

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**INTEGRAÇÃO DE ANÁLISE ECONÔMICA E  
FINANCEIRA A SISTEMAS DE APOIO A DECISÃO DE  
ENQUADRAMENTO, OUTORGA E COBRANÇA DE  
RECURSOS HÍDRICOS: APLICAÇÃO À BACIA DA  
BARRAGEM DO RIO DESCOBERTO NO DISTRITO  
FEDERAL.**

**EDSON NERY BRIGAGÃO**

**ORIENTADOR: OSCAR DE MORAES CORDEIRO NETTO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E  
RECURSOS HÍDRICOS**

**PUBLICAÇÃO: PTARH.DM - 101/06  
BRASÍLIA/DF: NOVEMBRO - 2006**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**INTEGRAÇÃO DE ANÁLISE ECONÔMICA E FINANCEIRA A  
SISTEMAS DE APOIO A DECISÃO DE ENQUADRAMENTO,  
OUTORGA E COBRANÇA DE RECURSOS HÍDRICOS:  
APLICAÇÃO À BACIA DA BARRAGEM DO RIO DESCOBERTO NO  
DISTRITO FEDERAL.**

**EDSON NERY BRIGAGÃO**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE  
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE  
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU  
DE MESTRE EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS  
HÍDRICOS.**

**APROVADA POR:**

---

**Prof. Oscar de Moraes Cordeiro Netto, DSc (ENC-UnB)  
(Orientador)**

---

**Prof. Nabil Joseph Eid, Doutor (ENC-UnB)  
(Examinador Interno)**

---

**Prof. José Nilson Bezerra Campos, PhD (UFC)  
(Examinador Externo)**

**BRASÍLIA/DF, 16 DE NOVEMBRO DE 2006**

## FICHA CATALOGRÁFICA

BRIGAGÃO, EDSON NERY

Integração de Análise Econômica e Financeira a Sistemas de Apoio a Decisão de Enquadramento, Outorga e Cobrança de Recursos Hídricos: Aplicação à Bacia da Barragem do Descoberto no Distrito Federal [Distrito Federal] 2006.

xiv, 119p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2006). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Apoio a Decisão

2. Recursos Hídricos

3. Alocação de água

4. Avaliação Econômica

5. Instrumentos de Gestão

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BRIGAGÃO, E. N. (2006). Integração de Análise Econômica e Financeira a Sistemas de Apoio a Decisão de Enquadramento, Outorga e Cobrança de Recursos Hídricos: Aplicação à Bacia da Barragem do Descoberto no Distrito Federal. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-101/06, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 133p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Edson Nery Brigagão.

TÍTULO: Integração de Análise Econômica e Financeira a Sistemas de Apoio a Decisão de Enquadramento, Outorga e Cobrança de Recursos Hídricos: Aplicação à Bacia da Barragem do Descoberto no Distrito Federal.

GRAU: Mestre

ANO: 2006

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Edson Nery Brigagão  
SQSW 304, Bloco I, Ap. 213, Sudoeste.  
70.673-409 Brasília – DF – Brasil.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Oscar de Moraes Cordeiro Netto, pela amizade, pela disposição a ajudar sempre, pelo exemplo de profissional e educador, e pelo privilégio de ser seu orientado mais uma vez.

Aos Professores Nabil Joseph Eid, Sergio Koide, Cristina Célia Silveira Brandão, Nestor Aldo Campana, Marco Antônio Almeida de Souza e Ricardo Silveira Bernardes, pelo exemplo de dedicação e amor ao que fazem.

Aos colegas da Caesb, em especial, João Reis, Cláudia e Evaldo, pela sobrecarga que assumiram durante o mestrado.

À Caesb, por me proporcionar mais uma oportunidade de aperfeiçoamento, e fomentar essa pesquisa com dados imprescindíveis.

Aos meus superiores da Caesb, Hélio e Virgílio, pela amizade e por aturarem minha constante ausência.

A todos os amigos a quem dei desculpas infundáveis e incomodei com minhas angústias.

Aos colegas de profissão e amigos de toda vida, Alexandre, Gustavo e Flávia.

Ao Férnan Vergara, por suas valiosas sugestões e contribuições.

À Cristina, Lilian, Jennifer, Lygia e Renata pela ajuda no mestrado e pelos momentos de descontração.

À Erliene, por ter sido meu anjo da guarda.

A todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho.

À minha família e à minha Mariana, por tudo.

## **RESUMO**

### **INTEGRAÇÃO DE ANÁLISE ECONÔMICA E FINANCEIRA A SISTEMAS DE APOIO A DECISÃO DE ENQUADRAMENTO, OUTORGA E COBRANÇA DE RECURSOS HÍDRICOS: APLICAÇÃO À BACIA DA BARRAGEM DO RIO DESCOBERTO NO DISTRITO FEDERAL.**

**Autor: Edson Nery Brigagão**

**Orientador: Oscar de Moraes Cordeiro Netto**

**Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos**

**Brasília, novembro de 2006.**

A implementação dos instrumentos de gestão previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos representa um grande avanço para a modernização do setor. Ainda persistem muitas dúvidas, receios e inquietações. As perguntas referem-se ao alcance dos objetivos estabelecidos na Lei nº 9.433, de 08/01/97, acerca da destinação dos recursos obtidos com a cobrança, dos impactos gerados nas diversas atividades econômicas, e, das conseqüências desses instrumentos nos processos de inclusão ou exclusão social.

Este estudo procura contribuir na discussão dessas questões, dos usos dos instrumentos previstos na lei combinados aos conceitos e limitações da abordagem econômica no trato da gestão e planejamento dos recursos hídricos. A proposta deste trabalho foi o desenvolvimento, a aplicação e a avaliação de um aplicativo a ser incorporado ao Acquanet, capaz de auxiliar, sob o ponto de vista econômico ou financeiro, um processo de tomada de decisão relacionado à cobrança, à outorga ou ao enquadramento.

O Acquanet é um sistema de apoio à decisão desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões (LABSID) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, que utiliza como modelo de alocação da água o programa MODSIM. A partir das séries de vazões alocadas pelo Acquanet o sistema pode calcular a receita potencial de um sistema hídrico passível de cobrança, avaliar os benefícios de cenários de avaliação de outorga ou da implantação de projetos de melhoria ambiental e qualidade da água.

Foi realizada uma aplicação na bacia da barragem do Descoberto, no Distrito Federal. O objetivo da aplicação foi determinar a receita potencial da bacia a partir de preços ótimos para os diversos usos, avaliar os benefícios econômicos da outorga para o abastecimento de Águas Lindas (GO), e uma decisão associada ao enquadramento do corpo d'água.

## **ABSTRACT**

### **INTEGRATION OF ECONOMIC AND FINANCIAL ANALYSIS TO DECISION SUPPORT SYSTEMS OF CHARGING FEES, WATER-USE RIGHTS AND CLASSIFICATION OF BODIES OF WATER ON THE WATER RESOURCES FIELD: APPLICATION TO THE DESCOBERTO LAKE BASIN IN FEDERAL DISTRICT, BRAZIL.**

**Author: Edson Nery Brigagão**

**Supervisor: Oscar de Moraes Cordeiro Netto**

**Environmental Technology and Water Resources Postgraduation Program**

**Brasilia, November of 2006.**

The implementation of the instruments foreseen in the National Water Resources Policy Act represents a great advance for the modernization of the sector. However many doubts, distrusts and fidgets persist. The questions mention the reach to the objectives established in the Federal Law nr. 9.433 (January 8<sup>th</sup>, 1997), concerning the destination of the resources obtained with charging, the impacts generated in the economic activities, and the consequences of these instruments in the processes of social inclusion or exclusion.

This study intends to contribute in the discussion of these questions, the use of the instruments foreseen in the law combined with the concepts and limitations of the economic approach, concerning the management and planning of the water resources. The proposal of this work was the development, the application and the evaluation of a system to be incorporated in the Acquanet, capable to assist, under the economic point of view, some process of decision making related to charging, grants or classification.

The Acquanet is a decision support system developed by the Decision Support Systems' Laboratory (LABSID) of the University of São Paulo, which adopts an allocation model named MODSIM. From the series of outflows allocated the system calculates the potential financial resource obtained from charging a river basin, evaluate the benefits of water-use's scenarios or the implementation of projects of environmental and water quality improvement.

The system was employed in the analysis of the Descoberto lake basin, in the Federal District, Brazil. The objective of the application was to determine the potential collection of the basin based on the determination of optimal prices for the uses, or to evaluate the economic benefits of the water supply for Águas Lindas (GO), and a decision associated with the classification of body of water.

## SUMÁRIO

<b>1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 - OBJETIVOS .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 - OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>5</b>
<b>3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>6</b>
<b>3.1 - ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE – INSTRUMENTOS         ECONÔMICOS .....</b>	<b>7</b>
<b>3.2 - VALORAÇÃO ECONÔMICA .....</b>	<b>8</b>
<b>3.3 - AVALIAÇÃO ECONÔMICA DOS USOS DA ÁGUA .....</b>	<b>13</b>
<b>3.4 - A ECONOMIA DO BEM-ESTAR SOCIAL E A ALOCAÇÃO DE         ÁGUA .....</b>	<b>18</b>
<b>3.4.1 - Análise Custo-Benefício (ACB) .....</b>	<b>19</b>
<b>3.4.2 - As externalidades.....</b>	<b>21</b>
<b>3.5 - ASPECTOS DOS INSTRUMENTOS DE GESTÃO .....</b>	<b>23</b>
<b>3.5.1 - Gestão de recursos escassos – cobrança e outorga .....</b>	<b>23</b>
<b>3.5.2 - A cobrança pela outorga de uso da água bruta .....</b>	<b>26</b>
<b>3.5.3 - Metodologias utilizadas para cobrança.....</b>	<b>29</b>
<b>3.5.4 - Enquadramento dos corpos d'água em classes de usos                 preponderantes .....</b>	<b>33</b>
<b>3.6 - SISTEMAS DE APOIO A DECISÕES .....</b>	<b>35</b>
<b>3.6.1 - Modelos de Rede de Fluxo .....</b>	<b>38</b>
<b>3.6.2 - MODSIM e o Módulo de Análise Econômica .....</b>	<b>42</b>
<b>3.6.3 - O Acquanet.....</b>	<b>45</b>
<b>3.6.4 - Sistemas de Apoio a Decisão de Outorga.....</b>	<b>47</b>
<b>4 - METODOLOGIA.....</b>	<b>50</b>
<b>4.1 - LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO .....</b>	<b>50</b>
<b>4.2 - DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO.....</b>	<b>51</b>
<b>4.2.1 - Cobrança pelo uso de recursos hídricos .....</b>	<b>52</b>
<b>4.2.2 - Outorga de direitos de uso de recursos hídricos.....</b>	<b>53</b>

