caso, para as usinas de Canoas 1 e 2, no rio Paranapanema, operadas pela Duke Energy, concluiu-se que as escadas causaram um colapso na pesca, rio abaixo dos reservatórios. No primeiro ano de operação das escadas, em 2001, a quantidade de peixes que subiu foi enorme, porém, no segundo ano, a piracema colapsou, sinal de que os peixes que subiram não desceram depois, segundo o biólogo Pelicice. Há uma série de razões pelas quais os peixes não voltam mais, porém, é certo de que é uma conjunção da biologia dos peixes tropicais, e da modificação do ambiente, causado pela construção das usinas hidrelétricas. A explicação é simples, pois, os peixes migradores dos trópicos depositam seus ovos em afluentes dos grandes rios. Os ovos e as larvas descem o rio, seguindo a correnteza, e deveriam amadurecer no caminho. Porém, para isto ocorrer, há a necessidade de haver águas agitadas e turvas, o que as represas em geral não têm. Os adultos, por sua vez, tendem a evitar água parada. A aposta de Agostinho e Pelicice é que, na viagem de volta da piracema, a água parada da represa funciona como uma barreira. Pelicice afirma que :

"[...] Quando chegam à água estagnada eles não descem mais [...]”,

Pode ser concluído que, em Lajeado, o impacto negativo da escada foi tão grande que o IBAMA determinou seu fechamento.

Segundo Agostinho :

"[...] Uma escada com subida indiscriminada não é boa em nenhuma situação [...]”,

"[...] Uma subida controlada ainda pode ajudar a manter a variabilidade genética dos cardumes a montante. Mas, se há ambientes propícios à

reprodução a jusante e ambientes piores a montante, não há razão para a transposição [...]"

O problema, afirma Pelicice, é convencer as autoridades e as empresas:

"[...] A lei determina que você tem de adotar medidas de mitigação, e o pessoal (empresas) acha mais fácil construir as escadas [...]" (JORNAL FOLHA DE SÃO PAULO, 2008).

#### **4.4 Elevadores de peixe**

Elevadores são definidos como dispositivos, tais como tanques movimentados por cabos, cuja finalidade é transportar por meio de equipamentos mecânicos, os peixes da jusante para a montante de uma barragem.

##### **4.4.1 O exemplo da Usina Hidroelétrica de Porto Primavera**

Na usina Engenheiro Sérgio Motta (Porto Primavera), a Cesp criou o "elevador de peixes". Instalado no muro central da usina, entre as estruturas de geração e os vertedouros. O elevador de peixes é composto por um canal localizado à jusante da usina com 6 m de largura por 10 m de profundidade, onde existem bombas centrífugas, tipo turbina de eixo prolongado acionadas por motores elétricos de aproximadamente 300 CV de potência para criar velocidade e turbulência atraente aos peixes, caso contrário, a turbulência causada pelos vertedouros de superfície poderiam ser mais atraentes aos peixes. Ao final do canal, existe uma porta por onde o peixe entra, esta fecha, desce uma grade empurradora que os leva até uma caçamba que é erguida por cabo de aço até o nível de montante, onde são despejados em um tanque. Funcionários fazem a marcação, pesagem e classificação no topo. Em seguida, abre-se uma comporta, e os peixes descem por um tubo tipo tobogã até a montante da usina.

Segundo o diretor de geração Eng.Gomes :

"[...] Fomos os pioneiros a instalar um elevador para peixes em nossas hidrelétricas [...]"

"[...] Todo monitoramento desse trabalho é repassado ao Ibama [...]" (JORNAL GAZETA MERCANTIL, 2007).

#### 4.4.2 O exemplo da Usina Hidroelétrica de Funil

O sistema de Transposição de Peixes (STP) que foi implantado na UHE Funil tem o objetivo de dar continuidade ao processo de migração e reprodução, de jusante para montante da barragem, de várias espécies de peixes provenientes do Rio Grande. Neste caso, foi construído o elevador de peixes nesta Usina, denominada Engenheiro José Mendes Júnior (Funil da CEMIG), situada no Rio Grande, o qual facilita a piracema, pois, através desse sistema, o desnível de 36 metros pode ser vencido. O elevador de peixes se localiza entre os municípios de Lavras e Perdões, é de responsabilidade das empresas Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) e da CVRD. Esta Usina foi inaugurada no final de 2002, e teve de atender a legislação ambiental estadual, que determina a necessidade de manutenção da reprodução dos peixes, de forma a não interromper o ciclo reprodutivo, facilitando a piracema. Após estudos, optou-se pelo elevador, o qual entrou em operação em outubro de 2003. O mesmo trabalha de novembro a março e, normalmente a caçamba faz cada viagem com 40 quilos. Em janeiro, as caçambas chegam a levar até 800 quilos de peixe. O elevador funciona somente no período da piracema, pois, os peixes param de subir quando completam o período reprodutivo (AGÊNCIA SEBRAE DE NOTÍCIAS, 2007).



Figura 37 : Fotos do elevador de peixes da U. Hidroelétrica de Funil / CEMIG / MG, Brasil.

