

PEDRO DE MENDONÇA MAIA



# Otimização do despacho diário de hidrelétricas

Parte I: Aspectos humanitários

*Orientador:*

Rodney Rezende SALDANHA

Belo Horizonte

19 de dezembro de 2014



# Sumário

Sumário	2
Lista de Figuras	5
Lista de Tabelas	7
<b>1 Introdução</b>	<b>9</b>
1.1 Objetivos do trabalho	10
1.2 Motivação	11
<b>2 Revisão Bibliográfica</b>	<b>13</b>
<b>3 Definições</b>	<b>15</b>
3.1 Bacia Hidrográfica	15
3.1.1 Cascata hidrelétrica	15
3.1.1.1 Montante	15
3.1.1.2 Jusante	16
3.1.2 Habitat	16
3.1.3 Ecossistema	17
3.1.3.1 Fatores bióticos	17
3.1.3.2 Fatores abióticos	17
3.1.4 Ictiofauna	17
3.1.5 Ciclo hidrológico	17
3.2 Fluxo de água	19
3.3 Usina Hidrelétrica	19
3.3.1 Barragem	21
3.3.2 Reservatório	21
3.3.3 Sistema de captação	21
3.3.4 Casa de força	21

3.3.5	Vertedouro . . . . .	21
3.3.6	Canal de fuga . . . . .	22
<b>4</b>	<b>Os múltiplos usos da água</b>	<b>23</b>
4.1	O valor da água . . . . .	24
4.2	Usos compartilhados da água . . . . .	25
4.3	Uso múltiplo dos reservatórios . . . . .	25
4.3.1	Reservatórios de uso múltiplo no Brasil . . . . .	26
4.4	Sustentabilidade . . . . .	28
4.5	Irrigação . . . . .	28
4.5.1	Panorama atual no Brasil . . . . .	29
4.5.2	Consequências da disputa pela água . . . . .	30
<b>5</b>	<b>Impactos ambientais</b>	<b>31</b>
5.1	Influência das características da água nas biotas fluviais . . . . .	31
5.2	Influência da sazonalidade nas atividades alimentar e reprodutiva dos peixes . . . . .	33
5.3	Interferência das hidrelétricas em ecossistemas aquáticos . . . . .	34
<b>6</b>	<b>Conclusão</b>	<b>35</b>
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>37</b>

# Lista de Figuras

1.1	Distribuição das Hidrelétricas no Brasil . . . . .	9
3.1	Cascata de hidrelétricas com (triângulo) e sem reservatório (círculo) . . . . .	16
3.2	"Ciclo hidrológico" por John M. Evans/USGS-USA Gov . . . . .	18
3.3	Principais partes de uma usina hidrelétrica . . . . .	20
4.1	Destino da água desviada dos cursos naturais no Brasil Fonte: Food and Agriculture Organization Of The United Nations, 2010 . . . . .	24
4.2	Mapa de hidrovias brasileiras . . . . .	27
4.3	Crescimento populacional e de produção de alimentos no mundo Fonte: Population Studies Center, University of Michigan . . . . .	29
5.1	Número esperado de espécies para cada nível de urbanização . . . . .	32



# Lista de Tabelas

4.1	Reservatórios de múltiplo uso no Brasil Adaptado de de Lima Vilas Boas, 2005. . . .	27
4.2	Métodos de irrigação utilizados no Brasil Fonte: Food and Agriculture Organization Of The United Nations, 2010 . . . . .	29
5.1	Principais espécies encontradas nas zonas de estudo . . . . .	32
5.2	Principais fatores que influenciam ecossistemas fluviais Adaptado de de Paulo, 2007	34





## Capítulo 1

# Introdução

A cada ano o consumo de energia elétrica cresce com uma sociedade cada vez mais dependente do uso de equipamentos elétricos e eletrônicos. Segundo dados do Banco Mundial, de 1971 a 2011 o consumo mundial *per capita* cresceu aproximadamente três vezes. Aqui no Brasil, esse crescimento foi ainda maior, de quase cinco vezes. Sendo assim, otimizações nos processos de transmissão e geração da energia são imprescindíveis para atingir o alto nível de demanda com baixos risco e custo.

O Brasil possui um grande potencial hidráulico graças à abundância dos recursos hídricos. Por esse motivo, as hidrelétricas são as principais responsáveis pela geração da energia elétrica. Em 2013, por exemplo, elas supriram 70.6% do consumo total, de acordo com o Balanço Energético Nacional. Para abastecer tamanha demanda, existe no país um complexo sistema de usinas interligadas, [Figura 1.1](#), chamado Sistema Interligado Nacional(SIN).

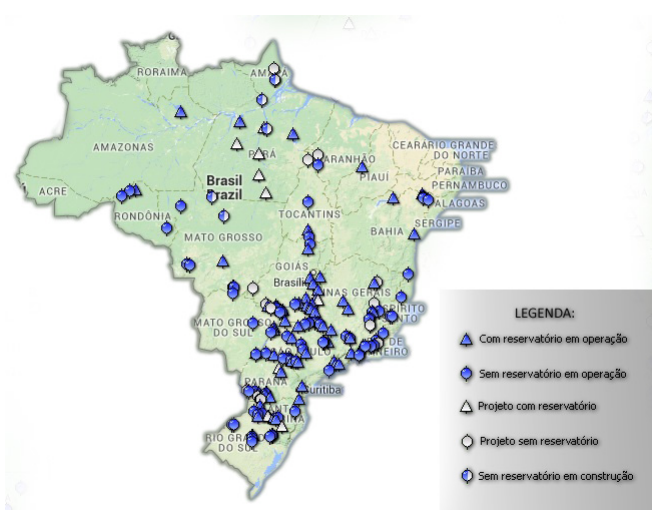


Figura 1.1: Distribuição das Hidrelétricas no Brasil

As hidrelétricas que compõem SIN possuem forte acoplamento hidráulico, existindo mais de uma usina em cada bacia hidrográfica, de forma que o volume de água retido ou liberado por uma interfere diretamente na operação da que fica a jusante. Assim, o planejamento da programação diária é um processo complexo que deve considerar todas as usinas de uma cascata. Diariamente, é feita a programação de qual volume de água cada unidade geradora do SIN despachará a cada intervalo de trinta minutos, visando atender à demanda de consumo com o menor custo operacional possível.

Entretanto, a água é um recurso que tem utilidade em diversos ramos, como navegação, pesca, irrigação, lazer e consumo. Isso impõe aos responsáveis pela geração da energia obrigações e restrições de operação que vão muito além das relacionadas à produção de energia, pois devem considerar também as várias outras formas de utilização desse recurso.

A demanda de energia varia ao longo do dia e a programação da geração deve segui-la, devido à impossibilidade de armazenamento de energia elétrica em larga escala. Contudo, as restrições de despacho impostas pelo ambiente e sociedade geralmente exigem que vazões diferentes da necessária para atender a demanda sejam liberadas pelas usinas a cada intervalo de tempo. Essa diferença implica muitas vezes em desperdício de recursos do ponto de vista da geradora, porém acarreta ganhos em outras áreas, como será discutido no trabalho.