4.2.3 - Enquadramento dos corpos de água em classes .....	54
4.3 - TESTE E AVALIAÇÃO .....	55
4.4 - SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS.....	56
5 - O SISTEMA DE APOIO A DECISÃO .....	57
5.1 - CONCEPÇÃO E FUNDAMENTOS .....	57
5.2 - COBRANÇA PELO USO DE RECURSOS HÍDRICOS .....	58
5.3 - OUTORGA .....	74
5.4 - ENQUADRAMENTO .....	77
6 - TESTE DE APLICAÇÃO: A BACIA DO LAGO DESCOBERTO .....	82
6.1 - A BACIA DO LAGO DESCOBERTO.....	82
6.2 - INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS.....	84
6.3 - INFORMAÇÕES ECONÔMICAS.....	88
6.4 - SIMULAÇÕES .....	90
6.4.1 - Cálculo da receita potencial da bacia .....	90
6.4.2 - Outorga.....	97
6.4.3 - Enquadramento .....	105
7 - CONCLUSÕES.....	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	115



## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Métodos de valoração, exemplos de aplicação e pontos fortes e fracos (modificado - Braden, 2000) .....	10
Tabela 3.2 - Parâmetros de qualidade e sua influência nos aspectos econômicos (Loomis et al., 2002) .....	13
Tabela 6.1 - Estações Fluviométricas .....	85
Tabela 6.2 - Estações Pluviométricas .....	86
Tabela 6.3 - Cota x Área x Volume do Lago Descoberto (Magna, 2003b).....	87
Tabela 6.4 - Prioridades utilizadas na simulação para o cálculo da receita potencial .....	91
Tabela 6.5 - Plano de investimentos para a bacia do lago Descoberto.....	92
Tabela 6.6 - Resultados obtidos na aplicação do sistema de cobrança.....	93
Tabela 6.7 - Comparação dos resultados do Acquanet.....	94
Tabela 6.8 - Elasticidades-preço das demandas e preços da água.....	94
Tabela 6.9 - Receitas potenciais por uso .....	95
Tabela 6.10 - Comparação entre benefícios médios mensais (em R\$).....	99
Tabela 6.11 - Custos associados ao projeto de abastecimento de água do município de Águas Lindas (GO) (em R\$) .....	101
Tabela 6.12 - Valores de benefícios médios anuais para construção do calendário.....	107
Tabela 6.13 - Dados do plano de investimentos e índices econômicos.....	109

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Curva de Demanda (Hanley e Spash, 1993).....	17
Figura 3.2 - Distorção entre os custos social e privado (Carrera-Fernandez e Garrido, 2002).....	22
Figura 3.3 - Resumo das diferentes metodologias de cobrança pelo uso da água fundamentadas na teoria econômica.....	32
Figura 3.4 - Curvas de custos e benefícios e custos e benefícios marginais .....	34
Figura 3.5 - Estrutura típica de um Sistema de Suporte a Decisões (LABSID, 2004).....	38
Figura 3.6 - Topologia do sistema hídrico usada nas simulações do PBHSF .....	47
Figura 4.1 - Representação esquemática da metodologia.....	56
Figura 5.1 - Funções de demanda marshalliana e tudo ou nada (Carrera-Fernandez e Garrido, 2002) .....	61
Figura 5.2 - Entrada de dados do Plano de Investimentos da Bacia.....	64
Figura 5.3 - Custo marginal de longo prazo .....	65
Figura 5.4 - Custo marginal de racionamento (Carrera-Fernandez e Garrido, 2002) .....	66
Figura 5.5 - Entrada de dados para cálculo dos preços ótimos.....	67
Figura 5.6 - Entrada de dados para cálculo das elasticidades-preço da demanda .....	68
Figura 5.7 - Preços de reserva, funções de demanda e elasticidade-preço das demandas .....	69
Figura 5.8 - Preços ótimos para cada modalidade de uso.....	70
Figura 5.9 - Receita potencial da bacia .....	71
Figura 5.10 - Simulação da receita potencial pela negociação de valores a serem cobrados.....	72
Figura 5.11 - Esquema do sistema de cobrança utilizando a metodologia de preços ótimos para cada uso .....	73
Figura 5.12 - Dados do projeto e resultados.....	75
Figura 5.13 - Avaliação dos benefícios econômicos de nova outorga .....	76
Figura 5.14 - Entrada de dados do projeto e resultados.....	79
Figura 5.15 - Calendário de benefícios.....	80
Figura 5.16 - Avaliação do cenário hipotético de enquadramento .....	81
Figura 6.1 - Bacias Hidrográficas do Distrito Federal .....	83
Figura 6.2 - Curvas cota-área e cota-volume do lago do Descoberto.....	88

Figura 6.3 - Topologia da rede de fluxo para simulação da cobrança.....	91
Figura 6.4 - Curva de permanência da receita potencial anual.....	96
Figura 6.5 - Rede de fluxo da situação de referência .....	97
Figura 6.6 - Curvas de benefício marginal das demandas .....	98
Figura 6.7 - Rede de fluxo para avaliação da nova outorga .....	98
Figura 6.8 - Benefícios em 12 meses consecutivos e curva de permanência .....	99
Figura 6.9 - Incremento nos benefícios líquidos para cada cenário .....	101
Figura 6.10 - Probabilidade de ocorrência de prejuízos no mês.....	102
Figura 6.11 - Comparação entre os benefícios médios mensais dos três cenários .....	103
Figura 6.12 - Benefícios em 12 meses consecutivos .....	103
Figura 6.13 - Curva de permanência de benefícios anuais .....	104
Figura 6.14 - Curva de permanência dos benefícios líquidos.....	104
Figura 6.15 - Curvas de benefícios marginais para as vazões ecológicas e remanescentes para diferentes classes de enquadramento.....	106
Figura 6.16 - Calendário de benefícios do cenário hipotético.....	107
Figura 6.17 - Benefícios médios anuais obtidos por interpolação.....	108
Figura 6.18 - Expectativa de fluxo de caixa para o cenário proposto .....	108
Figura 6.19 - Variação do VPL em função da taxa de atratividade.....	109

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

ANA	- Agência Nacional de Águas
Caesb	- Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
$CMg^P$	- Custo marginal privado de captação de água para uma finalidade específica
$CMg^S$	- Custo marginal social de captação da água
CT-Hidro	- Fundo Setorial de Recursos Hídricos
LABSID	- Laboratório de Sistema de Suporte a Decisões da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
MCT	- Ministério da Ciência e Tecnologia
MODSIM	- Modelo de Simulação em Rede de Fluxo
MRF	- Modelos de Rede de Fluxo
PBHSF	- Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia do Rio São Francisco
SAD	- Sistema de Apoio a Decisão
$Q_{7,10}$	- Média das vazões mínimas de 7 dias consecutivos com 10 anos de tempo de retorno
$Q_{95\%}$	- Vazão igualada ou superada 95% do tempo
$p_j(x_j)$	- Função de demanda por água no uso
$x_j^P$	- Quantidade de água consumida
$q_{ij}$	- Vazão média entre o nó $i$ e o nó $j$ durante o intervalo de tempo
$c_{ij}(q_{ij})$	- Custo unitário associado à vazão $q_{ij}$ (monetário ou um fator de ponderação)
$I_j$	- Conjunto de todos os nós com arcos que terminam no nó $j$
$O_j$	- Conjunto de todos os nós com arcos que se originam no nó $j$
$L_{ij}(q_{ij})$	- Vazão mínima no arco $(i,j)$
$U_{ij}(q_{ij})$	- Vazão máxima no arco $(i,j)$

$Q_{ijk}$	- Vazão derivada para um determinado uso “i” no nó “j” no período “k” (em $m^3/s$ )
$C_{ijk}$	- Coeficiente monetário relativo ao uso “i” do nó “j” no período “k” (em $\$/ (m^3/s)$ )
$E_{ijk}$	- Expressão monetária de uma derivação relativa ao uso “i” do nó “j” no período “k” (em \$)
$p^*_j$	- Preço ótimo da água na modalidade de uso j
$x_j$	- Quantidade de água demandada do sistema hídrico após os investimentos programados terem sido feitos
$CMg_j$	- Custo marginal de gerenciamento no uso j,
$ \varepsilon_j $	- Elasticidade-preço da demanda por água no uso j, em valor absoluto
$C$	- Custo total da entidade ou órgão gestor no gerenciamento da bacia
$\alpha$	- Constante de proporcionalidade que reflete a diferença relativa entre benefícios e custos marginais
$p_j$	- Preço da água no uso j
$p^r_j$	- Preço de reserva no uso j
$c_p$	- Custo médio de cada metro cúbico de água captada de fontes alternativas
$c_m$	- Custo médio de água captada do manancial em questão para abastecimento
$\gamma_i$	- Perda de água no abastecimento em cada uma das alternativas
$c_{cp}$	- Custo médio da água para abastecimento industrial por meio de carro pipa
$\gamma_m$	- Perda no abastecimento industrial com captação do manancial em questão
$S_i$	- Área total irrigada com água do manancial por unidade de tempo
$t_i$	- Preço da terra irrigada por unidade de área
$t_s$	- Preço da terra em sequeiro por unidade de área
$x_e$	- Volume de água por unidade de tempo requerido para geração de energia elétrica
$q_e$	- Capacidade instalada de energia elétrica da central hidrelétrica
$c_h$	- Custo de geração de 1mW de energia elétrica pela central

$c_t$	- Custo de geração de 1mW de energia por meio de usina térmica ou motor a diesel
$\Delta c_t$	- Valor de desembolso para construir um sistema de tratamento de esgoto sanitário
$X_{DBO}$	- Carga orgânica potencial de efluentes industriais
$\Delta c_t$	- Acréscimo no custo de redução de DBO
$I_t$	- Investimento (ou amortização do investimento) no ano t
$R_t$	- Custos de operação e manutenção no ano t
$\rho$	- Custo de oportunidade do capital (ou taxa social de desconto)
$T$	- Horizonte de planejamento
MODHAC	- Modelo hidrológico auto-calibrável
TIR	- Taxa interna de retorno
VPL	- Valor presente líquido

# 1 - INTRODUÇÃO

A água é um recurso vital à sustentabilidade da vida e é a substância mais abundante na Terra. Apesar dessa abundância, é reconhecidamente hoje um recurso que pode ser considerado escasso tendo em vista seus usos e vocações. A agricultura e muitas indústrias requerem grandes quantidades de água. Junto a essas demandas, os usos não-consuntivos também são muito importantes. A água é imprescindível para a produção de energia elétrica, de origem hidráulica, nuclear ou térmica. É também utilizada como um importante meio de transporte, recreação, limpeza e purificação, e outros tantos usos econômicos, ambientais e sociais. E mais importante: não há um recurso substituto para a água.

Em quase todas as regiões do mundo, a oferta de água está-se tornando mais escassa em função do aumento das demandas, associadas à industrialização, ao incremento da urbanização e ao crescimento das populações. As mudanças climáticas podem piorar uma situação já crítica. A poluição gerada pela indústria, agricultura e dejetos urbanos, e a degradação dos aquíferos subterrâneos também limitam a disponibilidade hídrica.