O funcionamento é da seguinte forma:

- Os peixes são atraídos para uma área de confinamento pelo barulho de uma queda d'água que imita o de uma cachoeira, porém, é produzida por tubulação.
- Os peixes se acumulam ali, pois, acreditam ser o caminho para o alto, além da oxigenação que a queda da água produz. À partir daí, a porta do elevador se abre e uma tela conduz os peixes da área de confinamento para o elevador (capacidade de 8 mil litros e 12 toneladas), que se fecha e eleva os peixes até uma altura de 50 metros, ultrapassando o limite da barragem.
- Um canal de fuga abre novamente as portas do rio Grande para que os peixes completem o ciclo da reprodução.
- Esse processo se repete a cada 20 minutos, quando um operador aciona o elevador que leva os peixes para o alto.

No alto do elevador, antes de abrir o canal de fuga, os biólogos analisam os peixes que foram transportados. Algumas espécies são marcadas com sensores de rastreamento, que servem para os pesquisadores avaliarem o comportamento e desenvolvimento dos peixes após a transposição. Junto com os sensores, são enviadas mensagens para quem pescá-los. Eles pedem que o pescador ligue para a usina e identifique a espécie e o local onde foi encontrada (ALMA DO RIO, 2006).

#### **4.5 Coleta e Devolução**

Um exemplo interessante de transposição de peixes é o utilizado na UHE Santa Clara, localizada no Rio Mucuri, no limite de municípios de Mucuri (Bahia); Nanuque e Serra dos Aimorés (Minas Gerais). As obras da barragem com 60 metros de altura foram concluídas em 2002, sendo que em novembro de 2003, entrou em operação junto à barragem, um mecanismo de transposição de peixes com caminhão tanque para fazer o chamado “translado”.

A atração dos peixes é feita através de um sistema de adução com um conduto metálico ligando a represa ao canal do sistema de transposição. Este sistema de adução fornece um escoamento de água ininterrupto de até 3 m<sup>3</sup>/seg., propiciando a atração dos peixes existentes no canal de fuga da usina para o interior do canal do sistema de transposição. A cada duas horas, os peixes que se encontram no interior do canal são confinados e empurrados por meio de um sistema de grades para a região da caçamba de 4m<sup>3</sup> de capacidade, que se encontra

submersa. Após isso, a caçamba é içada e transportada até um caminhão-tanque, sendo que, com a caçamba corretamente posicionada, os peixes são transferidos para o caminhão, também com capacidade de 4m<sup>3</sup>, onde são transportados até o reservatório e liberados.

Experimentalmente, foram realizados 636 ciclos de transposição, 588 diurnos e 48 noturnos, sendo que, em cada um deles, todos os indivíduos foram contados e identificados antes de sua liberação no reservatório. Durante os quatro meses de operação na piracema, foram transladados 67.838 exemplares de 31 espécies (POMPEU, et al, 2006, REVISTA BRASILEIRA DE ZOOLOGIA, Vol.23, No.1, 2006).

#### **4.6 Canal de Fuga – caminho sem saída**

Os peixes que seguem seu percurso de migração rio acima, quando chegam às barragens de hidroelétricas se deparam com as saídas das máquinas, no canal de fuga. Sendo que, são levados até esta posição tendo em vista que o maior volume de água é o que flui pelas máquinas. Além do que, em função da turbulência criada pelas unidades em operação, as águas tendem a ser de melhor qualidade, naquela específica região. As turbulências que ocorrem no canal de fuga, são classificadas de grande escala. No caso dos peixes serem susceptíveis a essa ação, sofrem os efeitos da rotação e ficam desorientados. Esta ação, mesmo não provocando danos diretos aos peixes, normalmente os tornam alvo fácil aos predadores.

A idéia é criar entradas aos mecanismos de transposição, mais a jusante, bem antes dos peixes poderem “sentir” a turbulência criada na sucção das unidades (MARQUES, 2003).

##### **4.6.1 Exigências do Órgão Ambiental ao Empreendedor durante operações das unidades geradoras em hidroelétricas**

Devido às variações de operacionalidade da usina, as vazões e o nível no canal de fuga não são constantes. Há condições mais favoráveis e outras nem tanto, para que os peixes que se afunilam no canal de fuga, durante o período de piracema, adentrem ao tubo de sucção. Uma, ou outra unidade pode estar parada e pronta para partida, ou até operando em vazio para realização de algum teste, criando-se assim uma condição atrativa para os peixes e um risco de acidente, pois, caso adentrem por jusante, podem ser aprisionados, caso as comportas de jusante se fechem, ou machucados e até mortos durante a partida. Assim sendo, a presença de

um representante do Órgão Ambiental Regional ou uma Empresa de Meio Ambiente torna-se imprescindível, para constatar a eficácia das diretrizes propostas e analisar as relações entre os peixes e a máquina no período de ensaios e manutenções programadas no bom relacionamento com os Órgãos Ambientais, Fiscalizadores, Mídia, Comunidade e, principalmente, o meio ambiente. A existência do representante do meio ambiente faz parte do programa de meio ambiente do empreendedor para obtenção da Licença de Operação. É a Licença de Operação que autoriza o funcionamento do empreendimento. Ela só pode ser obtida após uma vistoria do órgão licenciador para verificação se as condições estipuladas nas etapas anteriores foram cumpridas. O prazo de validade varia de quatro a dez anos. Para ter direito a essa licença, o empreendedor deve apresentar um conjunto de relatórios nos quais descreve os programas ambientais e as medidas compensatórias previstas pelas licenças prévia e de instalação.