## 1.1 Objetivos do trabalho

Este trabalho tem como objetivo apresentar e discutir os diversos impactos ambientais, econômicos e sociais causados pelo despacho da água em hidrelétricas. Os seguintes aspectos serão considerados:

- Como a alteração do fluxo dos rios provocado pelas usinas influencia o ecossistema presente no local.
- Como a diversidade e abundância de peixes são alteradas com as variações da condição da água.
- Como os sistemas de irrigação são afetados pelas hidrelétricas.
- Como os múltiplos usos da água se relacionam com a produção de energia.
- A importância das usinas na regulação da bacia hidrográfica, seja no controle de cheias ou secas.

## 1.2 Motivação

Os anos de 2013 e 2014 têm sido caracterizados no Brasil pela falta de chuvas. O país vem sofrendo severas consequências com a redução da disponibilidade de água.

Diariamente, a mídia apresenta centenas de notícias relacionadas às consequências sociais e econômicas da escassez de água. Dentre outros aspectos, as reportagens citam a falta de abastecimento adequado à população [G1, 2014], problemas com transportes fluviais causados pelo baixo nível dos rios ou altas correntes [EXAME, 2014a], níveis críticos de rios e reservatórios [R7, 2014] [EXAME, 2014b], problemas na irrigação [EXAME, 2014a] e especulações de consequências de possível racionamento [Folha de São Paulo, 2014].

Uma melhor gerência nos recursos hídricos é essencial para minimizar as consequências. Devido a complexidade e dimensão do SIN, ele tem a capacidade de modificar o fluxo das bacias e assim reduzir os problemas causados pela escassez de água. Com isso, este trabalho apresenta os aspectos que podem ser influenciados pela melhor operação diária das hidrelétricas.



## Capítulo 2

# Revisão Bibliográfica

Grigg, 2008, Sternberg, 2008, de Lima Vilas Boas, 2005 e Hermida and Castronuovo, 2013 mostram que a água é um recurso natural importante para vários segmentos da sociedade, não só na geração de energia elétrica. Sua utilização pode se estender também para o abastecimento da população, lazer, pesca, navegação, entre outros. de Lima Vilas Boas, 2005 afirma que a construção de grandes projetos que atendam às várias demandas é mais vantajoso que vários projetos menores para fins específicos. Isso torna fundamental uma boa gerência dos recursos, de forma que nenhuma das finalidades seja prejudicada.

Um exemplo com impactos sociais e econômicos é a agricultura utilizando irrigação. Com a crescente demanda por alimentos devido ao crescimento populacional e a escassez dos recursos hídricos, a disputa por maiores porções do recurso entre produtores alimentícios e de energia tem aumentado. Com isso, eficiência da irrigação é cada vez mais importante. do Amaral et al., 2005 propõem um equipamento de regulação de fluxo em irrigação para reduzir o desperdício. Martini et al., 2013 mostram que essa melhoria implica também na redução da quantidade de pesticidas nas plantações, que são posteriormente transportados de volta ao meio ambiente.

No aspecto ambiental, Cunico et al., 2012 e Alexandre et al., 2010 expõem que as composição e distribuição de espécies de peixes em um rio foram afetadas pela atividade humana ao longo da história. Em ambientes menos propícios, a abundância e diversidade de espécies reduzem, enquanto aquelas mais adaptadas passam a dominar e desequilibrar o sistema. Uma usina hidrelétrica que barra toda a passagem da água se torna responsável pelo controle de todo o fluxo do rio, podendo alterar drasticamente o ambiente. de Paulo, 2007 mostra que a ictiofauna é afetada pela força da corrente, tipo de substrato, temperatura e nível de oxigenação. Ela também explica que outras espécies também são afetadas por essas alterações, como aves e mamíferos que se alimentam desses peixes. Segundo Moreira-Hara et al., 2009, os peixes regulam seus ciclos reprodutivos e alimentícios com os períodos de cheia do rio, de forma que

as hidrelétricas que trabalham regulando o fluxo a jusante impactam na reprodução dessas espécies.

No âmbito econômico, [Pérez-Díaz and Wilhelmi, 2010](#) explica como as restrições ambientais na operação das usinas hidrelétricas geram impactos. A demanda de energia elétrica varia ao longo do dia, entretanto as usinas não devem alterar drasticamente os volumes despachados, podendo ocorrer desperdícios logo antes ou após horários de pico de consumo. A necessidade de manter sempre um fluxo mínimo, seja por causas ambientais ou sociais, pode também gerar desperdícios.

Em compensação, a permanência de uma vazão mínima de água permite a navegação ao longo de todo o dia. [Padovezi, 2003](#) mostra que o transporte hidroviário é o mais econômico, quando existirem condições favoráveis. De acordo com o autor, essas condições dependem, dentre outras, da velocidade das correntes, baixa taxa de assoreamento e nível da água. A forma como essas variações ocorrem ao longo do dia e do ano interferem na eficiência deste meio de transporte e suas vantagens econômicas. Em um sistema como o brasileiro, as usinas hidrelétricas presentes em quase todas as bacias hidrográficas influenciam a navegabilidade fluvial.

Uma tendência atualmente é a criação de usinas hidrelétricas de pequeno porte, conforme apresentam [Martins et al., 2013](#) e [Abbasi and Abbasi, 2011](#). Por serem menores, geram menos danos ao meio ambiente tanto na construção do reservatório quanto na operação. Como trabalham com baixos volumes de água, não geram mudanças drásticas no rio à montante nem na variação do fluxo de água à jusante. Por outro lado, esse tipo de hidrelétrica tem pouca capacidade de geração de energia, fazendo-se necessária a construção de várias usinas ao longo das bacias hidrográficas. Não se sabe, ainda, que tipo de impacto isso pode causar. Além disso, considerando o planejamento a longo prazo, usinas com reservatórios pequenos são mais sensíveis a secas futuras.

No sistema de geração atual, todos esses aspectos são transformados em restrições operativas visando evitar problemas sociais e ambientais ou prejuízos a terceiros. [ONS, 2013](#) é o documento oficial que define todas as restrições operativas. Ele cita as consequências causadas pelo descumprimento de cada norma. As principais incluem, por exemplo, restrições à navegação e eclusagem, necessidade de evacuação de populações ribeirinhas, mortalidade de peixes e cheias danificando pontes ou cidades.

## Capítulo 3

# Definições

O sistema de geração hidrelétrica está difundido por todo o território nacional. Cada bacia hidrográfica concentra várias usinas com diferentes capacidades de geração e tamanhos de reservatório distintos. Elas podem operar com reservatório ou à fio d'água. Para que essa operação seja eficiente, a criação de desnível no rio no local onde a usina é instalada é necessário.

A instalação de uma cascata hidrelétrica em um rio pode provocar várias alterações na ictiofauna e conseqüentemente no ecossistema. Todas essas e ainda outras definições serão apresentadas nas seções seguintes.