Quando a densidade populacional era baixa, havia abundância de água. Entretanto, com o rápido crescimento econômico e populacional verificado nas duas últimas décadas, muitas regiões do mundo estão enfrentando sérios problemas e o estresse hídrico previsto parece estar se aproximando rapidamente.

Além de escassa, a água é um recurso vulnerável. A vulnerabilidade da água decorre de uma intensiva presença antrópica que resulta, de um lado, na intensiva exploração dos recursos existentes, o que compromete a quantidade de água disponível, e de outro, em diversos tipos de poluição e desequilíbrios ecológicos, os quais ameaçam a qualidade da água (Pires, 2004).

A água é um recurso natural cuja distribuição é aleatória e irregular no tempo e no espaço. Precipitações regulares e freqüentes em determinadas regiões contrastam com secas prolongadas em outras. Assim, os conflitos pelo acesso à água são conseqüências da escassez. Apesar de a vazão média de longo período ser indicativa do potencial hídrico de uma bacia, quanto mais significativas forem as variações sazonais e anuais no regime hidrológico, menor será a disponibilidade hídrica para aproveitamento econômico. Por

isso, a água, apesar de ser recurso renovável, é considerada recurso finito e de ocorrência aleatória (Barth, 1987).

Conhecer as características de cada uso da água e os fatores que determinam suas demandas é elemento importante para que se possa racionalizar o seu uso. É por meio da compatibilização do uso da água com a sua disponibilidade na natureza que se podem evitar, ou mesmo eliminar, os conflitos entre os seus múltiplos usuários.

Conflito é uma discordância natural resultante da diferença nas atitudes, crenças, valores ou necessidades de indivíduos ou grupos. Os conflitos existentes na gestão dos recursos hídricos geralmente envolvem interações entre vários fatores, usuários e tomadores de decisão. A gestão contemporânea dos recursos hídricos é um processo que combina a repartição da água e a resolução de conflitos entre *stakeholders*<sup>1</sup> (Nandalal e Simonovic, 2002).

A gestão dos recursos hídricos envolve inúmeras incertezas associadas aos processos físicos, disponibilidade de dados e o nível de conhecimento dos sistemas. A disponibilidade da água em uma localidade particular e em um determinado tempo não pode ser previsto com alto grau de certeza. Essas incertezas, bem como a escassez, são as razões mais comuns para o surgimento dos cenários de conflito entre os *stakeholders*, na repartição da água e na defesa de interesses.

O crescimento da demanda mundial por água de boa qualidade com diminuição da oferta desse recurso é, consensualmente, previsto nos meios técnicos e científicos. A eficiência do uso da água, tanto em termos qualitativos quanto quantitativos, é tema de grande preocupação entre instituições competentes de todo mundo.

Cosgrove e Rijsberman (2000) argumentam que a crise existente e seu acirramento não são devidos à pequena disponibilidade de água para satisfazer as necessidades humanas, mas são devidos, principalmente, ao péssimo gerenciamento da água que vitima o ambiente e bilhões de pessoas. Os conflitos existentes são vistos como resultado do fraco

---

<sup>1</sup> Expressão originada no estudo das organizações contemporâneas que indicam indivíduos, organizações ou instituições que tenham algum interesse ou influência em uma decisão relacionada a um determinado assunto. Assim, pode-se dizer que *stakeholder* para a gestão dos recursos hídricos refere-se aos usuários, empresas, sociedade, agências de água, governos e outros.



gerenciamento dos recursos hídricos e das disparidades econômicas e sociais existentes entre áreas, países e regiões.

A solução para os conflitos pela água parece exigir uma gestão integrada e compartilhada de seu uso, controle e conservação. Não pode mais existir o conceito de gestão de recursos hídricos baseada exclusivamente na análise setorial da irrigação, geração hidrelétrica ou saneamento básico. Um bom conhecimento das necessidades dos diversos usuários e da capacidade de oferta e renovação de suas fontes naturais são fundamentais para a definição de marcos regulatórios principais e da capacidade de suporte de cada bacia hidrográfica, evitando, assim, o desperdício de água (Porto e Castro, 2003)

Os conflitos resultantes da repartição das águas podem causar distúrbios de ordem social e econômica, tanto no interior de um país como entre países. Porém, os conflitos pelo uso da água não devem ser vistos sempre como negativos, uma vez que podem ser instrutivos e indutores de boas práticas quando efetivamente gerenciados. O correto gerenciamento pode levar ao crescimento e à inovação, a novas formas de atitude e a alternativas de gestão.

Quando se consideram conjuntamente os fatores apresentados, percebe-se que a análise de sistemas de recursos hídricos pode envolver incontáveis variáveis de decisão e restrições (Yeh, 1985), tornando-se um problema extremamente complexo. Com essas características, o uso de ferramentas de modelagem computacional passa a ser fundamental no auxílio à tomada de decisões e na tentativa de conciliar interesses conflitantes.

Roberto e Porto (1999) avaliaram que mesmo com o grande avanço computacional, tanto nos equipamentos quanto nos programas, o problema da alocação de água entre múltiplos usos não tinha uma solução generalizada e totalmente satisfatória.

Entende-se, dessa forma, que os sistemas de apoio a decisões podem auxiliar na compreensão do comportamento dos sistemas de recursos hídricos. Com isso, pode-se analisar um número maior de alternativas, conhecer melhor os problemas e suas possíveis soluções e avaliar de modo mais preciso as conseqüências das decisões.

Visando a contribuir com a formulação de ferramentas de apoio ao processo de tomada de decisões relativas a outorga, cobrança e enquadramento, propõe-se, no âmbito desta pesquisa, o desenvolvimento de interfaces computacionais que possam ser acopladas ao Acquanet (LABSID, 2004) e contemplem essas ferramentas de gestão. As proposições apresentadas ao longo do estudo visam a permitir a avaliação do impacto financeiro e econômico associados a uma decisão ou auxiliar a tomada de decisão referente aos instrumentos de gestão de recursos hídricos.

É interessante ressaltar que o presente estudo se insere no conjunto de atividades previsto em uma rede de pesquisa, formado por várias instituições brasileiras, com o intuito de estudar os instrumentos de gestão de recursos hídricos: outorga, cobrança e enquadramento.

Esta dissertação está organizada em sete capítulos. Após este capítulo introdutório, são apresentados os objetivos do estudo.

O terceiro capítulo é dedicado à revisão bibliográfica dos temas pertinentes ao desenvolvimento do estudo: economia do meio ambiente e instrumentos econômicos, a avaliação econômica dos usos da água, economia do bem-estar social, outorga e cobrança dos usos da água e os sistemas de apoio a decisões.

No quarto capítulo, apresenta-se a metodologia proposta para o desenvolvimento do estudo e alcance dos objetivos. No quinto capítulo, estão descritos os fundamentos e a concepção dos diagramas e o seu desenvolvimento. O sexto capítulo apresenta o teste de aplicação ao sistema do lago Descoberto. Finalmente, no sétimo capítulo, são apresentadas as conclusões e recomendações da pesquisa.

## **2 - OBJETIVOS**

### **2.1 - OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral deste estudo é aperfeiçoar um sistema de apoio à decisão (SAD), usualmente utilizado para análise de disponibilidade hídrica e alocação de água, que permita incorporar a análise econômica e a financeira no processo de tomada de decisão dos instrumentos de gestão, cobrança, outorga e enquadramento. Dessa forma, pretende-se desenvolver interfaces para o ModsimP32-E (Baltar, 2001), que é o módulo de avaliação econômica da alocação de água do Acquanet.

Parte-se da premissa segundo a qual o desenvolvimento dessas interfaces, que permitem incorporar a avaliação econômica e a análise financeira, auxiliará as tomadas de decisão no âmbito do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, tanto sob a perspectiva dos órgãos gestores quanto de outros integrantes do sistema, como os comitês de bacias.

### **2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Avaliar as potencialidades da utilização das metodologias de avaliações econômicas dos usos da água e de simulação de cobrança como instrumentos de gestão ou planejamento.
- ✓ Definir as bases conceituais da avaliação econômica para cobrança pelo uso da água para o desenvolvimento e aplicação de procedimentos de simulação de cobrança.
- ✓ Desenvolvimento de uma estrutura de procedimentos computacionais para avaliação econômica e simulação de cobrança acopláveis ao Acquanet, capazes de auxiliar tomadores de decisão e colegiados de bacia.
- ✓ Discutir e testar, em caso de aplicação prática, as conseqüências da consideração do critério de eficiência econômica na alocação da água tendo em vista os instrumentos de gestão previstos no Plano Nacional de Recursos Hídricos.

### **3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433/97 tem entre seus fundamentos que, (a) a água é um bem de domínio público, (b) a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, (c) em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais, (d) a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas, (e) a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, (f) a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Assim sendo, os diferentes setores usuários de recursos hídricos passaram a ter igualdade de direito de acesso à água. A única exceção, como estabelecida na própria lei, é em situações de escassez, que resguarda a prioridade para abastecimento humano e dessedentação de animais. Todavia, os outros usos, tais como, geração de energia elétrica, irrigação, navegação, abastecimento industrial e lazer, entre outros, não têm ordem de prioridade definida. O crescimento da demanda por água para os mais variados usos fez, no entanto, crescer e disseminar uma série de conflitos de interesses.

Também, destacam-se entre os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, (a) o enquadramento dos corpos de água em classes, a fim de assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas, e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes; (b) a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos para assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água, o uso múltiplo e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água; e, (c) a cobrança pelo uso de recursos hídricos, com as finalidades de reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor, incentivar a racionalização do uso da água, assim como promover a obtenção de recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos.

### **3.1 - ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE – INSTRUMENTOS ECONÔMICOS**

Os custos ambientais geralmente não são captados nas relações de mercado, devido à indefinição de direitos privados de propriedade: o custo da degradação não incide sobre os que degradam, mas recaem sobre a sociedade como um todo e sobre as gerações futuras. Em outras palavras, o uso do meio ambiente gera externalidades, custos ambientais não captados pelo sistema de preços, e, portanto, externos às funções de custo e de demanda. Conseqüentemente, o mercado não gera incentivos apropriados para o uso eficiente dos recursos naturais, os quais, tratados como recursos livres ou de custo muito baixo, tendem a ser superexplorados (Seroa da Motta e Mendes, 2001).

Dessa forma, reconhece-se a necessidade de internalizar os custos ambientais nas atividades de produção e consumo, de forma a induzir a mudança do padrão de uso dos recursos naturais. Essa, então, seria uma justificativa para a proposição de políticas governamentais na área ambiental.

Seroa da Motta e Mendes (2001) afirmam que a mensuração desses custos não é trivial, mas que a literatura econômica indica algumas possibilidades, todas sujeitas a críticas, na medida em que não revelam com precisão os valores dos custos ambientais. As deficiências devem-se ao desconhecimento da extensão e risco dos próprios impactos ambientais, que impede de identificar todos os custos resultantes, e à desinformação dos indivíduos, que reduz sua percepção desses impactos. Afirmam que, em ambos os casos, a literatura comprova que essas dificuldades podem ser minimizadas com um esforço de pesquisa.