A construção de uma hidroelétrica tem um rígido cronograma de execução atrelado aos períodos anuais de estiagem, para possibilitar o desvio do rio em época de baixo volume de águas, a conhecida “janela hidrológica”. Hoje, com a iniciativa privada atuando no mercado gerador de energia, há também um rígido cronograma de entrada em operação comercial das unidades, visando a venda de energia elétrica previamente negociada, e que, caso venha a atrasar, acarretará em aplicação de pesadas multas contratuais para todos os envolvidos no empreendimento. Ou seja, o cronograma de execução é o mais enxuto possível, considerando fatores como construção, fornecimento, montagem e disponibilidade de conexão ao sistema, o que não é levado em conta é a coincidência do período de piracema com as datas contratuais de geração comercial de alguma unidade. Quando, cada unidade geradora da usina estiver com sua montagem concluída, iniciam-se os ensaios operacionais de colocação em operação, também conhecido como “comissionamento”. Nestes ensaios, há várias partidas e paradas diárias e operações, em diferentes condições de vazão turbinada. Como há um cronograma a ser cumprido, estes ensaios geralmente seguem longos períodos consecutivos de sete dias por semana, prorrogando-se muitas vezes por razões técnicas, até altas horas da noite ou madrugada. Eis que surge a figura do órgão ambiental fiscalizador, que acompanha estes ensaios e define procedimentos e períodos diários em que se pode trabalhar.

É diretriz que se deva manter um Técnico de Segurança e um Profissional de Meio Ambiente durante a realização destas atividades. Programar para que os testes de comissionamento, tenham acompanhamento da equipe ambiental, sejam realizados durante o dia, no máximo até

as 17 horas, apenas nos dias úteis. O profissional de Meio Ambiente deverá inspecionar o canal de fuga visualmente com o auxílio de um barco com motor e remo, e avaliar a quantidade de peixes no canal de fuga. Observar e resgatar eventuais peixes que aparecerem boiando mortos. Este profissional tem o dever e o direito de interromper as atividades de ensaio pelo período que julgar necessário, de acordo com a quantidade de peixes que estiverem em condição de risco no canal de fuga. Sendo assim, o cronograma e as datas contratuais acabam sendo comprometidas, e o prejuízo de multa contratual é exclusivamente dos envolvidos (empreendedor).

O fato é que, após o período de entrada em operação comercial, as unidades estão à disposição do Operador Nacional do Sistema - ONS, e estarão em condições de ser despachadas em termos de carga, giro e disponibilidade pelo Centro de Operações do Sistema - COS Regional, de acordo com a energia disponível, vendida e necessidades do sistema. Nesta fase, as unidades podem ser paradas e partidas conforme necessidade e/ou operar em variações de vazão, independente do acompanhamento do órgão ambiental ou da época da piracema.

Exigências do órgão ambiental também complicam a parada com “ensecamento” de uma unidade para revisão ou inspeção, pois, neste caso, pode haver aprisionamento de peixes dentro da sucção, caixa espiral e conduto na cota abaixo no nível do rio em jusante. Sendo assim, o órgão ambiental exige que a primeira atividade seja a inspeção para verificar a existência de peixes e, caso positivo, será necessária a injeção de ar e fornecimento de comida em forma de ração. Caso a parada seja prolongada e/ou se pretenda drenar toda a água, o resgate destes peixes será necessário.

## 5. O ESTUDO DE CASO DAS USINAS DO RIO SNAKE, NOS ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA

### 5.1 Histórico

A bacia hidrográfica do Rio Columbia está localizada na região Noroeste dos Estados Unidos da América (USA). O maior afluente do Rio Columbia é o Rio Snake. Aproximadamente 45% de todos os peixes da família de salmonídeos tipo Chinook nascem neste Rio e em seus tributários. Com idade entre 1 e 2 anos, milhões de jovens peixes são levados anualmente pelas enchentes da primavera até a foz do rio, localizada aproximadamente 1000 km rio abaixo. Amadurecem vivendo no oceano, e então, em um ou dois anos, já adultos, iniciam seu regresso sentido nascente para desovar e morrer.

Percorrer este caminho não é tão simples, pois, o rio não flui livremente. Existe uma série de obstáculos artificiais, as barragens. São quatro barragens federais construídas e operadas pelo COE - U.S.Army Corps of Engineers, e mais quatro barragens que pertencem ao Federal Columbia River Power System, administradas pela Bonneville Power Administration.

Antes da construção destas barragens do Rio Snake, o percentual de peixes adultos que retornavam à nascente era por volta de 40%. Estima-se que a população média antes das barragens era de aproximadamente 100.000 peixes na década de 1960 e diminuiu para apenas 2.000 peixes, em 1995. Atualmente a pesca não é mais permitida.

A quantidade de peixes que retornam para desovar deve ser em número suficiente para assegurar a continuidade da sobrevivência da população da espécie.