### 3.1 Bacia Hidrográfica

Uma bacia hidrográfica é definida como toda a região que faz a drenagem das precipitações para um curso de água principal ou seus afluentes. Cada afluente pode possuir sua própria bacia, formando uma sub-bacia da principal.

#### 3.1.1 Cascata hidrelétrica

Todas as usinas de uma mesma bacia hidrográfica compõem uma cascata hidrelétrica, como exemplifica a [Figura 3.1](#). As hidrelétricas na mesma cascata possuem forte acoplamento hídrico, ou seja, a operação da montante afeta diretamente na operação da jusante.

##### 3.1.1.1 Montante

Todo local do rio situado entre um ponto de referência e a nascente é chamado montante. No caso das cascatas hidrelétricas, qualquer usina que precede uma marcada como referência é chamada de montante. Por exemplo, na [Figura 3.1](#), as usinas 8 a 11 estão à montante em relação à 12.

### 3.1.1.2 Jusante

Todo local do rio situado entre um ponto de referência e a foz é chamado jusante. No caso das cascatas hidrelétricas, qualquer usina após uma marcada como referência é chamada de jusante. Por exemplo, na [Figura 3.1](#), as usinas 6, 7, 8 e 9 estão à jusante em relação à 5.

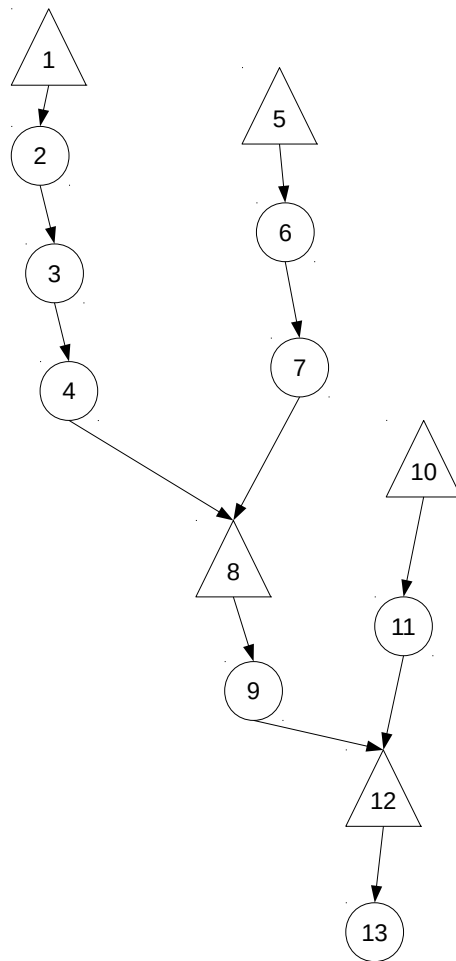


Figura 3.1: Cascata de hidrelétricas com (triângulo) e sem reservatório (círculo)

### 3.1.2 Habitat

O habitat é definido como o conjunto de espaço físico e fatores abióticos habitado por determinada espécie de animal, planta ou outro tipo de organismo.



#### 3.1.3 Ecossistema

Ecossistema é definido como o conjunto de interações entre seres vivos, e destes com o ambiente em determinada região. Fatores bióticos e abióticos interferem no sistema e regulam as dimensões das populações de seres vivos e ciclos de nutrientes e transferência de energia.

##### 3.1.3.1 Fatores bióticos

São todos os efeitos causados por organismos vivos em um ecossistema. Esses fatores condicionam as populações que formam o ecossistema.

##### 3.1.3.2 Fatores abióticos

São todos os efeitos que agem sobre um ecossistema que independem dos seres que o habitam. Assim como os fatores bióticos, estes também condicionam as populações, apesar de serem completamente independentes delas.

#### 3.1.4 Ictiofauna

Ictiofauna é o nome dado ao conjunto de espécies de peixes de uma região. Seu estudo contínuo em cascatas hidrelétricas é fundamental para determinar a evolução do nível das interferências antrópicas na região e quais consequências estão causando para todo o ecossistema.

#### 3.1.5 Ciclo hidrológico

É chamado ciclo hidrológico a troca contínua de água entre atmosfera, solo, plantas, animais e reservatórios superficiais e subterrâneos, conforme a [Figura 3.2](#). O processo ocorre em quatro etapas:



Figura 3.2: "Ciclo hidrológico" por John M. Evans/USGS-USA Gov

- **Armazenamento:** a água é armazenada superficialmente ou subterraneamente. Na superfície, ela se encontra na forma líquida nos lagos, reservatórios ou nos oceanos e na forma sólida em geleiras;
- **Escoamento:** superficialmente o escoamento ocorre principalmente em rios, que transportam a água geralmente até o mar. Parte da água infiltra o solo e escorre por caminhos subterrâneos ou é absorvida pelas vegetações;
- **Evaporação:** parte da água nos canais e reservatórios superficiais evapora para a atmosfera, onde é condensada na forma de nuvens. Plantas e animais também contribuem para esse processo por meio da transpiração.
- **Precipitação:** forma como a qual a água condensada na atmosfera retorna para a superfície. Nesse ponto, ela pode ser diretamente absorvida pelo solo ou vegetação, ou escorrer até um rio ou reservatório.

## 3.2 Fluxo de água

O fluxo é a vazão volumétrica da água. Ele é dado pelo volume de água que atravessa uma superfície por intervalo de tempo. Sua unidade é  $\text{m}^3/\text{s}$ . Em uma cascata hidrelétrica, o fluxo de água pode ser dividido em duas partes:

- **Vazão natural:** é todo o volume de água que chega em uma usina em um intervalo de tempo considerando a bacia em seu estado natural, ou seja, descontando toda a interferência humana à montante.
- **Vazão incremental:** é a diferença entre o volume natural e o total que chegam em uma usina em um intervalo de tempo. Seu valor é dado a partir dos volumes turbinados e vertidos pelas usinas imediatamente à montante na cascata.

A previsão da vazão natural indica a disponibilidade de água na região para geração hidrelétrica e para outras finalidades futuramente. Esse é um problema estocástico que depende de fatores naturais como clima e as condições do solo. Seu cálculo é complicado, porém crucial para uma boa operação dos sistemas hídricos.