Assim, uma vez identificados os custos ambientais dos recursos naturais em risco, a sociedade poderia determinar o nível ótimo de uso desses recursos. Ou seja, realizar uma análise de benefício-custo<sup>2</sup>. Dessa forma, alguns mecanismos de instrumentos econômicos devem ser criados para orientar as atividades produtivas a revelarem seus custos ambientais e determinarem suas atividades de produção, de forma mais ajustada ao uso racional e eficiente dos recursos naturais disponíveis.

---

<sup>2</sup> Usa-se, de forma indistinta neste texto, em respeito às fontes originais, “benefício-custo” ou “custo-benefício” para designar o mesmo conceito.

Por instrumentos econômicos via preços, entende-se todo mecanismo de mercado que orienta os agentes econômicos a valorizarem os bens e serviços ambientais de acordo com sua escassez e seu custo de oportunidade social. Para tal, atua-se na formação dos preços privados desses bens ou, no caso de ausência de mercados, criam-se mecanismos que acabem por estabelecer um valor social. Atuando diretamente nos preços, objetiva-se internalizar os custos ambientais nos custos privados que os agentes econômicos incorrem no mercado, em atividades de produção e consumo.

Seroa da Motta e Mendes (2001) ressaltam que as mais importantes experiências com instrumentos econômicos no Brasil são dirigidas para a preservação florestal e o controle da poluição hídrica. Contudo, advertem que, em ambos os casos, os instrumentos econômicos já implementados são usados como objetivos de geração de receitas, com limitada preocupação com seus efeitos ambientais e econômicos. As taxas ou cobrança, nesses casos, não são determinadas com base nos custos marginais de controle. Por isso, eles não asseguram a eficiência no uso de recursos naturais. Adicionalmente, em se tratando de poluição e preservação de recursos naturais, as taxas são normalmente cobradas como um complemento para regulação, sem a adequação aos instrumentos de comando-e-controle existentes.

### **3.2 - VALORAÇÃO ECONÔMICA**

Braden (2000) discutiu o papel da valoração econômica de bens ambientais e a relevância dos métodos usualmente utilizados. Ressalta que a valoração econômica tem sido um assunto muito importante para profissionais de recursos hídricos nos Estados Unidos desde o advento do *Flood Control Act* (norma americana para controle de cheias), em 1936, que exigiu a análise benefício-custo (ABC) em projetos de água. Segundo o autor, essa análise ganhou mais importância devido ao aumento dos casos de danos ambientais. Observa, também, que há muita controvérsia acerca da utilização da ciência econômica no processo de tomada de decisão na área de recursos hídricos.

Braden (2000) observa que conseqüências importantes desses projetos, tais como os impactos na recreação ou nas áreas naturais originais, tinham valores econômicos que os mercados não capturavam. Em conseqüência, a análise benefício-custo, baseada em valores de mercado, mostrava-se limitada por não contemplar todo conjunto de efeitos do

projeto. Para preencher essa lacuna, por mais de 50 anos, e, especialmente desde os anos 1970, os economistas ambientais desenvolveram métodos para avaliar os valores monetários para a qualidade ambiental e os recursos naturais. Assim, o autor define a valoração econômica como a prática de agregar um valor monetário à qualidade ambiental ou aos recursos naturais que não são transacionados em mercado, e, portanto, não possuem preço. Nesse mesmo período, o domínio dos temas de qualidade ambiental e integridade ecológica expandiu-se entre os profissionais da área, ocupados anteriormente apenas por considerações como fonte de água, tratamento, distribuição e controle da inundação. Dessa forma, pressupõe-se que os profissionais necessitam compreender quando a valoração é necessária, como deve ser feita, suas forças e fraquezas.

Braden (2000) entende que há duas abordagens gerais acerca da valoração. A primeira abordagem baseia-se nas preferências reveladas (o que indivíduos realmente fazem), enquanto a outra se baseia em preferências indicadas (o que indivíduos dizem que fariam em resposta a perguntas hipotéticas).

Como é baseada em despesas reais, a abordagem de preferências reveladas é geralmente entendida como reflexo fiel das preferências daqueles que usam diretamente o recurso. Em contrapartida, o fato de essas técnicas poderem ser aplicadas somente nas situações onde dados específicos estão disponíveis, fazem delas técnicas relativamente inflexíveis.

A abordagem de preferência indicada, também conhecida como avaliação contingente, é baseada em pesquisas em que os entrevistados são levados a expressar valores monetários em situações hipotéticas. Aparentemente, é altamente flexível e pode ser aplicada nas situações que não têm manifestação alguma no mercado. Entretanto, existe a possibilidade de o entrevistado esconder suas intenções verdadeiras, possivelmente exagerando ou suavizando sua disposição a pagar.

Na prática, segundo o mesmo autor, os estudos comparativos entre as duas abordagens sugerem que, frequentemente, há uma convergência nos valores.

A Tabela 3.1 apresenta os métodos de valoração mais usuais, exemplos de aplicação, e pontos fortes e fracos de cada um.

Tabela 3.1 - Métodos de valoração, exemplos de aplicação e pontos fortes e fracos (modificado - Braden, 2000)

Classe	Método	Exemplo de aplicação	Pontos fortes/fracos
Preferência revelada	Custo de viagem	Recreação	Dificuldade em lidar com viagens de múltiplas finalidades. Nenhuma maneira de considerar valores de não-uso.
	Preços Hedônicos	Qualidade do ar, ruídos, aterro sanitário, ou outro aspecto ambiental que afete o valor de uma propriedade.	A tendência de segmentação dos mercados imobiliários não guarda relação causal com as questões ambientais.
	Custo de produção	Despesas em ações para remediação de impactos.	Dados geralmente disponíveis.
	Custos evitados	Despesas no tratamento profilático do ar ou de água ou no cuidado de saúde.	Dificuldade em distinguir as causas das despesas. Medidas profiláticas raramente são inteiramente eficazes.
Preferência indicada	Valoração contingente	Estudos de ações futuras potenciais	Altamente flexível. Pode considerar valores do uso e do não-uso. Não baseado no comportamento real. Pode estar sujeito a vários tipos de influências. Pode ser de cara execução.

Loomis (2000) revê um grande número de estudos sobre valoração, enfatizando seu uso como uma ferramenta de planejamento e seu papel em processos de decisão, com atenção especial às questões de recursos hídricos, tais como vazões remanescentes e renovação de licença para represas ou sua remoção. Cita, ainda, alguns exemplos da utilização da valoração econômica para usos não regulados pelo mercado, em análises das políticas de recursos hídricos, como o da avaliação dos efeitos econômicos da regularização das vazões liberadas pela represa Glen Canyon, no rio Colorado, a manutenção de nível de um reservatório para a recreação, a renovação de licenças de barragens para fins de produção de energia elétrica, e a remoção de barragens para incremento dos benefícios com a pesca. Observa, ainda, o aspecto curioso de que alguns dos grandes projetos de água dos Estados Unidos das décadas de 1930 a de 1950, especialmente de represas, que foram originalmente justificados nas primeiras aplicações da análise benefício-custo, estão sendo questionados hoje, com o uso de versões mais avançadas dessas mesmas ferramentas



analíticas. Acaba por concluir que os estudos sobre valoração econômica têm o potencial de fornecer uma ferramenta eficaz para diminuir o papel frequentemente nocivo de interesses escusos nos processos políticos de negociação.

Hoehn e Krieger (2000) apresentam um estudo a respeito das melhorias em um sistema de abastecimento urbano de água e em sistemas de tratamento de água. Como esse estudo ocorreu no Cairo, Egito, não existiam dados de um mercado. Sendo assim, realizaram uma pesquisa de avaliação contingente, por meio do estudo da disposição a pagar (DAP). O artigo descreve como tal estudo é construído, executado e analisado, demonstrando que é possível observar valores próximos à realidade, quando comparados a valores de mercado disponíveis.

Vaughn *et al.* (2000) também utilizaram a avaliação contingente para avaliar os benefícios esperados na melhoria da qualidade da água no rio Tietê devido à implementação de infraestrutura adicional de tratamento de esgotos na cidade de São Paulo. Os resultados foram avaliados usando vários métodos econométricos e seu ponto principal foi demonstrar que as metodologias estatísticas utilizadas podem render interpretações muito variáveis, mesmo com dados de avaliação contingente produzidos em estudos cuidadosamente controlados, e que nenhuma delas pode ser apontada como a mais correta.

O artigo de Deacon e Kolstad (2000) focaliza uma aplicação da avaliação dos impactos causados por um derramamento de óleo ou uma contaminação bacteriana no valor de uso de uma praia. Segundo os autores, o estudo serviu a várias finalidades, entre as quais: i) ilustrar mais uma aplicação da valoração a um problema de recurso hídrico, e, ii) identificar uma dificuldade técnica que se refere à valoração, que é a dificuldade da amostragem colhida em uma praia onde o acesso não seja controlado e as visitas são de durações diferentes. Avaliam que erros na amostragem podem conduzir a conclusões distorcidas, e ilustram a técnica de transferência dos benefícios. Os autores demonstram como estudos prévios sobre contaminação de praias podem trazer dados úteis em novos estudos.

Shabman e Stephenson (2000) examinam os desafios filosóficos à valoração econômica dos bens ambientais e discutem como ela e a análise benefício-custo podem adicionar informações úteis a um processo de tomada de decisão. Discutem, também, as críticas

feitas frequentemente às suposições subjacentes à valoração econômica. Observam que alguns críticos entendem que esses métodos mais distorcem a realidade do que auxiliam as decisões, questionando, assim, sua legitimidade como referência para políticas públicas.

Braden (2000) entende que em muitos projetos ou casos de danos ambientais não se justifica um estudo muito apurado de valoração ambiental. Nesses casos, os profissionais tentam inferir valores obtidos da literatura. Porém, necessita-se avaliar se os estudos são suficientemente similares ao caso e se são passíveis de alguma inferência. Esse exercício é chamado de transferência de benefícios. Cuidado deve ser tomado para assegurar-se não somente que o estudo seja confiável, mas também para estabelecer que casos são comparáveis.

A qualidade de água afeta variados usos, tais como o abastecimento humano e a recreação. As mudanças na qualidade de água podem, assim, influenciar os benefícios dos usuários. Não há como definir formalmente uma qualidade de água que sirva para todos os usos. Há muitas variáveis que influenciam a qualidade de água e que afetam benefícios dos usuários. O trabalho de Loomis *et al* (2002), desenvolvido para o Departamento de Agricultura norte-americano, examina cinco variáveis da qualidade de água e a quantidade, e sua influência em seis usos. As variáveis da qualidade de água são turbidez, salinidade, sólidos suspensos totais, temperatura, e oxigênio dissolvido. Mudanças nesses parâmetros são avaliadas com vistas a determinar valores para os usos em abastecimento, irrigação, recreação, indústrias, energia elétrica, e usos da água que não são regulados pelo mercado. O trabalho contém resultados de estudos anteriores e as técnicas de valoração utilizadas em cada estudo. A partir desses valores, os autores determinaram valores médios das mudanças na qualidade de água e como essa alteração afeta economicamente o uso em questão.