Segundo historiadores, a quantidade de salmões selvagens vem diminuindo constantemente, recorrendo-se a dados históricos. Em 1805, quando os exploradores Lewis e Clark fizeram sua jornada em direção ao oeste americano, milhões de salmões subiam anualmente o Rio Columbia em direção ao Rio Snake, para desovar. Fato documentado por Clark em seu diário, quando descreveu que um número inacreditável de peixes da espécie salmão, subia o rio nadando enfileirados, e em camadas sobrepostas de até 6 metros de profundidade. Alguns especialistas mais conservadores interpretam estes dados como um volume de 5 milhões de

espécimes, enquanto que, outros já transformam esta estimativa em mais de 10 milhões de peixes. Lewis e Clark, aventureiros da exploração do oeste americano em direção às terras então desconhecidas, são bem conhecidos na história americana, assim como, por aqui são estudados os Bandeirantes desbravadores do interior das terras da colônia portuguesa. Cada país com sua história. Lembremos que os americanos espalham sua cultura e costumes mundo afora, não apenas pela influência econômica através de seus produtos, mas indiretamente e principalmente, com massiva distribuição de material cinematográfico ou séries de programas televisivos. Provavelmente, muitos de nós descobriremos ou lembraremos de que já ouvimos falar de Lewis e Clark, porém, falta-nos recordar a referência. Recentemente, exibiu-se nos cinemas um filme de produção americana que inclusive já fora transmitido pela televisão, intitulado “Uma Noite no Museu” de 2006. Narra uma história fantasiosa, infantil e bem descontraída, onde à noite tudo se torna vivo, idealizado para o público infantil e também assistido em família. Para quem assistiu com seus filhos (as), provavelmente se lembra daquele ex-presidente americano à cavalo, Pres. Teddy Roosevelt, representado pelo ator Robin Williams, e então irá lembrar que este personagem constantemente observava pelos seus binóculos uma índia : Sacajawea. Aquela índia, era a guia que levou os exploradores Lewis e Clark em direção a oeste, sendo que, ambos estão presentes naquele cenário do filme.

## **5.2 Discurso em favor da remoção das barragens**

Em abril de 1999, cerca de 230 organizações americanas, compostas por movimentos ambientalistas e ONG's, tipo: tribos indígenas, entidades de conservação, grupos de pesca, e algumas empresas, uniram-se para apoiar uma nova proposta que visava evitar que a quantidade de salmões do Rio Snake diminuísse ainda mais, até serem totalmente extintos. Essa proposta “radical” seria a remoção parcial das quatro barragens no Rio Snake, recriando assim um rio livre de obstáculos. A "retirada parcial" que se propôs, significava remover apenas as barragens de terra, os diques, sendo que, as barragens construídas de concreto ficariam de pé, e se recriaria um novo leito do rio ao seu redor.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> Conforme citado em material distribuído por “Columbia & Snake River campaign, returning salmon by restoring rivers” - abril 1999

Barragens, basicamente, são construídas para quatro finalidades:

- geração de energia hidroelétrica,
- controle das cheias evitando enchentes,
- irrigação da lavoura e
- regularização do leito do rio permitindo transporte fluvial.

Em seguida, listamos alguns argumentos utilizados pelos ambientalistas considerando-se as funções destas barragens.

Neste caso, a geração hidroelétrica por estas usinas corresponde apenas a 4% do abastecimento regional. Estas quatro usinas geram um total aproximado de 500 MW, durante o período de inverno, e parcialmente no verão, quando há bastante água. Sugerem que a energia produzida pelas barragens poderia, por exemplo, ser substituída por outras fontes, como a eólica.

Estas barragens não têm grandes represas, sendo assim, não tem influência sobre o controle de cheias.

O transporte é sua principal função. Consequentemente pode-se mencionar que a cidade de Lewiston, mesmo estando afastada quase 800 km do oceano, possui um porto marítimo. Sugerem que se amplie a rede ferroviária local.

Quanto à irrigação, apenas na barragem de Ice Harbor, existe captação para irrigação de lavoura. A retirada das barragens afetará o nível do rio, sendo assim, as regiões de bombeamento onde as águas são extraídas, ficarão secas. Neste caso, novas captações deverão ser construídas.

### **5.3 Discurso em favor das barragens**

Em seguida, listamos alguns argumentos utilizados pelos operadores das usinas, explicando o que fazem para minimizar o problema da diminuição das populações destes peixes migratórios.

Todas as barragens tem escadas para subida dos peixes adultos.

Alguma tem canais de coleta para filhotes em montante, que os conduzem por dutos à jusante. Existem restrições de operação das usinas, por exemplo, obrigando os vertedouros a serem mantidos abertos nos períodos do ano, em que os filhotes descem o rio.