## 3.3 Usina Hidrelétrica

Usinas hidrelétricas geram energia elétrica a partir do aproveitamento do potencial hidráulico de um rio. Seus principais componentes e funções podem ser vistos na [Figura 3.3](#) e são descritos nas seções seguintes:

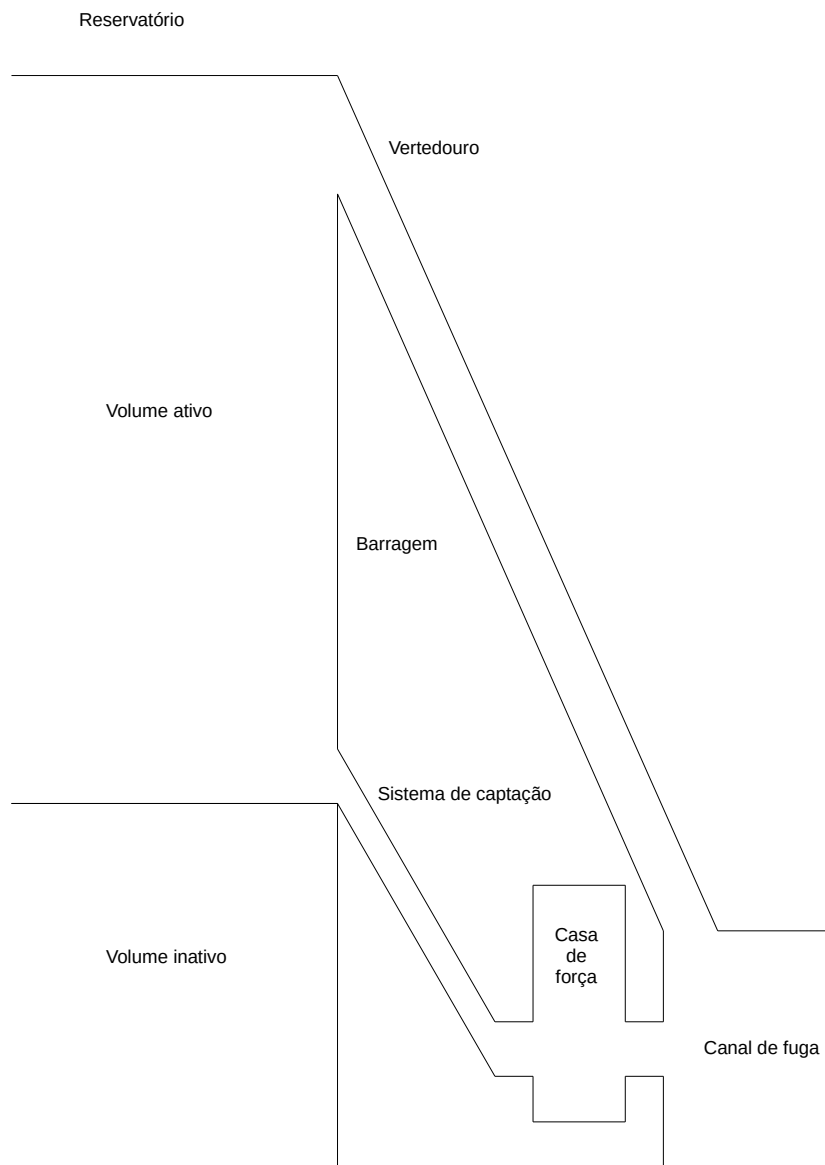


Figura 3.3: Principais partes de uma usina hidrelétrica

#### 3.3.1 Barragem

A barragem de uma usina possui duas funções principais. A primeira é de elevar o nível da água à montante para aumentar a produtividade das turbinas e a segunda de criar uma reserva para operações futuras. Sua altura é um dos fatores que caracterizam a dimensão da hidrelétrica.

#### 3.3.2 Reservatório

O reservatório é composto pela água retida pela barragem que não é turbinada nem vertida. Ele é muitas vezes utilizado como fonte de lazer ou via de navegação. Pode ser dividido em dois tipos:

- Fio d'água: não altera o volume em um período de tempo, portanto não é capaz de regular o fluxo do rio à jusante. Geralmente condições ambientais impedem que usina tenha um reservatório grande e a obriguem a operar dessa forma.
- Reservatório de armazenamento: é capaz de regular o fluxo à jusante alterando o volume.

#### 3.3.3 Sistema de captação

Responsável por encaminhar a água do reservatório até a casa de força, onde a energia será gerada. É composto por portões, canais e túneis que conduzem a água sob grande pressão.

#### 3.3.4 Casa de força

Local da usina onde ocorre a conversão da energia cinética da água em energia elétrica. É constituída por turbina, gerador e subestação de elevação.

As pás da turbina, que está acoplada ao rotor do gerador, giram ao entrar em contato com a água que chega do sistema de captação. A rotação do rotor gera corrente elétrica no estator do gerador, conectado à subestação de elevação. A subestação eleva a tensão gerada para a transmissão da energia elétrica por meio das linhas de transmissão.

Após passar pelas turbinas, a água segue até o canal de fuga.

#### 3.3.5 Vertedouro

Responsável por controlar o nível do reservatório em condições especiais. A água do reservatório é liberada pelo vertedouro em períodos onde o fluxo à jusante for superior ao fluxo que passa pelo sistema de captação, seja por motivos ambientais, econômicos ou segurança operacional. Esse

processo é denominado vertimento.

Como a água vertida não passa pela casa de força, ela não gera eletricidade, portanto o processo é evitado sempre que possível.

### **3.3.6 Canal de fuga**

Responsável por reintegrar a água que passou pela usina ao leito natural do rio.

## Capítulo 4

# Os múltiplos usos da água

Como já discutido anteriormente, a utilização da água não se limita apenas na produção de energia elétrica pelas hidrelétricas. Ela é um recurso natural de importância fundamental para a sociedade. Considerando as outras formas de consumo podem-se destacar:

- Abastecimento municipal;
- Abastecimento industrial;
- Irrigação;
- Navegação;
- Controle de cheias e secas;
- Pesca;
- Recreação.

A irrigação e o abastecimento municipal são os principais destinos de desvio de água no país, conforme [Figura 4.1](#), e por essa razão são as principais fontes de disputa com o setor elétrico.

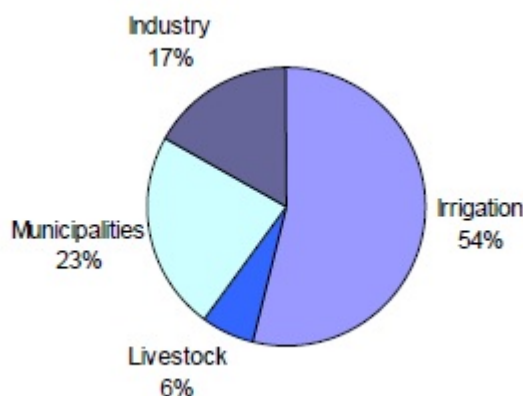


Figura 4.1: Destino da água desviada dos cursos naturais no Brasil  
Fonte: Food and Agriculture Organization Of The United Nations, 2010

A Agência Nacional de Águas (ANA) estabelece que no Brasil todos os setores tem igualdade de acesso aos recursos hídricos, exceto em situações críticas onde o consumo humano e a dessedentação de animais passam a ser prioritários.

A demanda do recurso é crescente em todos os usos requeridos devido ao crescimento populacional. Como a disponibilidade de água não acompanha tal crescimento, conflitos de interesse são cada vez mais comuns. Sendo assim, a ANA é responsável por mediar os conflitos e definir como será a divisão em cada caso. Disputas comuns envolvem, por exemplo, os setores elétrico e hidroviário, saneamento e lazer ou irrigação e elétrico.