Na realidade, não existe uma única definição de qualidade da água devido à diversidade de usos. Cada uso tem as exigências de qualidade-ótima que, normalmente, são únicas. Por exemplo, a água para abastecimento público requer níveis baixos de sedimentos. As exigências de qualidade da água para a recreação dependem do tipo de atividade. A navegação não requer um nível baixo do sedimento, característica requerida para a recreação de contato primário, como a natação. Pessoas que praticam *rafting* estão mais preocupadas com a quantidade da água. A presença de peixes é influenciada pela

temperatura da água, enquanto a quantidade é importante para a pesca. A qualidade de água é avaliada usando alguma combinação de parâmetros. A Tabela 3.2 foi elaborada com base em Loomis *et al.* (2002).

Tabela 3.2 - Parâmetros de qualidade e sua influência nos aspectos econômicos (Loomis *et al.*, 2002)

Parâmetro	Influências
Sólidos suspensos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Recreacionais: depende da atividade</li> <li>▪ Ambiente aquático e organismos</li> <li>▪ Consumo do oxigênio dissolvido</li> </ul>
Oxigênio dissolvido	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Imprescindível às formas aeróbias de vida</li> <li>▪ Purificação do corpo d'água</li> <li>▪ Decréscimo na quantidade de pescado e na qualidade da pesca enquanto recreação</li> </ul>
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Afeta as reações químicas na coluna de água</li> <li>▪ Afeta a atividade biológica</li> </ul>
Salinidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A remoção de sais da água é um processo caro.</li> <li>▪ Afeta quase todos os usos da água</li> <li>▪ Aumento na concentração causa prejuízos para a agricultura, abastecimento humano e industrial</li> </ul>
Turbidez	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estética</li> <li>▪ Determina a profundidade da penetração da luz e a estrutura do habitat em várias profundidades</li> <li>▪ Recreacionais</li> </ul>
Quantidade de água	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Importante em diversos usos, como para manutenção de habitats saudáveis, ou em usos recreacionais</li> <li>▪ Fator que contribui para todos os outros parâmetros citados anteriormente</li> </ul>

A despeito dos avanços nos métodos e aplicações, a valoração permanece uma arte imperfeita. Como a valoração é um exercício de inferências baseadas em suposições, estará sempre sujeita a interpretações distintas, a controvérsias e ao debate.

### 3.3 - AVALIAÇÃO ECONÔMICA DOS USOS DA ÁGUA

Baltar (2001) observa que o trato econômico da questão da água não é simples, e cita os fatores que tornam complexa essa abordagem como: (a) os usos concorrentes, com demandas e requisitos de qualidade da água diversos, cujos custos e benefícios associados estão sujeitos a níveis bastante diferenciados de incerteza na estimativa; (b) uma importante variação inter e intra-anual na ocorrência de vazões, o que pode exigir a consideração de diferentes hipóteses de satisfação das demandas; (c) um número

importante de variáveis suscetíveis de definir a evolução das demandas por água; (d) diferentes estratégias possíveis para operação das estruturas hidráulicas da bacia (barragens, etc.); e (e) a necessidade de se considerarem, muitas vezes, períodos extensos de análise para se levar em conta o retorno de investimentos realizados em obras de infraestrutura hídrica.

As avaliações econômicas dos usos da água foram motivadas pela necessidade de análise da demanda para abastecimento doméstico, focadas, especialmente, no impacto sobre o consumo a partir de diferentes políticas tarifárias. As diferenças entre estruturas de tarifas crescentes e decrescentes e a utilização de preços médios e marginais na determinação da função de demanda são discutidas Nieswiadomy (1992).

Crammond (1996) afirma que a água em córregos, rios e lagos possui valor social, econômico e ambiental, que ganha cada vez mais em importância à medida que a água se torna mais escassa. A qualidade de vida local, os bens culturais e históricos, o turismo, os valores das propriedades, a qualidade da água, a diversidade e vitalidade das espécies e a recreação dependem das vazões dos rios e de lagos saudáveis.

Como evidencia Baltar (2001), “o tratamento econômico de outros usos da água entra em evidência à medida que se agrava o quadro de escassez desse recurso. A insuficiência de água para satisfazer as demandas dos diversos setores usuários impõe à sociedade a tarefa de decidir quanto à alocação dos recursos hídricos ou à realização de investimentos, cada vez maiores, para ampliação da oferta”.

Carrera-Fernandez e Garrido (2002) compartilham dessa visão e afirmam que, devido à escassez relativa, a água bruta é, de fato, um bem econômico. Como todo bem econômico, a água tem um valor de uso e um valor de troca, além do que poderá pertencer a proprietários ou titulares que disporão de seu uso. O valor de uso da água é variável, pois depende da utilidade ou satisfação que os diversos usuários lhe atribuem, pela múltipla capacidade desta em satisfazer suas necessidades. O valor de troca, por outro lado, depende das condições de oferta e demanda. Os bens que têm o maior valor de uso, em geral, são aqueles que têm o menor valor de troca. A água tem um grande valor de uso, só comparado ao ar puro, mas raramente poderá comprar alguma coisa em troca. Embora a utilidade seja uma pré-condição do valor de um bem, é a escassez que comanda o seu valor de troca. O

problema que se apresenta é como determinar o valor da água em uma situação onde inexistente o mercado e o bem pode ser utilizado em uma diferente gama de modalidades de uso.

Nesse contexto de escassez e necessidade de valoração, a avaliação econômica do uso da água para irrigação tem merecido uma atenção especial. Em geral, a agricultura irrigada é o setor usuário que apresenta a maior demanda por água. Por esse motivo, as decisões de alocação de recursos hídricos entre usos distintos quase sempre envolvem negociações com o setor agrícola.

Um dos métodos mais utilizados para avaliação econômica da água na irrigação é o do valor residual (Young, 1996). É baseado no cálculo da contribuição incremental de cada fator de produção no valor total do bem produzido, a partir de uma função de produção. Admite-se que, excetuando o insumo que se quer valorar (no caso a água), todos os demais fatores e o produto final possuem valor econômico determinável, supostamente por preços de mercado. O autor destaca, ainda, outros dois métodos utilizados para valoração econômica da água como bem intermediário (ou fator de produção): o método dos preços hedônicos e do custo de solução alternativa.

Colby (1990) observa uma tendência crescente de se valorarem os usos para os quais a água não é retirada de seu leito natural (*"instream uses"*). O autor enumera as razões pelas quais a sociedade tem dado maior importância a esses tipos de uso, destacando: (a) o crescimento acelerado das cidades, com novos cidadãos demandando novas oportunidades de recreação; (b) as retiradas de água para usos como irrigação, demanda industrial e abastecimento público (*"offstream uses"*), que têm reduzido a disponibilidade de água nos mananciais, causando prejuízos aos demais usos; e (c) o aumento nos níveis de renda, acarretando uma maior procura por atividades de lazer e uma valorização dos aspectos paisagísticos e ecológicos da água, quando mantida em seu leito natural.

Crammond (1996) afirma que os valores econômicos desses usos não-consuntivos podem ser medidos de maneira que permitam que a comparação avalie os usos múltiplos. Os valores marginais desses usos podem ser maiores do que valores marginais de outros usos. O autor cita que um estudo estimou que a água usada na geração de energia hidrelétrica na

bacia do rio Columbia, situada nos estados da região noroeste dos Estados Unidos, quando possibilita a migração dos peixes, produz duas vezes o benefício auferido na agricultura.

O estudo de Crammond (1996) tenta identificar procedimentos, problemas e oportunidades para a melhoria do sistema de direito de uso da água (*water rights leasing*) dos estados do noroeste americano, Idaho, Montana, Oregon e Washington. Afirma que os economistas avaliam os benefícios gerados por um direito de uso da água em vários cenários e estimam um preço em função desses dados. Assim, um método comum é medir o valor da água baseado no lucro que ela proporciona. Para uma fazenda, esse podia ser o valor da colheita produzida com e sem água. Para uma usina hidrelétrica, o valor pode ser o lucro líquido de cada quilowatt gerado. Um método baseado no mercado estimaria o custo de uma fonte alternativa de água, o preço de terras similares com e sem água, ou o preço de uma energia alternativa.

O método dos custos de viagem e o método da valoração contingente são os mais utilizados para avaliação de benefícios associados a esse tipo de uso da água. O método da valoração contingente se baseia na disposição a pagar declarada por indivíduos em uma pesquisa de campo. Assim, Loomis (1998) observa que a questão central relativa ao método é saber se o indivíduo pesquisado efetivamente pagaria o valor por ele declarado. O autor propõe que, nos casos associados à recreação, é interessante testar a validade da valoração contingente comparando seus resultados com os valores obtidos por meio do método dos custos de viagem, para o mesmo local considerado.

No Brasil, os aspectos econômicos dos recursos hídricos têm sido tratados, sobretudo, no âmbito de estudos relacionados à implementação da cobrança pelo uso da água, um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída com a Lei nº 9.433 de janeiro de 1997.

Cordeiro Netto (1993) destaca que a existência de vários métodos de valoração não significa que o valor econômico da água seja facilmente avaliável. Pelo contrário, a água é um bem extremamente complexo. Do ponto de vista econômico, pode se comportar como bem privado, pode possuir características de bem público, pode ser um bem de consumo ou um fator de produção. Sua ocorrência é estocástica, seus usos são múltiplos e suas características físicas, químicas e biológicas são as mais diversas. Como se não bastasse,

tudo isso pode ocorrer (e freqüentemente ocorre) simultaneamente. Diante disso, fica claro que o valor econômico da água nunca é perfeitamente avaliável.

O conceito de utilidade está relacionado à satisfação individual decorrente do consumo, que, por sua vez, decresce à medida que maiores quantidades são consumidas. A maximização da utilidade está sujeita a duas restrições básicas: o nível de renda do consumidor e o nível de preços do mercado. Assim, verificada a hipótese de racionalidade e conhecidas as restrições de renda dos consumidores bem como a estrutura de preços do mercado, pode-se estabelecer uma função de demanda para o bem considerado (a chamada curva de demanda) (Nogueira *et al.*, 2000). O fato de a utilidade decrescer à medida que maiores quantidades são consumidas é chamado pelos economistas de utilidade marginal decrescente.

Na Figura 3.1, é apresentado um exemplo de curva de demanda. Nessa figura, a área “abc” representa o benefício líquido do consumidor, enquanto que o retângulo “Oacd” é o valor efetivamente pago, sendo “a” o preço que o consumidor paga, por unidade, ao consumir “d” unidades do produto. Por meio dessa figura, nota-se que uma redução no preço do produto conduz a um acréscimo no excedente do consumidor.