Adicionalmente, como medida mitigatória para aumentar a taxa de retorno de salmões, o COE implantou um programa de embarque de peixes rio abaixo. Se recolhem os pequenos filhotes juvenis nos períodos migratórios à montante de 4 barragens: Lower Granite, Little Goose e Lower Monumental no Rio Snake e McNary no Rio Columbia. Estes, são transportados ou em barcas ou em caminhões, em viagens que levam até 2 dias, dependendo de onde são recolhidos, e soltos em jusante da última barragem do Rio Columbia, Bonneville, passando assim, os 8 bloqueios do corredor de migração. O COE alega que esta ação tem sucesso, baseando-se em dois estudos de "ciclo de vida" realizados em 1986 e 1989. Nestes estudos, biólogos marcaram dois grupos de jovens salmões, deixando um grupo descer o rio pelo caminho normal, atravessando as barragens, e o outro grupo foi levado por transporte pelo caminho direto até a foz. Estes estudos mostram um resultado positivo do transporte embarcado, na proporção de 2 para 1. Ou seja, para cada jovem salmão que fez sua migração normalmente pelo rio, e regressou adulto para desova na sua origem, houve retorno de 2 peixes que foram embarcados. Estudos similares têm sido realizados periodicamente pelo NMFS, desde 1995. O problema é que a taxa de retorno, mesmo dos embarcados, vem decrescendo, chegando à taxa de 0,14%, o que significa que para cada lote de 10.000 peixes embarcados, apenas 14 voltam como adultos para desovar. Todos os cientistas concordam, inclusive os biólogos da NMFS, que isto é muito pouco para garantir uma sobrevivência da espécie.

#### **5.4 Fatos**

Entre outras possibilidades que levam a diminuir o índice de sobrevivência ou retorno, pode ser listado o aumento de outras espécies animais, predadoras naturais, dos peixes tipo salmão (IDAHO'S ANADROMOUS FISH STOCKS / OCEAN AND ESTUARY PREDATORS, 1998).

Isto ocorre tanto no estuário no mar, como no Rio Columbia.

Andorinhas Cáspias e Cormorões, que estão aninhados na região, provavelmente devoram de 20 a 40 % dos jovens salmões que chegam ao estuário do rio Columbia, entre os meses de abril a julho.

Peixes como as Cavalas do Pacífico, diminuem a quantidade de jovens salmões na região costeira, antes deles se deslocarem para o oceano aberto.

O número de focas e leões marinhos tem aumentado anualmente, sendo grandes consumidores de salmão, e outros peixes na região inferior do estuário do rio Columbia, principalmente durante os meses de inverno, de novembro a março.

Também, há populações de orcas que habitam a região e que se alimentam quase que exclusivamente de salmão.

Ou seja, trazer mais jovens salmões ao estuário, parece ter criado um desequilíbrio na cadeia alimentar, favorecendo a expansão das populações do topo da cadeia.

Outra influência na migração é o período em que ocorre. Salmões jovens das espécies Steelhead e Chinook da Primavera, migram rio abaixo na primavera, enquanto que os da espécie Fall Chinook, migram no verão.

Porém, o salmão não pode ser considerado como estando em perigo de extinção, pois, é possível de ser encontrado durante todo o ano, em toda a região Noroeste Americana, estando à venda no comércio, em supermercados, mercearias, lojas e servido em restaurantes. Na realidade, estes peixes das espécies salmão e truta, são criados especialmente para consumo como outros animais da alimentação humana, como vacas, galinhas ou porcos. No caso, tratam-se das mesmas espécies, porém, aquele que vive no rio é intitulado de salmão selvagem.

Até hoje (2006) <sup>13</sup>alguns opositores das barragens argumentam que as mesmas devem ser demolidas, porém, isto é algo que somente poderá ser conseguido com autorização do Congresso Americano. E é muito provável que isto não venha a acontecer.

---

<sup>13</sup> Segundo dados do : HistoryLink.org Essay 7774, History Link, 6/1/6.



Figura 38 : Rio Snake, localização das barragens que se pretende remover .

Fonte : Extraída do Google Earth .



**A** : Ice Harbor Dam



**B** : Lower Monumental Dam



**C** : Little Goose Dam



**D** : Lower Granite Dam

Figura 39 : Fotos ilustrativas destas barragens.

## CONCLUSÃO

A geração de energia elétrica por hidroelétricas, apesar de certas vantagens, dentre as quais pode-se ressaltar, o baixo custo unitário de energia e a utilização de recursos naturais renováveis, tem sofrido constantes críticas e avaliações cada vez mais severas, relacionadas às interferências no Meio Ambiente e nos usos múltiplos da água, principalmente quando associadas às barragens. Dentre as diversas críticas conhecidas, com maior ou menor radicalismo, uma das mais graves é que as hidroelétricas são a causa de mortandade de peixes.

Com enfoque nesta questão, este trabalho analisou um conjunto de medidas adotadas por fabricantes de equipamentos e empresas geradoras de energia hidrelétrica para avaliar o efetivo impacto nos peixes, assim como, para desenvolver projetos e turbinas com o objetivo de minimizar o referido impacto.

Neste contexto, de forma objetiva e prática, o trabalho considerou Estudos de Caso, descrevendo uma série de atividades desenvolvidas em hidroelétricas, as quais são responsabilizadas por causarem a diminuição das populações de salmão selvagem do noroeste pacífico americano. O salmão, como todo peixe migratório, passa duas vezes em cada barragem ao longo do seu caminho. Uma vez, como filhote na descida e outra, como adulto na subida, para desovar nas cabeceiras. As barragens representam o maior perigo aos filhotes de salmões, pois, por serem muito pequenos, estarão muito mais susceptíveis aos rigores da passagem, do que seus parentes adultos. Os peixes adultos em seu caminho para desova, fazem uso de canais paralelos especialmente construídos para tal, que são as escadas de peixe. Os filhotes, em seu caminho no sentido rio abaixo, ou passam pelos vertedouros, ou passam por dentro das turbinas. Seu tamanho pequeno favorece a passagem e aumenta as probabilidades de passarem ilesos dentro de uma turbina em movimento, e em operação.