## 4.1 O valor da água

Uma forma de selecionar a relevância de cada forma de utilização é avaliar os benefícios trazidos por cada um e ponderá-los. Grigg, 2008 define benefício como uma nova contribuição obtida por uma ação em direção a um objetivo. Essa contribuição deve ser trazida pela ação, de forma que sem ela não haja ganho em relação ao estado anterior.

Contudo, o cálculo dos benefícios nem sempre é trivial, pois é difícil mensurar o objetivo a ser alcançado. A utilização da água com propósitos ambientais, controle de cheias ou recreação, por exemplo, não apresentam ganho financeiro como o uso para irrigação ou geração hidrelétrica. Apesar disso, a distribuição do recurso deve atender todas as formas e nesses casos os ganhos ambientais e sociais superam os econômicos.



## 4.2 Usos compartilhados da água

A maioria das finalidades da água possuem um padrão sazonal. Em épocas de chuva, por exemplo, o volume de água que deve ser desviado para irrigação é reduzido, enquanto a navegação pode ser favorecida em determinados trechos devido ao maior nível dos rios.

Essa sazonalidade mostra as vantagens de grandes projetos para atendimento integrado a múltiplos usos. Como nem todas as formas de utilização trabalham com capacidade total ao longo de todo o ano, a capacidade final do sistema pode geralmente ser menor que a soma das capacidades individuais de projetos para usos específicos.

Além disso, os custos de implantação, operação e manutenção de um projeto reduzem por unidade de dimensão a medida que o projeto cresce. Sendo assim, a divisão de custos entre usuários é um fator que favorece as grandes construções.

A gerência dos recursos é a principal dificuldade em usos compartilhados. Para que a divisão seja harmônica entre os usuários, um conjunto de regras operacionais devem ser estabelecidas, entretanto em casos críticos elas podem não ser bem aplicadas. Sendo assim, a existência de uma entidade neutra (como a ANA no Brasil) que centraliza as decisões é fundamental.

Por outro lado, um sistema descentralizado composto por projetos menores de cada usuário gera conflitos de interesse que acabam por comprometer a eficiência do uso. Por esse motivo e pelas vantagens apresentadas anteriormente, o uso compartilhado se apresenta como a opção mais viável para empreendimentos hídricos.

## 4.3 Uso múltiplo dos reservatórios

Os reservatórios são os principais projetos construídos para aproveitar os múltiplos usos da água. De acordo com [de Lima Vilas Boas, 2005](#), ele deve atender pelo menos dois dos propósitos, sendo que o projeto inicial já deve considerá-los e dimensioná-los. A parcela de custos de implantação e operação designada a cada beneficiário não é facilmente estabelecida e pode ser fonte de conflitos. Novamente, a existência de uma entidade neutra se faz necessária.

As atividades não precisam, porém, se restringir às planejadas inicialmente. Análises posteriores podem autorizar a inclusão de uma ou mais finalidades na utilização do reservatório. Elas devem condicionar-se às demandas prioritárias e adequar-se às condições de segurança. Em projetos planejados para geração hidrelétrica e navegação fluvial, por exemplo, atividade de recreação

podem ser anexadas, desde que cumpram-se restrições de acesso a determinados locais.

Por se tratarem de grandes projetos com consequências variadas nos contextos locais, os reservatórios podem ser inseridos como fatores de desenvolvimento sócio-econômico da região. Benefícios gerados a partir do reservatório podem ser expressos quantitativamente a partir dos lucros obtidos pelos usos e empregos diretos e indiretos gerados. Além disso, benefícios intangíveis também são alcançados, como melhora da qualidade de vida a partir da alteração do microclima.

### 4.3.1 Reservatórios de uso múltiplo no Brasil

Como o Brasil possui um complexo sistema de usinas hidrelétricas, existem no país vários reservatórios, muitos em cascata, com a principal finalidade de geração de energia elétrica. Grandes reservatórios foram construídos principalmente nas décadas de 1960 e 1970 quando o crescimento do consumo de energia se intensificou. No entanto, tais empreendimentos foram implantados sem considerar o uso compartilhado dos rios e por isso geram diversos impactos. Um exemplo é a ausência de eclusas na maior parte das barragens, o que limita a navegação fluvial em larga escala.

Na época, apenas o estado de São Paulo obrigava a construção de eclusas em todas as barragens, permitindo a utilização dos reservatórios para atividade além da geração hidrelétrica. Por esse motivo, as principais hidrovias fluviais brasileiras vistas na [Figura 4.2](#) se encontram nas regiões com menor concentração de usinas. Elas são:

- Hidrovia do Madeira
- Hidrovia do Paraguai-Paraná
- Hidrovia do Tietê-Paraná
- Hidrovia do Tocantins-Araguaia
- Hidrovia do São Francisco
- Hidrovia do Solimões-Amazonas



Figura 4.2: Mapa de hidroviáveis brasileiras

Devido a essa falta de planejamento no passado, a maior parte dos projetos atuais consideram pequenos reservatórios, pois geram menos impactos de forma geral. Alguns reservatórios foram construídos considerando múltiplos usos e outros foram adaptados para permitir novas demandas que surgiram posteriormente. Alguns exemplos dos reservatórios com várias finalidades são vistos na Tabela 4.1:

Reservatório	Finalidades
Barragem do Fogareiro	a construção permitiu a perenização do Rio Quixeramobim, no Ceará. Além disso, fornece água para irrigação e para a cidade de Quixeramobim, CE.
Hidrelétrica de Paranapanema	além de gerar energia elétrica, o reservatório é usado para prática de esportes náuticos e lazer.
Reservatório de Mogi-Guaçu	construído para impedir alagamentos na região e abastecer as cidades de Mogi-Guaçu e Mogi-Mirim, SP.
Barragem de Mirorós	localizada no sertão da Bahia, regula a vazão do Rio Verde a jusante e fornece água para irrigação e para a população local.
Hidrelétrica do Lobo	inaugurada em 1936 para gerar energia para região próxima a São Carlos, SP. Atualmente a principal utilização do reservatório é para lazer.
Barragem Carro Quebrado	construída para abastecer a cidade de Barra do Mendes, MG e permitir irrigação. Um projeto prevê utilização do reservatório para criação de peixes e perenização do Rio Jacaré.

Tabela 4.1: Reservatórios de múltiplo uso no Brasil  
Adaptado de de Lima Vilas Boas, 2005.

## 4.4 Sustentabilidade

A sustentabilidade no uso da água está relacionada à forma como ela atravessa o ciclo hidrológico considerando a intervenção humana, ou seja, como ela é desviada do caminho natural, utilizada e posteriormente retornada ao meio ambiente.

Dizer que um sistema é sustentável significa dizer que ele é capaz de se sustentar sem auxílio exterior. Isso implica que em sistemas cíclicos como o hidrológico o estado inicial ou equivalente é alcançado novamente ao final de cada ciclo. No caso da água, o processo em escala global se desenvolveu ao longo de milhões de anos até alcançar o formato estável atual. Sendo assim, se a interferência humana alterar significativamente o sistema, pode ocorrer de ele não ser capaz de retornar ao estado inicial e com isso severas consequências podem ocorrer.