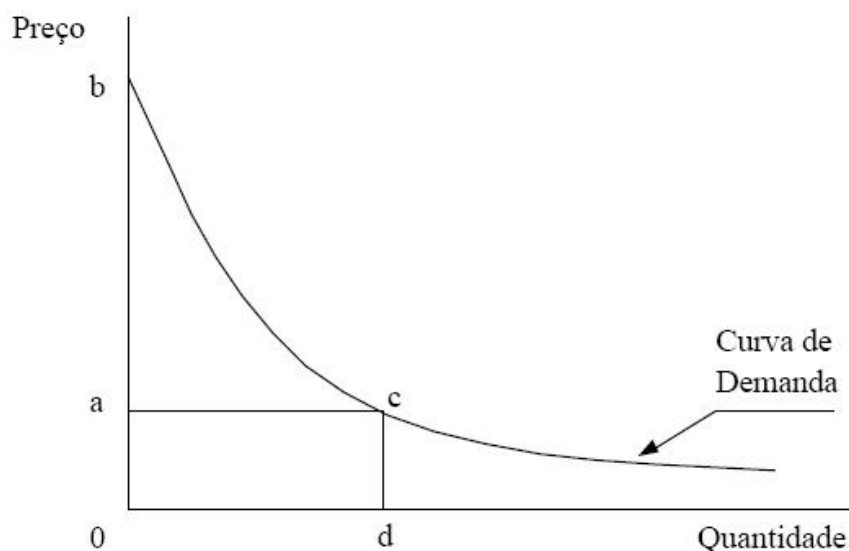


Figura 3.1 - Curva de Demanda (Hanley e Spash, 1993)

### **3.4 - A ECONOMIA DO BEM-ESTAR SOCIAL E A ALOCAÇÃO DE ÁGUA**

Segundo Porto e Souza Filho (2005a), a meta da Economia do Bem-Estar Social é a construção de um equilíbrio macroeconômico obtido na presença de externalidades, por meio de mecanismos compensatórios. Procura-se, por meio da tributação, construir um instrumento econômico que incentive os agentes econômicos a iniciativas geradoras de externalidades positivas e desestime as práticas geradoras de externalidades negativas ao ambiente. Assim, o objetivo desse modelo é a compensação do dano pelo gerador de externalidades negativas de forma a igualar os custos privados aos custos sociais da produção.

A empresa sujeita a um imposto de poluição compara seus custos de impostos com os custos de: i) adquirir equipamentos de controle da poluição e ii) reduzir a produção. A empresa só tomará alguma medida se a redução na redução dos impostos for maior que os custos da mudança. No outro caso, preferirá continuar poluindo e pagando impostos.

Porto e Souza Filho (2005b) apresentam duas teorias da justiça alocativa. Uma teoria é oriunda da teoria da Justiça como Equidade, discutida por John Rawls em 1971. Esse critério de justiça não se fundamenta no agregado, mas em como se dá a distribuição desse entre os indivíduos, procurando-se uma distribuição igualitária. Essa distribuição igualitária não é, porém, uma divisão em partes iguais; Rawls propõe um princípio da desigualdade que instrumentaliza a construção da igualdade desejada. Na justiça como equidade de Rawls, alternativas de menor eficiência econômica podem ser identificadas como as mais justas.

A outra teoria da justiça alocativa é a justiça utilitarista. Nessa teoria, é considerado justo o que maximiza a soma total das utilidades sociais. Esse critério de justiça é muito difundido e fundamenta escolhas sociais baseadas, por exemplo, na análise benefício-custo e de grande parte, se não toda, da escola econômica do bem-estar social. O bem-estar é uma visão de quão bom um estado de coisas pode ser julgado, inteiramente por meio das utilidades naquele estado.

Constatam, ainda, que o Modelo de Alocação Justiça Utilitarista (MAJU) utiliza a maximização da utilidade como critério de alocação, satisfazendo a condição de eficiência



de Marshall ou Kaldor-Hinks. Esse critério de eficiência pode ser definido como a maximização do benefício líquido do sistema. O critério de igualdade no utilitarismo requer que a utilidade marginal entre todos os indivíduos seja a mesma com vistas a se alcançar o máximo da utilidade agregada por meio da soma da utilidade entre os indivíduos.

Carrera-Fernandez e Garrido (2002) entendem que a disponibilidade dos recursos da água deve ser repartida entre os múltiplos usuários com igualdade de oportunidades, mas de modo tal que o benefício social líquido seja maximizado. Ou seja, em todas as situações o ponto de partida a ser considerado é que a avaliação das demandas dos distintos usuários seja feita em um plano de igualdade de observação. As técnicas para essa definição passam pela análise de custos e benefícios sociais e privados, tanto quanto a análise de custo-efetividade, além da programação linear aplicada ou mesmo a teoria dos jogos, que podem ser de extrema valia para resolver o problema alocativo. No entanto, os custos e benefícios devem ser considerados de forma mais ampla e abrangente possível, tendo como objetivo o bem-estar social.

A análise benefício-custo é um exemplo de escolha social que utiliza critério de justiça utilitarista. Conforme corrobora Mueller (2001), a análise benefício-custo é uma técnica firmemente apoiada na economia do bem-estar neoclássica e, particularmente, no critério de eficiência de Pareto. Com ela, objetiva-se selecionar projetos e políticas eficientes do ponto de vista econômico, ou seja, que apresentem impactos significantes sobre o bem-estar social, tendo, portanto, forte base utilitária.

Afonso (2001) afirma que a análise benefício-custo é um importante instrumento do processo decisório de instituições públicas que procura avaliar, empiricamente, o incremento do bem-estar social a partir de um projeto.

### **3.4.1 - Análise Custo-Benefício (ACB)**

A teoria econômica neoclássica enfatiza que a alocação de recursos por meio do mecanismo de mercado é eficiente sob o ponto de vista econômico (ou “paretiano”) se, além da existência do próprio mercado, certas condições ideais prevalecerem, tais como: (i) perfeito conhecimento de todos os agentes com relação às alternativas disponíveis no

mercado; (ii) perfeita mobilidade dos recursos; (iii) custos marginais crescentes; (iv) bens exclusivos; (v) ausência de bens públicos; e, (iv) direitos de propriedade dos recursos bem definidos. (Carrera-Fernandez e Garrido, 2002)

No entanto, não se pode dizer que a ação do Estado levará, necessariamente, ao ótimo de Pareto. Isso porque é preciso estabelecer, antes de tudo, quais os verdadeiros objetivos do governo e quais são os meios disponíveis pelos quais esses objetivos serão atingidos, além, é claro, da projeção realística do que o governo pode efetivamente realizar.

A Análise Custo-Benefício (ACB) tem as seguintes características, conforme Nas *apud* Porto e Souza Filho (2005b): i) os ganhos e perdas potenciais são convertidos em unidades monetárias, para isso, faz-se necessário valorar benefícios e custos utilizando informações de mercado, com eventual modificação para tratar externalidades ii) os benefícios e custos são agregados na perspectiva de toda sociedade; iii) os benefícios e custos futuros são considerados e submetidos a uma taxa de desconto para comparação dos valores presentes; iv) o projeto visa à maximização do benefício social líquido.

Hanley e Spash (1993) identificaram os passos para a realização de uma ACB. Dentre eles, destacam-se a definição do projeto, identificação dos impactos do projeto, definição dos impactos economicamente relevantes, quantificação física dos impactos relevantes, valoração dos efeitos relevantes com a atribuição de valor monetário a bens que não são transacionados nos mercados, cálculo do valor presente dos fluxos de benefícios e custos, aplicação do teste do valor presente líquido, e análise de sensibilidade do valor presente líquido por meio da mudança de certos parâmetros (taxa de desconto, impactos físicos, valores atribuídos, etc.).

Fica evidente que a ACB necessita de ferramentas que busquem estimar valores para os ativos ambientais e para os bens e serviços por eles gerados. Nesse contexto, inserem-se os métodos de valoração econômica do meio ambiente que, segundo Nogueira *et al.* (2000), “são técnicas específicas para quantificar (em termos monetários) os impactos econômicos e sociais de projetos cujos resultados numéricos vão permitir uma avaliação mais abrangente”.

Porém, conforme comenta Moura (2000), os investimentos em melhorias ambientais costumam ter um retorno mais lento e, por vezes, é muito mais difícil realizar sua avaliação, enquanto os investimentos que resultem em maior produção têm retorno mais rápido e visível. O autor entende que definir os custos de um projeto é uma tarefa relativamente fácil. Computam-se os custos dos estudos e projetos, obras civis, montagem e testes. Adicionam-se a esses custos, as despesas de operação e de manutenção. Por outro lado, obter um valor monetário para os benefícios é uma tarefa bem mais difícil. Para isso, pode-se realizar uma estimativa de quais seriam os prejuízos caso aquele projeto não fosse realizado, por exemplo, quais seriam as despesas com tratamento de saúde das pessoas, o custo para tratamento de águas residuais descarregadas, antes de sua reutilização, os custos de uma morte por acidente ou por doença ocupacional, a perda de uma área contaminada por resíduos, etc. As estimativas, mesmo que sejam relativamente grosseiras, resultam em valores numéricos que podem ser comparados aos valores dos custos.

Em virtude dessas características, os projetos em sistemas hídricos e de saneamento devem passar por uma avaliação social. O que diferencia a análise social de projetos da análise de atratividade, do ponto de vista privado, é que o benefício ou custo para um agente econômico pode não ser o mesmo do que seria para a sociedade como um todo. Em uma economia caracterizada por um grande número de imperfeições de mercado, os benefícios e custos privados diferem dos benefícios e custos para a sociedade. Na avaliação social, a análise de viabilidade econômica de projetos de investimento deve estar relacionada com o bem-estar da sociedade como um todo, não devendo ser restrita apenas à satisfação de um grupo específico.

### **3.4.2 - As externalidades**

Carrera-Fernandez e Garrido (2002) observam que o simples fato de a água de uma bacia hidrográfica ainda ser cotada ao preço zero induz qualquer usuário a não levar em consideração o custo social que a sua decisão particular de consumir um metro cúbico a mais de água causa aos outros usuários do sistema hídrico.

Dessa forma, entendem que, com o objetivo de tornar a alocação da água de mananciais mais eficiente, principalmente nas bacias hidrográficas com altas demandas, o órgão gestor de recursos hídricos pode, e deve, intervir, por meio de ações e instrumentos de

gerenciamento de demanda, como forma de fazer com que cada usuário internalize esse custo nas suas decisões individuais de consumo ou produção.

A Figura 3.2 mostra graficamente esse problema que, na literatura econômica, é conhecido pelas múltiplas denominações de problema do custo social ou externalidades tecnológicas ou Teorema de Coase, autor que, em 1960, discutiu sistematicamente a importância dos custos de transação em relação à alocação de recursos. A curva denotada por  $CMg^P$  mostra o custo marginal privado de captação de água para uma finalidade específica avaliado em termos de mão-de-obra, equipamentos e outros insumos, necessários à sua captação. A curva  $CMg^S$  mostra o custo marginal social, o qual inclui, além do custo de oportunidade privado de captar, o custo adicional imposto à sociedade.