A análise efetuada, englobando desenvolvimentos, testes e medições, permitiu que fossem enfatizados, principalmente, os seguintes aspectos e conclusões:

Os resultados dos esforços mitigatórios efetuados anteriormente a estas ações para aumentar a taxa de sobrevivência do salmão foram, e são questionados e acusados de serem pouco eficientes. Estes processos basicamente funcionam através de sistemas de desvio para os

peixes, na captação de água com coleta, ou transbordo. Fato que levou engenheiros a tentarem deixá-los passar pelo caminho normal, sem desvio, e desenvolver uma turbina com design menos danoso aos peixes que passam pelo seu interior. Especificamente, em turbinas Kaplan de baixa queda e grande caudal turbinado. Desenvolveu-se o modelo intitulado de turbina fish-friendly. Para desenvolver tais modificações, foi necessário compreender melhor as forças às quais os peixes eram expostos, na rota por dentro das turbinas.

A idéia de que as Turbinas são apenas um conjunto de pás afiadas em movimento giratório rápido que fatiam e espremem, mutilando os peixes que passam por dentro delas é enganosa. Na realidade, as pás da turbina não podem girar mais rápido do que a água que passa por elas. Pois, é a água que move a turbina, e não a turbina que move a água. Face a isto, os peixes menores, como o filhote de salmão, são capazes de nadar com o fluxo da água e sair da turbina incólumes. Engenheiros descrevem as turbinas como sendo uma porta giratória para os peixes, e não como se imagina, um triturador de alimentos de alta rotação, ou seja, um triturador de peixes. (FISH, 2000 citado por ERICK THOMPSON, em “Engineering a More Fish Friendly Dam”, Illumin / University of Southern California).

Medições efetuadas indicaram que a taxa de mortalidade para peixes que passam pelo interior de uma turbina é menor do que a prevista.

Foram realizados diferentes estudos comparativos utilizando-se peixes reais, e falsos de sensoramento. Com esses dados, concluiu-se que a mortandade do salmão era resultado de vários fatores diferentes, dentre os quais podemos citar:

- Turbulência no fluxo de água na região das aberturas (gaps) entre as pás da turbina e o aro câmara; e entre as pás da turbina e a ogiva, que também podiam funcionar como guilhotinas.
- Trauma devido ao impacto com componentes das estruturas da turbina.
- Diferenças de pressão ocasionadas por operação em condições não ideais, como ocorrência de cavitação, causando hemorragias.
- Perda de equilíbrio e desorientação induzida por impacto não letal, porém, o que contribuiu para aumentar a vulnerabilidade aos predadores naturais.

Nas usinas pesquisadas, as turbinas fish friendly instaladas são realmente menos danosas aos peixes. Porém, na usina de Wanapum, onde se comparou turbinas diferentes, o número de pás

do rotor também mudou e, sendo o número de pás do rotor também fator a ser considerado, o resultado matemático não mostrou melhoria. Se forem comparadas turbinas com o mesmo número de pás, o resultado da fish-friendly é favorável, como demonstrado em Bonneville. Elas diminuem as injúrias nas regiões extremas das pás do rotor, sendo que, na parte central da pá teoricamente é igual a uma máquina de projeto convencional.

Ressalta-se que os resultados e a eficiência obtidos com as escadas de peixe ou canais paralelos, especialmente construídos para permitir a trajetória rio acima, devem ser reavaliados cuidadosamente quanto à sua aplicação em outras situações, uma vez que, se referem a um determinado tipo de peixes de dada região, cujo formato e conjunto de hábitos são específicos. Isto se aplica, por exemplo, aos peixes tropicais existentes aqui no Brasil.

Portanto, instalar escadas ou outros métodos de subida apenas com o intuito de cumprir a legislação, não é o apropriado. É necessária uma tropicalização nos projetos de escadas de peixe, ou, melhor estudo dos peixes regionais, para instalar uma obra eficiente e que propicie aos peixes, uma opção com resultados favoráveis às necessidades da diversidade local.

Além do que, podem causar um efeito colateral indesejado. Uma consequência indesejada constatada na implantação de escadas de peixes, é que peixes agressivos e carnívoros do topo da pirâmide alimentar, ficam a espreita de alimento fácil, quando os peixes da piracema saem da escada, já cansados pela subida. Ou seja, é mais um exemplo da interferência humana sobre o equilíbrio natural das espécies.

No contexto geral, pode-se afirmar que qualquer alteração humana no meio ambiente natural, causará um tipo de desequilíbrio. As ações corretivas mencionadas aqui visam minimizar estes efeitos negativos ao meio ambiente, porém, não há como eliminá-los por completo.

## REFERÊNCIAS

ABERNETHY, C. S. et al. **Fish Passage Through a Simulated Horizontal Bulb Turbine Pressure Regime: A Supplement to "Laboratory Studies of the Effects of Pressure and Dissolved Gas Supersaturation on Turbine-Passed Fish.** PNNL - 13470 B, US Department of Energy, 2003.

ABERNETHY, C. S. et al., Hydropower R&D. **Laboratory Studies of the Effects of Pressure and Dissolved Gas Supersaturation on Turbine-Passed Fish.** PNNL - DOE/ID – 10853, US Department of Energy, 2001.