A descarga de água em locais distintos do retirado ou o retorno de quantidades diferentes em cada período de tempo são fatores que alteram o ciclo local. A retirada de água de uma bacia hidrográfica e retorno após a utilização em outra, por exemplo, fará com que uma região tenha menos água disponível que o usual e que a outra tenha mais. Assim, uma região poderá sofrer com a falta de água no futuro, enquanto a outra pode apresentar maior frequência de inundações. Essa prática repetida em todo o planeta, onde ciclos locais são modificados em diversas áreas é capaz de alterar todo o ciclo hidrológico do planeta.

O exemplo acima demonstra a necessidade do bom planejamento nos projetos hídricos. Entretanto, essa é uma responsabilidade de toda a sociedade, não apenas dos responsáveis diretos pelo controle do recurso.

## 4.5 Irrigação

Irrigação é uma técnica de aplicação artificial de água utilizada na agricultura e é, conforme [Figura 4.1](#), o principal destino da água desviada no Brasil. Ela é utilizada de maneira complementar à precipitação natural, nos períodos onde a chuva é escassa. Também pode ser utilizada para evitar o crescimento de ervas daninhas, congelamento da cultura no inverno ou consolidação do solo.

O ganho de produtividade agrícola com a irrigação permite atualmente a produção alimentícia em escala mundial e viabilizou há milhares de anos o crescimento e desenvolvimento da civilização. A [Figura 4.3](#) mostra como a produção alimentícia vem crescendo em ritmo maior que a população. Um fator determinante que permite esse fenômeno é o avanço nas técnicas de aplicação.

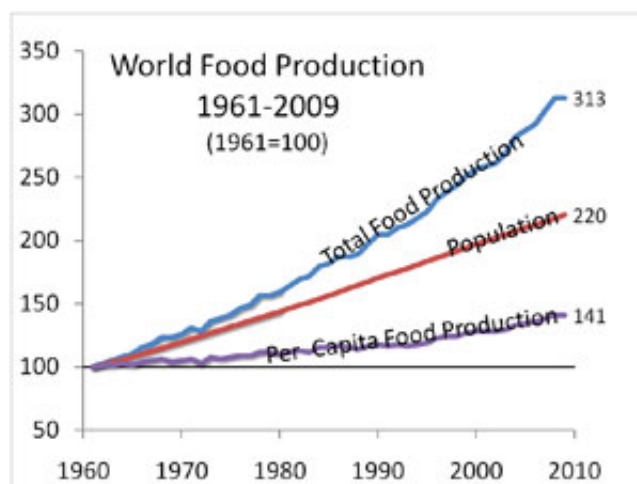


Figura 4.3: Crescimento populacional e de produção de alimentos no mundo  
 Fonte: Population Studies Center, University of Michigan

Alguns métodos modernos pouco utilizados no país possuem eficiência de quase 100%, ou seja, quase toda a água aplicada é absorvida pela plantação. Isso garante que a plantação recebe uma quantidade de água muito próxima da ideal para que não haja desperdício.

Sua utilização não se limita apenas à agricultura. Em sistemas de mineração, por exemplo, a irrigação tem a finalidade de suprimir a poeira provocada pela extração.

#### 4.5.1 Panorama atual no Brasil

O país possui aproximadamente 30 milhões de hectares disponíveis para agricultura, porém apenas cerca de 5.4 milhões são irrigados. Os principais métodos utilizados no país são mostrados na Tabela 4.2:

Método	Proporção(%)
Superfície	48.5
Aspersão	45.3
Outros	8.2

Tabela 4.2: Métodos de irrigação utilizados no Brasil  
 Fonte: Food and Agriculture Organization Of The United Nations, 2010

Os dados mostram que os métodos de superfície (sulcos e inundação) e aspersão são usados em mais de 90% da área irrigada no país. Eles são comuns no país nas plantações de cana-de-açúcar, arroz e café, porém são os menos eficientes.

Isso mostra que o Brasil está defasado neste setor em relação aos principais produtores alimentícios. O investimento em sistemas mais modernos podem reduzir o desperdício de água, permitindo o crescimento da área irrigada sem o aumento do consumo do recurso.

#### 4.5.2 Consequências da disputa pela água

Os sistemas de captação são os responsáveis por desviar água de alguma fonte e levá-la até o sistema de irrigação. A fonte pode ser subterrânea ou superficial, sendo que neste último caso ela pode ser originada de rios, lagos ou reservatórios artificiais. A crescente demanda e consequentemente o maior custo da água têm incentivado a utilização na irrigação de fontes menos convencionais, como esgoto tratado ou água oceânica dessalinizada.

O custo da irrigação é transportado ao consumidor final, refletindo no preço final do alimento. Esse é um dos fatores que impactam nos elevados índices de inflação alimentícia dos últimos anos. Por essa razão, em horários de pico de demanda de água para geração de eletricidade e abastecimento populacional, tipicamente das 18h às 21h, o custo do recurso aumenta e os sistemas de captação de irrigação costumam não operar.

Outra consequência da redução na disponibilidade de água é o crescimento no desenvolvimento de mecanismos mais eficientes para aplicação na cultura. Busca-se aplicar a água no momento correto em quantidades ideais para que as plantas absorvam quase a totalidade e os desperdícios sejam evitados ao máximo.

## Capítulo 5

# Impactos ambientais

A água é o meio de conservação e manutenção da fauna e flora e seus habitats. Não existem dois rios iguais e em cada um ocorrem inúmeras interações biofísicas de fatores bióticos e abióticos, internos ou externos ao sistema. Esse tipo de ecossistema é altamente heterogêneo espacialmente e muitas das interações que ocorrem dependem dessa heterogeneidade.

Interferências nos rios ao longo do tempo geram diversos impactos de forma direta e indireta, causando uma complexa cascata de alterações cumulativas que degradam a qualidade da água e conseqüentemente a riqueza e diversificação da biota. Entretanto, avaliar como essas variações ocorrem é uma tarefa complexa, já que, além de fatores de larga e de pequena escala serem relevantes, é difícil mensurar quanto cada um influencia o processo isoladamente.

### 5.1 Influência das características da água nas biotas fluviais

O estudo das características das comunidades de peixes em diferentes regiões de um rio é uma das maneiras utilizadas para avaliar o nível dos impactos causados pelos seres humanos. Um bom entendimento desses impactos permite melhorar a gestão do recurso ou os esforços para restauração.

[Cunico et al., 2012](#) realizou um estudo em dez riachos próximos a Maringá-PR que compara espécies de peixes e qualidade da água em ambientes urbanos, periurbanos e rurais. Ele analisou as características físico-químicas de cada rio ao longo de um ano e identificou diferenças significativas nos níveis das seguintes propriedades para diferentes níveis de urbanização:

- Poluição;
- Vegetação ciliar;

- Lodo;
- Condutividade elétrica;
- Oxigênio dissolvido;
- Nitrogênio dissolvido.

Em relação à ictiofauna, foram encontradas ao todo 38 espécies. As mais frequentes em cada condição de urbanização são apresentadas na [Tabela 5.1](#) e o valor esperado para a diversidade encontrada em cada um deles é mostrado na [Figura 5.1](#).