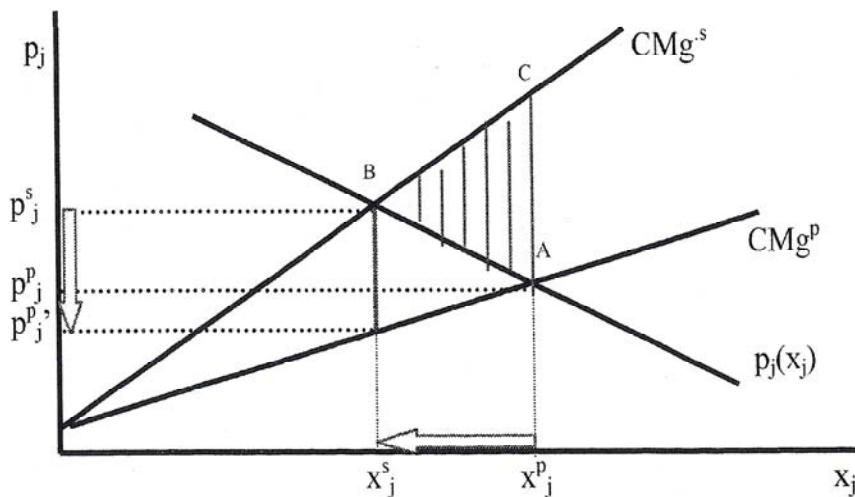


Figura 3.2 - Distorção entre os custos social e privado (Carrera-Fernandez e Garrido, 2002)

Representando-se a função de demanda por água nesse uso por  $p_j(x_j)$ , a qual especifica o benefício marginal para cada nível de utilização desse recurso, deduz-se que o usuário irá consumir a quantidade  $x_j^p$  de água. Esse nível de consumo foi obtido ao igualar-se o preço (benefício marginal) ao custo marginal privado desse recurso. O problema é que qualquer usuário, na sua decisão individual de consumo, não leva em consideração o custo marginal social. Em consequência, o usuário estará consumindo um volume de água maior que a quantidade socialmente ótima, com prejuízos para os demais usuários do sistema. A condição necessária para uma alocação ótima de água no consumo é que cada usuário fundamente sua decisão de consumo igualando o benefício marginal ao custo marginal social (ponto B).

Esse é o caso específico da maioria dos projetos de saneamento básico implementados, projetos que apresentam fortes características de bens públicos, tendo em vista que eles propiciam às comunidades beneficiadas efeitos externos positivos, não contabilizados pela disposição a pagar de seus usuários. Esses efeitos externos positivos (ou benefícios indiretos) seriam resultantes de uma série de doenças de veiculação hídrica evitáveis, que ocorreriam caso tais projetos não tivessem sido implementados. Tais benefícios indiretos podem ser avaliados tomando-se por base a redução dos custos com saúde.

A cobrança é uma ferramenta que tem como objetivo equacionar o problema das externalidades, induzindo os usuários a internalizarem tal efeito externo, levando, assim, a uma alocação eficiente desse recurso na economia. Assim, o custo social da água é o valor que induz os usuários a utilizarem esse recurso no nível socialmente ótimo. De fato, o custo social da água é o valor que internaliza o efeito externo negativo que cada usuário causa aos demais.

### **3.5 - ASPECTOS DOS INSTRUMENTOS DE GESTÃO**

Os instrumentos de gestão são uma das principais inovações trazidas pela Lei que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos. Esses instrumentos constituem uma parte importante dos aspectos institucionais do problema. Formam o conjunto de instrumentos de gestão previstos na lei os planos de recursos hídricos, a outorga de direito de uso dos recursos hídricos, a cobrança pelo uso, os sistemas de informações em recursos hídricos, o enquadramento dos corpos d'água em classes de usos preponderantes e a compensação financeira aos municípios.

#### **3.5.1 - Gestão de recursos escassos – cobrança e outorga**

Conforme já salientado, Cosgrove e Rijsberman (2000) argumentam que a crise existente e seu acirramento não são devidos à pequena disponibilidade de água para satisfazer às necessidades humanas, mas são devidos, principalmente, ao péssimo gerenciamento da água que vitima o ambiente e as pessoas. Os conflitos existentes são vistos como resultado do pobre gerenciamento dos recursos hídricos e das disparidades econômicas e sociais existentes entre áreas, países e regiões. Dessa forma, vislumbram três grupos de conflitos

pela água que resultam de três questões: (a) água acessível insuficiente, que é causada pela escassez de água em quantidade e qualidade; (b) incremento da preocupação ambiental, que limita o acesso à água a partir da delimitação de reservas para proteção da qualidade da água e conservação da biodiversidade; e, (c) o valor econômico da água, especialmente em situações de escassez, quando o recurso hídrico passa a ser visto não apenas como um bem social.

Em função da crescente escassez da água em quantidade e ou qualidade e da sua importância na maior parte das atividades humanas, a água deixou de ser um bem livre e passou a ter valor econômico. Lanna (2003) observa que o aspecto da escassez qualitativa ocorre exatamente nos locais onde existe maior concentração de demandas hídricas e os mananciais acabam sendo comprometidos pela poluição promovida pelos efluentes originados por esses próprios usos. Assim, suscita uma questão óbvia e que aflige os governos, a sociedade e os especialistas: “Como, portanto, obter água boa para todos?”.

Os modelos de Gestão das Águas, com seus instrumentos, têm sido a orientação para as respostas a essa pergunta, pois permitem conciliar as demandas com as disponibilidades hídricas, nos aspectos quantitativos e qualitativos.

Um debate atual envolve a consideração da água como bem social ou bem econômico. A consideração da água como bem econômico significa, em termos gerais, que a água deve ser administrada em suas diversas utilizações de forma a maximizar o valor global que tem para a sociedade. Por outro lado, considerar água como bem social decorre de sua essencialidade à vida em conjunção com as enormes desigualdades sociais onde uma grande parcela da população não tem renda suficiente para arcar com os custos de fornecimento de água de boa qualidade. Em realidade, não são objetivos mutuamente exclusivos. As Nações Unidas, ao estabelecerem os objetivos do milênio, consideraram tanto o princípio da universalização do acesso à água, quanto o princípio do uso racional e eficiente desse recurso.

Os instrumentos de Gestão das Águas guardam muitas analogias com aqueles usados para a gestão de recursos escassos. A ocorrência da escassez contribuiu com a adoção de novo paradigma de gestão da água, que compreende a utilização de instrumentos regulatórios e econômicos, como a cobrança pelo seu uso. Quando se considera o fenômeno da escassez,

os instrumentos de natureza econômica assumem um papel preponderante no processo de gerenciamento. Segundo Garrido (2003), os instrumentos legais, os regulamentos, as normas, e o papel da autoridade pública vêm-se mostrando pouco eficazes, ou parcialmente incompletos, para combater as inúmeras formas de desperdício e de falta de compromisso com a economia e com a racionalidade no uso da água.

Carrera-Fernandez e Garrido (2002) entendem que a ação do poder público é justificada nos casos onde as demandas reveladas e a oferta não são capazes de contabilizar os verdadeiros custos e benefícios sociais (ou contabilizam apenas parte desses custos e benefícios). Este é o caso específico dos recursos da água, os quais se apresentam com fortes características de bem público. Nesse caso, a intervenção do Estado pode levar a economia a alocar os recursos da água de forma mais eficiente, com ganhos para toda a sociedade.

Em geral, sempre que os recursos econômicos apresentarem características de bens públicos ou a sua utilização causar efeitos externos no consumo ou na produção, a solução mais conveniente é a ação do poder público. A ação do Estado pode ser necessária, tanto para assegurar o nível socialmente ótimo de produção e consumo quanto para corrigir distorções não desejáveis na alocação dos recursos.

Dessa forma, Porto e Souza Filho (2005c) observam que os recursos hídricos, desde tempos remotos, têm sido alocados por um critério social, que é o de garantir água disponível para o consumo humano, sanitário e para a produção agrícola. Para manter essa alocação, a sociedade realiza investimentos em infra-estrutura. Porém, modificações na sociedade resultaram em uma nova perspectiva de como a água é alocada.

O processo de alocação de água pública (administrativo) é o mais utilizado em diversos países devido às características especiais da água que levam a falhas de mercado. Além das já citadas falhas de mercado, são enumerados também pelo Banco Mundial *apud* Porto e Souza Filho (2005b): i) as ações de desenvolvimento em recursos hídricos de grande escala são muito caras para os setores privados; ii) os investimentos em recursos hídricos são de longo horizonte temporal; iii) há interdependência entre as águas superficiais e subterrâneas, isso impõe que todos os usuários concordem com as regras do jogo; v) os recursos hídricos são importantes para a segurança nacional e para o desenvolvimento

regional; vi) a alocação da água pode ser utilizada com o objetivo de promover equidade social, reforma agrária ou outros objetivos sociais no interior de uma equação de produção do bem-estar social. Baseados nessas características especiais, a sociedade constrói a defesa da alocação administrativa, por meio da outorga como contraponto à alocação de mercado.

### **3.5.2 - A cobrança pela outorga de uso da água bruta**

O tema cobrança pelo uso da água tem sido amplamente debatido nos meios técnicos e acadêmicos brasileiros, com maior intensidade e frequência após ter sido incluído entre os instrumentos de gestão de recursos hídricos na Lei 9.433/97. Lanna (2003) considera a outorga e a cobrança pelo uso da água os instrumentos de gestão fundamentais das políticas nacional e estaduais de recursos hídricos no país. Observa, ainda, que eles são adotados cotidianamente para gestão de outros recursos escassos, como estacionamento nos centros urbanos congestionados, com as mesmas finalidades que são perseguidas na Gestão das Águas.

Vários trabalhos sobre o tema da outorga e cobrança pelo uso da água têm sido apresentados em congressos e encontros científicos da área. Avaliações práticas foram apresentadas por Favoreto *et al.* (2003), Jonhsson *et al.* (2003), e também avaliações de caráter mais teórico como Paiva *et al.* (2003).

Garrido (2003) cita que a importância desses dois instrumentos, outorga e cobrança, reside no fato de serem eles os principais indutores do uso racional da água, o primeiro por combater a ocorrência de conflitos e, o segundo, por evitar, tanto quanto possível, as deseconomias no uso dos recursos hídricos. A outorga é um instrumento discricionário que permite ao proprietário do recurso estabelecer quem pode usá-lo, como, quando e de que forma. Se a propriedade é pública, a outorga é um instrumento de gestão que atua por meio da atribuição de cotas entre os usuários. Em função da já citada escassez do recurso, sua distribuição é realizada de forma a evitar desperdícios e a atender demandas mais prioritárias sob o ponto de vista da sociedade. Já a cobrança atua economicamente a partir do preço, proporcionando a racionalização econômica do uso desse recurso, evitando desperdícios, especialmente quando seus valores são suficientemente indutores, e para a viabilização financeira de projetos.