ADITAL - Notícias da América Latina e Caribe, Brasil, Lucio Flavio Pinto. **Diálogo de surdos: usinas do Madeira.** Brasil, 08/maio/2007. Disponível em :  
<<http://www.adital.com.br/site/noticia.asp?lang=PT&cod=27464>>.  
Acessado em 7/nov./2008.

AGÊNCIA AMAZÔNIA DE NOTÍCIAS. **Pesquisador aponta risco de barragens no Madeira,** Flávio Lima em entrevista à Pedro Biondi. Brasil, 10/maio/2007. Disponível em :  
<[http://www.agenciaamazonia.com.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=1120&Itemid=507](http://www.agenciaamazonia.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=1120&Itemid=507)>. Acessado em 7/nov./2008.

AGÊNCIA BRASIL, Nielmar de Oliveira. **Plano Decenal aponta necessidade de construção de sete usinas hidrelétricas até 2016,** Rio de Janeiro, 3 de Julho de 2007. Disponível em :  
<<http://www.agenciabrasil.gov.br/noticias/2007/07/03/materia.2007-07-03.5763912209/>>.  
Acessado em 7/nov./2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, **6-9 Ecossistemas Aquáticos, ANA.** Disponível em :  
<<http://www.ana.gov.br/pnrh/DOCUMENTOS/5Textos/6-9EcossistemasAquaticos.pdf>>.  
Acessado em 5/out./2008.

AGÊNCIA SEBRAE DE NOTÍCIAS. **O elevador de peixes da UHE Funil.** 2005. Disponível em: <<http://www.oeco.com.br/preview/37-reportagens/1064> >. Acessado em nov./2008.

ALMA DO RIO, **Alma do Rio visita a Hidrelétrica Funil para conhecer o elevador de peixes para a piracema.** Disponível em : <[http://www.almadorio.org.br/lei367\\_2006.htm](http://www.almadorio.org.br/lei367_2006.htm)>. Acessado em nov./2008.

BANCO MUNDIAL, **Relatório No. 40995-BR, intitulado : Licenciamento Ambiental de Empreendimentos Hidrelétricos no Brasil: Uma Contribuição para o Debate.**Vol. I. Brasil, 2008.

BRASIL. **Lei federal sobre a instalação de sistema de transposição de peixes.** Disponível em : <<http://www.camara.gov.br/sileg/integras/28936.doc> >. Acessado em dez./2008.

ČADA, GLENN F. et al, Hydropower R&D. **Recent Advances in Turbine Passage Technology**, PNNL-DOE/ID - 10753. US Department of Energy, 2000.

CARLSON, THOMAS J. et al. **Advanced Sensor Fish for Improved Turbine design**, PNNL, sem data.

CARLSON, THOMAS J. et al. **Advensor**. PNNL, sem data.

CARLSON, THOMAS J. et al. **The Sensor Fish**. PNNL, sem data.

COLUMBIA & SNAKE RIVER CAMPAIN. **The Case for Partially Removing Four Dams on the Lower Snake River - returning salmon by restoring rivers.** April 1999. Disponível em : < <http://www.bkuefish.org/thecase> > Acessado em 17/fev./2008.

COMASE, **Seminário sobre fauna aquática e o setor elétrico brasileiro; reuniões temáticas preparatórias: caderno 5 - ações.** Rio de Janeiro, 1995.

DRESSER, THOMAS J. Jr et al. **Wanapum Dam Advanced Hydro Turbine Upgrade Project: Part 1 - Passage Survival and Condition of Yearling Chinook Salmon Through an Existing and Advanced Hydro Turbine at Wanapum Dam, Mid-Columbia River, USA.** HydroVision Conference & Exposition, Portland, Oregon, 2006, de 31 julho a 4 Agosto 2006, organizada por International Hydropower Assoc..

DRESSER, THOMAS J. Jr et al. **Wanapum Dam Advanced Hydro Turbine Upgrade Project: Part 2 - Evaluation of Fish Passage Test Results Using Computational Fluid Dynamics.** HydroVision Conference & Exposition, Portland, Oregon, 2006, de 31 julho a 4 Agosto 2006, organizada por International Hydropower Assoc..

ELETRORÁS. **Sistema de Informações do Potencial Hidroelétrico Brasileiro - SIPOT.** Extranet, Brasília, 2008. Disponível em :  
< <http://www.eletroras.gov.br/ELB/data/Pages/LUMIS21D128D3PTBRIE.htm> >.  
Acessado em 7/nov./2008.

ELETRONORTE. Disponível em : < [Complexo Hidrelétrico Belo Monte.htm](#) >. Acessado em 8/maio/2008.

ELLIS, RAIMOND O. et al. **Advances in Turbine Development for Fish Survival.** Waterpower Conference, 1999, Las Vegas, NV, July 6-9, 1999.

FEARNSIDE, PHILIP M., **Acesso a Publicações** - Visitantes. Disponível em :  
<<http://philip.inpa.gov.br/>>. Acessado em maio/2009

FISHER et al. **An Advanced Hydropower Turbine System Concept - New Kaplan Turbine Technologies for Rehabilitation of existing Hydro.** Voith Inc. Presentation, York / Pennsylvania, 2001.