Espécie	Urbanas	Espécie	Periurbanas	Espécie	Rurais
<i>P. reticulata</i>	97%	<i>I. mirini</i>	97%	<i>P. reticulata</i>	100%
<i>R. quelen</i>	80%	<i>H. ancistroides</i>	92%	<i>H. ancistroides</i>	85%
<i>H. ancistroides</i>	79%	<i>A. fasciatus</i>	81%	<i>A. fasciatus</i>	72%
<i>C. iheringi</i>	46%	<i>R. quelen</i>	80%	<i>R. quelen</i>	61%

Tabela 5.1: Principais espécies encontradas nas zonas de estudo

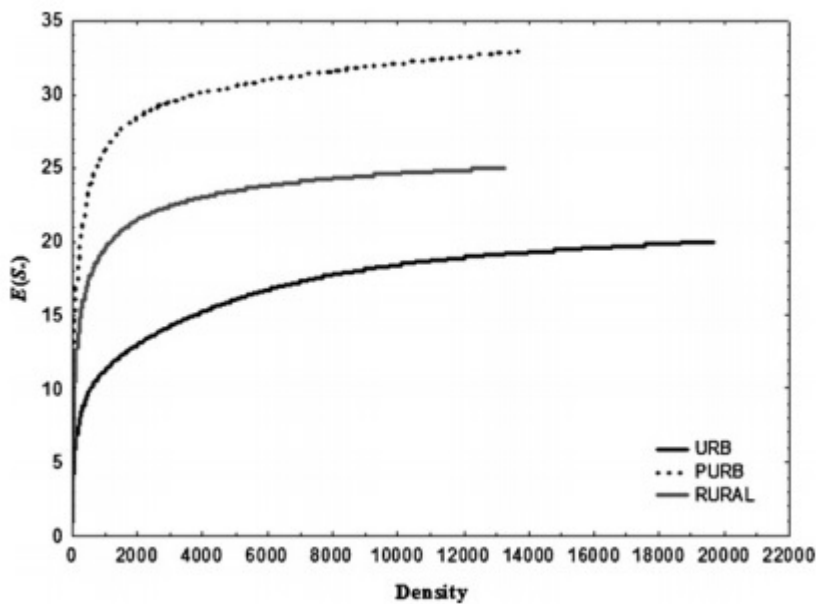


Figura 5.1: Número esperado de espécies para cada nível de urbanização

Os dados coletados por Cunico indicaram diferenças significativas nas quantidades e abundância de espécies de peixes em cada tipo de habitat, além das diferentes condições físico-químicas da água. Por se tratar de um estudo realizado em uma pequena região dentro de uma única bacia hidrográfica, a quantidade de variações encontradas não era esperada.



## 5.2. INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE NAS ATIVIDADES ALIMENTAR E REPRODUTIVA DOS PEIXES 33

Esse estudo permite concluir que as condições da água são de fato relevantes para a caracterização de um ecossistema fluvial. Os ambientes urbanos apresentaram maior concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio, tornando a água anaeróbica para determinadas espécies. Por essa razão, a diversidade encontrada nesses locais é menor, conforme [Figura 5.1](#). Por outro lado, a abundância das espécies mais resistentes é maior, pois passam a dominar o sistema menos competitivo.

### 5.2 Influência da sazonalidade nas atividades alimentar e reprodutiva dos peixes

Regiões próximas a rios alteram a área alagada a medida que seu nível sobe ou desce. Esse processo ocorre naturalmente de acordo com as épocas de cheia ou seca ao longo do ano. Esse ciclo sazonal é responsável pelo fluxo de matéria orgânica, sedimentos e nutrientes, e pela sincronização do ciclo reprodutivo das espécies. Isso significa que a vazão, principalmente em regiões planas, desempenha papel fundamental na estruturação e diversificação das comunidades bióticas e que sua regulação pode provocar diversos problemas no ecossistema a longo prazo.

[Moreira-Hara et al., 2009](#) realizou um estudo tentando identificar se a abundância de alimentos nas épocas de cheia pode levar diretamente a maiores níveis de reprodução. Para isso, ela acompanhou os níveis de gordura, tamanho médio e atividade reprodutiva de espécies de peixes na Amazônia ao longo de quatro anos. Foram analisadas espécies detritívoras, isto é, que se alimentam de detritos orgânicos presentes na água, e não-detritívoras. Como os detritos estão presentes em quantidade aproximadamente constante ao longo de todo o ano, um possível resultado seria que o período de reprodução dos animais que se alimentam desses detritos não estivesse relacionado com a sazonalidade. Por outro lado, esperava-se que as demais espécies apresentassem índices mais elevados de reprodução logo após a enchente, quando estivessem mais bem alimentadas. Após a realização do estudo, os resultados mostraram que as espécies não detritívora apresentam ciclos reprodutivos sazonais, porém em apenas algumas isso ocorria após a elevação nos índices de alimento. Os animais detritívoras realmente se alimentavam de forma aproximadamente constante ao longo de todo o ciclo hidrológico, e apesar disso apresentaram o ciclo reprodutivo sincronizado com os períodos de cheia.

Os resultados encontrados por Hara mostram que há relação entre o nível do rio com os níveis de alimentação e reprodução dos peixes, mesmo que estes fatores não se relacionem entre si. Isso evidencia que as hidrelétricas que regulam o fluxo de água provocam desequilíbrios no ecossistema. Não se sabe como as espécies se adaptarão aos ciclos artificiais criados pelas hidrelétricas nem se haverá dominância de alguma espécie. Portanto, não é possível mensurar ainda qual o impacto da

operação hidrelétrica em ecossistemas fluviais à longo prazo.

### 5.3 Interferência das hidrelétricas em ecossistemas aquáticos

A regulação dos cursos d'água pelas hidrelétricas se torna fundamental na estruturação dos habitats e na diversidade de espécies.

Cunico mostrou os fatores que influenciam o ambiente fluvial em zonas urbanas e seu entorno, onde a interferência humana direta é maior. Entretanto, em regiões desabitadas os principais fatores são os apresentados na [Tabela 5.2](#):

<b>Corrente</b>	É importante para distribuição de nutrientes e remoção de dejetos. Afeta a distribuição de espécies e organismos que habitam zonas lentas ou rápidas.
<b>Substrato</b>	Em áreas planas e de foz substratos arenosos são comuns. Já em nascentes e montanhas pedras e pedregulhos são mais encontrados. O substrato adequado influencia na distribuição dos peixes, já que estes o utilizam para proteção dos ovos contra a correnteza e predadores.
<b>Temperatura</b>	Afeta a disponibilidade de alimentos e o metabolismo dos animais heterotérmicos, conseqüentemente o consumo de comida e exposição aos predadores. A temperatura também deve ser viável para a sobrevivência dos organismos.
<b>Oxigenação</b>	Fator altamente depende da corrente. A sua concentração na água é necessária para a sobrevivência dos organismos. Em altas temperaturas e baixas correntes alguns peixes não conseguem suprir sua necessidade.