FISHER, RICHARD et al. **Initial Test Results of the New Kaplan Minimum Gap Runner Design on Improving Turbine Fish Passage Survival for the Bonneville First Powerhouse Rehabilitation Project.** HydroVision Conference & Exposition, 2000, de 8-11 Agosto 2000, organizada por The US National Hydropower Assoc. & Hydro Review Journal, Charlotte, North Carolina, USA.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Escada para peixes, aumenta o risco de extinção.** Disponível em : < <http://amorordemeprogreso.blogspot.com/2008/02/escada-para-peixe-aumenta-risco-de.html> >. Acessado em dez./2008.

HICKMAN, et al. **Peixes migratórios.** Disponível em : <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Peixe>>. Acessado em nov./2008.

IBAMA. **Licenciamento ambiental de empreendimentos hidrelétricos no Brasil. Relatório N° 40995-BR.** Escritório do Banco Mundial no Brasil: 2008. Disponível em : <<http://www.ibama.gov.br/licenciamento>>. Acessado em jan./2009.

IDAHO FISH & GAME. **Ocean and Estuarine Predators.** Report to the Director. Disponível em < <http://www.bluefish.org/predator.htm>>. Acessado em 5/jan./1998.

ITAIPÚ. **O canal de Itaipu.** Disponível em : < <http://www.itaipu.gov.br>>. Acessado em dez./2008.

JORNAL GAZETA MERCANTIL. **CESP, uma das pioneiras na preservação.** 2007  
Disponível em :  
<[http://www.eletrosul.gov.br/gdi/gdi/index.php?pg=cl\\_abre&cd=gelfde6@BXhle](http://www.eletrosul.gov.br/gdi/gdi/index.php?pg=cl_abre&cd=gelfde6@BXhle) >.  
Acessado em jan./2009.

JORNAL ILUSTRADO. **O caso da migração da piapara.** Disponível em :  
<<http://www.ilustrado.com.br/arquivo/050605/pagina4.pdf> >.  
Acessado em dez./2008.

MARQUES, MARCELO G. **Análise da macro turbulência na entrada de escadas de peixes.** CNPQ, IPH/UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

MARTINEZ, C.B, et al. **Estudos de motorização de mecanismos de transposição de peixes.** Disponível em : < <http://www.cph.eng.ufmg.br/docscph/prodgrupo28.pdf> >.  
Acessado em Nov./2008.

MARTINS S. L. et al. **Sistema para Transposição de Peixes**, ISSN 1413-2192, Boletim técnico/PHD/72. USP, 2000.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME, ELETROBRÁS, COMITÊ COORDENADOR DAS ATIVIDADES DE MEIO AMBIENTE DO SETOR ELÉTRICO - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME, Empresa de Pesquisa Energética - EPE. **Estudos do Plano Decenal de Expansão do Setor Elétrico Estudos da Expansão da Transmissão – Análise dos Sistemas Regionais- Subistema Sul e Estado do Mato Grosso do Sul - Ciclo 2006-2015**. Brasília, 2005.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Balanco Energético Nacional - BEN**, Brasília, 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Avaliação Ambiental dos Aproveitamentos Hidrelétricos de Santo Antônio e Jirau, realizada pela equipe técnica do IBAMA**, Parecer técnico Nº 014 / 2 0 0 7 - COHID/CGENE/DILIC/IBAMA. Brasília, 21 /março /2007.

PNNL. **Researchers Analyze Role Of Shear In Turbine Passage**. Science Daily, 1999. Disponível em <<http://www.sciencedaily.com/releases/1999/05/990525183445.htm>> Acessado em 10/2/2008.

POMPEU, P. S. e MARTINEZ, C. B. **Variações temporais na passagem de peixes pelo elevador da Usina Hidrelétrica de Santa Clara, rio Mucuri, leste brasileiro**. Revista Brasileira de Zoologia. Edição 23 ano 2006. Disponível em : <<http://www.scielo.br/pdf/rbzool/v23n2/a05v23n2.pdf>>. Acessado em dez./2008.

SÃO PAULO. **Leis estaduais sobre a instalação de sistema de transposição de peixes**. Disponível em : : <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1997/lei%20n.9.798,%20de%2007.10.1997.htm>>. Acessado em dez./2008.

THOMPSON, ERICK. **Engineering a More Fish Friendly Dam**. Illumin / University of Southern California, sem data.

TURMA DO BIGUÁ. **Sistema de Transposição de Peixes**. Disponível em : <<http://www.turmadobigua.com.br/turmadobigua/forum/viewtopic>>. Acessado em nov./2008.

UNIVERSIDADE DO TOCANTINS. **As escadas de peixes são armadilhas ecológicas**. Disponível em : < <http://conexaotocantins.com.br/noticia/escadas-para-peixes-sao-armadilha-ecologica-para-especies-tropicais/1471> >. Acessado em nov./2008.

WHITE LAW, ED. **Breaching Dam Myths**. Oregon Quarterly, 2000.

WIKIPEDIA, **Fish ladder - history**.

Disponível em : < [http://en.wikipedia.org/wiki/Fish\\_ladder](http://en.wikipedia.org/wiki/Fish_ladder)>. Acessado em maio/2009.