Tabela 5.2: Principais fatores que influenciam ecossistemas fluviais  
Adaptado de de Paulo, 2007

Sendo assim, a operação das usinas hidrelétricas age principalmente na corrente dos cursos de água e por conseqüência nos níveis dos outros três fatores. O regime de vazões ao longo de todo o ano deve ser capaz de fornecer alimento suficiente, concentração de oxigênio adequada e diluição de excretas aos peixes não migratórios. Já os migratórios são muito vulneráveis as variações de vazão.

## Capítulo 6

# Conclusão

Este trabalho analisa os aspectos humanitários relacionados à geração hidrelétrica diária. Foram abordados principalmente a disputa pela água como um recurso utilizado em múltiplos segmentos e os impactos ambientais gerados pela operação das usinas.

Em relação à divisão da água entre diversos usuários, foram apresentados os principais consumidores e as principais disputas envolvidas. Empreendimentos que atendam múltiplas demandas são considerados mais vantajosos economicamente tanto na construção quanto na operação. Nesses casos, entretanto, a gerência de como a água será compartilhada quando os interesses são conflitantes passa a ser o fator mais complexo a ser trabalhado.

As consequências do uso múltiplo na navegação e na irrigação e como isso reflete no custo final de transporte das mercadorias e dos alimentos produzidos foi outro tema abordado. No Brasil, foi mostrado que a irrigação ainda utiliza técnicas defasadas em relação às mais eficientes existentes. Isso gera desperdícios de água e prejudica a divisão do recurso, além de ser um dos fatores responsáveis pelo alto índice de inflação alimentícia no Brasil.

Considerando os fatores ambientais, foram apresentados estudos sobre como as condições físico-químicas do rio influenciam nas comunidades de peixes, prejudicando as espécies mais sensíveis e resultando no domínio das mais tolerantes, e causando assim o desequilíbrio do ecossistema.

Naturalmente, todos os rios passam por um ciclo hidrológico que aumenta o nível da água em determinadas épocas e abaixa em outras. Os peixes regulam seus ciclos reprodutivos e alimentícios de acordo com isso, de forma que o controle da vazão altera os ciclos naturais e assim pode prejudicar a reprodução e alimentação da ictiofauna.

Os aspectos decritos evidenciam os conflitos existentes na múltipla utilização de um recurso como a água. Por um lado, o controle da vazão em cada trecho do rio apresenta diversas vantagens sociais, econômicas e até ambientais, como a perenização dos cursos e controle de enchentes. Porém, a ictiofauna pode ser prejudicada nessa operação, já que pode não ser capaz de se alimentar e reproduzir adequadamente.

Todos os assuntos tratados neste trabalho serão considerados na segunda parte do projeto a ser desenvolvida. Eles serão transformados em restrições operativas do modelo de otimização que será proposto.

## Referências Bibliográficas

- Abbasi, T. and Abbasi, S. (2011). Small hydro and the environmental implications of its extensive utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15:2134--2143.
- Alexandre, C. V., Esteves, K. E., and de Moura e Mello, M. A. M. (2010). Analysis of fish communities along a rural-urban gradient in a neotropical stream (piracicaba river basin, são paulo, brazil). *Hydrobiologia*, 641:97--114.
- Cunico, A. M., Ferreira, E. A., Agostinho, A. A., Beaumord, A. C., and Fernandes, R. (2012). The effects of local and regional environmental factors on the structure of fish assemblages in the pirapitô basin, southern brazil. *Landscape and Urban Planning*, 105:336--344.
- de Lima Vilas Boas, C. (2005). O uso múltiplo de reservatórios. *Integrando a Gestão de Águas às Políticas Sociais e de Desenvolvimento Econômico*, 1.
- de Paulo, R. G. F. (2007). Ferramentas para determinação de vazões ecológicas em trechos de vazão reduzida: destaque para aplicação do método do perímetro molhado no caso de capim branco 1. Master's thesis, UFMG.
- do Amaral, L. G., Righes, A. A., da S. e Souza Filho, P., and Costa, R. D. (2005). Automatic regulator for channel flow control on flooded rice. *Agricultural Water Management*, 75:184--193.
- EXAME (2014a). Agricultura e transporte de cargas sofrem com falta de chuva. <http://exame.abril.com.br/brasil/noticias/agricultura-e-transporte-de-cargas-sofrem-com-falta-de-chuva>.
- EXAME (2014b). Seca nascente do rio são francisco, em minas gerais. <http://exame.abril.com.br/brasil/noticias/seca-nascente-do-rio-sao-francisco-em-minas-gerais>.
- Folha de São Paulo (2014). São paulo, vidas secas. <http://www1.folha.uol.com.br/colunas/viniustorres/2014/10/1532029-sao-paulo-vidas-secas.shtml>.
- G1 (2014). Águas de lindóia reduz fornecimento de água e admite chance de racionar. <http://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/noticia/2014/10/aguas-de-lindoi-a-reduz-fornecimento-de-agua-e-admite-chance-de-racionar.html>.
- Grigg, N. S. (2008). *Total Water Management: Practices for a Sustainable Future*.

- Hermida, G. and Castronuovo, E. D. (2013). On the short-term optimisation of a hydro basin with social constraints. *Computational Water, Energy, and Environmental Engineering*, 2:9--20.
- Martini, L. F. D., Mezzomo, R. F., de Avila, L. A., Masseyb, J. H., Marchesana, E., Zanella, R., Peixoto, S. C., Refatti, J. P., Cassol, G. V., and Marques, M. (2013). Imazethapyr and imazapic runoff under continuous and intermittent irrigation of paddy rice. *Agricultural Water Management*, 125:26--34.
- Martins, D. E. C., Seiffert, M. E. B., and Dzedzic, M. (2013). The importance of clean development mechanism for small hydro power plants. *Renewable Energy*, 60:643--647.
- Moreira-Hara, S. S., Zuanon, J., and Amadio, S. (2009). Relação entre o ciclo hidrológico e as atividades alimentar e reprodutiva de quatro espécies de peixes no catalão, uma área de várzea na amazônia central.
- ONS (2013). *Inventário das Restrições Operativas Hidráulicas dos Aproveitamentos Hidrelétricos*. Operador Nacional do Sistema Elétrico.
- Padovezi, C. D. (2003). *Conceito de Embarcações Adaptadas à Via Aplicado à Navegação Fluvial no Brasil*. PhD thesis, Universidade de São Paulo.
- Pérez-Díaz, J. I. and Wilhelmi, J. R. (2010). Assessment of the economic impact of environmental constraints on short-term hydropower plant operation. *Energy Policy*, 38:7960--7970.
- R7 (2014). Ana vê uso irregular do volume morto pela sabesp. <http://noticias.r7.com/sao-paulo/ana-ve-uso-irregular-do-volume-morto-pela-sabesp-17102014>.
- Sternberg, R. (2008). Hydropower: Dimensions of social and environmental coexistence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12:1588--1621.