Também partilham dessa visão organismos internacionais de financiamento, como o Banco Mundial (2003), que considera que a cobrança pelo uso da água pode provocar alterações fundamentais e saudáveis no consumo ao indicar aos usuários o valor econômico dos recursos, promovendo assim, um uso mais eficiente, enquanto permite arrecadação de recursos financeiros para uma adequada administração e manutenção da infra-estrutura, e a provisão de fundos para o gerenciamento e desenvolvimento dos recursos hídricos.

O trabalho apresentado pelo Banco Mundial (2003) analisa experiências sobre cobrança do uso da água em 22 países que permitem comparações, como as razões que justificam a utilização do instrumento da cobrança em cada país e a composição dos preços em função das componentes fixas e variáveis de cada país.

Os objetivos da cobrança pelo uso dos recursos hídricos, segundo Garrido (2003) são: (a) gerenciar a demanda influenciando na decisão da localização da atividade econômica; (b) redistribuir os custos sociais impondo preços diferenciados para usuários diferentes entre si; (c) melhorar a qualidade dos efluentes lançados nos corpos d'água, considerando a diluição e transporte um importante uso; (d) promover a formação de fundos para os projetos, intervenções, obras e outros trabalhos do setor; e, (e) incorporar ao planejamento global as dimensões social e ambiental.

Embora muitos estudos tenham sido realizados em vários estados e bacias para estimar o preço-ótimo da água que represente o valor econômico dos diversos usos, as duas iniciativas de maior sucesso adotaram valores por meio de negociações com os principais usuários da água. Esses foram os casos do Ceará e na bacia do rio Paraíba do Sul, onde a cobrança pelo uso da água foi aprovada pelo comitê da bacia. Posteriormente a cobrança também foi instituída no Estado do Rio de Janeiro, e, mais recentemente, nas denominadas bacias PCJ (Piracicaba, Capivari e Jundiá). Há a previsão, em 2007, de início efetivo de cobrança nos Estados de Minas Gerais e São Paulo.

Baltar (2001) observa que a população em geral enxerga a cobrança pelo uso da água como mais uma taxa a ser paga ao governo. O desafio, então, é demonstrar aos usuários que a introdução desse mecanismo, o desenvolvimento de um sistema de alocação de água, o gerenciamento descentralizado e participativo da bacia, e o desenvolvimento de um

arcabouço institucional e regulatório adequado aumentarão a confiabilidade nos sistemas de recursos hídricos, inclusive dos instrumentos econômicos de gestão.

A experiência em outros países mostra que, em bacias que utilizam a cobrança, os indivíduos e usuários poluidores reagem internalizando custos associados à poluição ou a outro uso da água. É dessa forma que a cobrança pelo uso de recursos hídricos, mais do que instrumento para gerar receita, é indutora de mudanças pela economia da água, pela redução de perdas, pela gestão com justiça ambiental. Isso porque se cobra de quem usa ou polui.

O fundamento legal para a cobrança pelo uso da água no Brasil remonta ao Código Civil de 1916, quando estabeleceu que a utilização dos bens públicos de uso comum pode ser gratuita ou retribuída, conforme as leis da União, dos estados e dos municípios a cuja administração pertencerem. No mesmo sentido, o Código de Águas, Decreto-lei 24.642/34, estabeleceu que o uso comum das águas pode ser gratuito ou retribuído, de acordo com as leis e os regulamentos da circunscrição administrativa a que pertencerem.

Posteriormente, a Lei 6.938/81, que trata da Política Nacional de Meio Ambiente, incluiu a possibilidade de imposição ao poluidor e ao predador, da obrigação de recuperar ou indenizar os danos causados e, ao usuário, da contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos.

Finalmente, a Lei 9.433/97 definiu a cobrança como um dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos e a Lei 9.984/2000, que instituiu a Agência Nacional de Águas – ANA, atribuiu a essa Agência a competência para implementar, em articulação com os Comitês de Bacia Hidrográfica, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio da União.

Na esfera estadual, atualmente 26 Estados e o Distrito Federal já aprovaram suas Leis sobre Política e Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Todas as leis já aprovadas incluíram a cobrança pelo uso dos recursos hídricos como instrumento de gestão. Observa-se, então, que são várias as oportunidades para se implantar a cobrança. Porém, persistem questões técnicas e metodológicas, assim como dificuldades de integração com outros instrumentos de gestão.

Carrera-Fernandez e Garrido (2002) argumentam que a cobrança em cada uso consistirá na aplicação dos seguintes elementos: (i) o preço pelo uso da água, o qual pode ser fundamentado em qualquer uma das múltiplas metodologias alternativas de preços disponíveis, sugerindo-se que, sempre que possível, adote-se a metodologia de preços ótimos, por apresentar muitas vantagens em relação às demais; (ii) a base de cálculo, que quantifica o volume de água utilizado ou o fator de poluição a ser tratado; e (iii) os coeficientes de ponderação, os quais dependem de alguma forma, dos parâmetros de eficiência econômica, equidade social, redistribuição de renda ou preservação ambiental, objetivando tornar a cobrança pelo uso da água socialmente mais justa.

A quantidade de água captada ou utilizada e a carga de poluente diluída, elementos que formam a base de cálculo da cobrança, serão avaliadas considerando-se as informações levantadas pelo próprio comitê de bacia, baseadas nos volumes de água outorgados e efetivamente consumidos, nos níveis de produção das unidades industriais bem como nas informações fornecidas pelos próprios usuários.

A experiência internacional e as propostas brasileiras para a cobrança pelo uso da água seguem o critério do usuário-pagador ou do poluidor-pagador. No entanto, os preços emanados dessas experiências, geralmente, não trazem nenhuma preocupação explícita com a alocação ótima dos recursos hídricos entre os múltiplos usuários do sistema. Com exceção da metodologia de preços-ótimos, utilizada para nortear os estudos de cobrança pelo uso da água nos estados da Bahia e Pernambuco, a formação de preços considerada nos demais estudos de cobrança, busca, em geral, financiar os custos e investimentos necessários para o setor de recursos hídricos, sem levar necessariamente a uma alocação eficiente dos recursos hídricos entre os múltiplos setores usuários capazes de minimizar os impactos negativos na economia.

### **3.5.3 - Metodologias utilizadas para cobrança**

Os estudos recentes têm seguido, basicamente, duas metodologias. Na primeira, os valores a serem cobrados dos diferentes setores são simulados analisando os impactos econômicos sobre cada setor, assim como os níveis de arrecadação, recuperação de custos e diferentes hipóteses de subsídios. Esse é o caso do sistema SACUA, desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Lanna, 2000). Essa

metodologia apresenta a vantagem de ser relativamente simples, constituindo uma ferramenta extremamente útil no processo de negociação da cobrança. No entanto, não leva em consideração critérios de eficiência, uma vez que não permite a avaliação do valor econômico da água para cada setor usuário, mas apenas o impacto da cobrança. A metodologia privilegia, desse modo, o caráter de “negociação” associado à cobrança, no âmbito de uma abordagem custo-efetividade (menor custo para se implantar programa de ações pactuado).

A segunda metodologia que tem sido empregada é baseada na determinação de preços ótimos, em função do custo marginal da água e das elasticidades-preço da demanda, para cada setor usuário (Carrera-Fernandez, 2000).

Carrera-Fernandez e Garrido (2002) afirmaram que a principal vantagem dessa metodologia é que ela dá uma indicação do valor econômico da água em cada uso, permitindo a consideração de critérios de eficiência, além de gerar uma alocação eficiente, tanto sob o ponto de vista econômico quanto distributivo. Entendem que a metodologia de cobrança com base nos preços ótimos é a única que atende aos quatro objetivos básicos que uma metodologia dessa natureza deveria ter, ou seja: (i) produz eficiência na alocação de recursos hídricos; (ii) internaliza os custos sociais; (iii) reflete o verdadeiro custo de oportunidade da água em cada uso; e (iv) assegura a auto-sustentabilidade financeira do sistema hídrico, ao gerar recursos suficientes para financiar o plano de investimento programado para a bacia.

Para cálculo das elasticidades, é necessário estimar curvas de demanda para todos os usos. Essa estimativa é realizada em função dos preços de reserva da água para cada uso, que correspondem aos custos adicionais a que os usuários terão de incorrer ao buscarem uma solução alternativa, na hipótese de interrupção do fornecimento a partir do manancial objeto da cobrança.

Carrera-Fernandez e Garrido (2002) citam que a metodologia de preços ótimos maximiza a diferença entre os benefícios e custos sociais e, ao mesmo tempo, minimiza os impactos distributivos na economia, não gerando ganhos nem perdas financeiras associadas com a política de preço igual ao custo marginal de curto prazo. Segundo os autores, essa política de preços não leva a economia a se afastar ainda mais da fronteira Pareto ótimo, tão

provável em uma política de preço igual ao custo marginal de longo prazo. Além disso, não cria ou amplia as distorções na utilização dos recursos hídricos, que é comumente associada com a política de preço igual ao custo médio.

Outro aspecto da política de preços ótimos pelo uso da água avaliado como positivo pelos autores é que, ao estabelecer preços diferenciados entre as várias bacias hidrográficas, ela funciona como sinalizador para os usuários na ocupação e desenvolvimento do território, na medida que orienta os investimentos produtivos para aquelas bacias com balanço hídrico favorável, assim como induz possíveis mudanças nos investimentos já existentes.

Seroa da Motta (1998) observa que, apesar do maior rigor teórico no aspecto econômico, as estimativas dos preços ótimos baseiam-se em hipóteses simplificadoras que, em princípio, não podem ser generalizadas.

Baltar (2001) observou que pouca atenção tem sido dispensada ao estudo de sistemas de apoio à decisão para avaliação econômica integrada de vários usos da água no contexto de uma bacia hidrográfica. De um modo geral, a maioria dos trabalhos, sobretudo internacional, está relacionada à avaliação de usos específicos da água em determinados setores. Alguns analisam perdas e ganhos (*trade-offs*) associados a alterações de alocação, geralmente entre dois usos específicos.

Pode-se resumir que, de modo geral, a avaliação da cobrança se dá a partir de (i) uma fundamentação de eficiência econômica, com respeito a objetivos de outra natureza (equidade, por exemplo), com recursos a análises do tipo benefício-custo e a técnicas de otimização ou (ii) uma fundamentação de negociação social, em que se busca a definição de um valor aceitável e suportável para cada usuário, sem consideração do princípio de eficiência econômica, valor esse associado à implementação de um programa de ações na bacia, a partir de abordagens do tipo custo-efetividade, com recursos a técnicas de simulação.

A Figura 3.3 mostra um resumo das diferentes metodologias de cobrança pelo uso da água, subdivididos em dois grupos: os modelos de otimização, fundamentados na teoria econômica, e os modelos *ad hoc*. O quadro foi construído com base na argumentação teórica apresentada por Carrera-Fernandez e Garrido (2002).

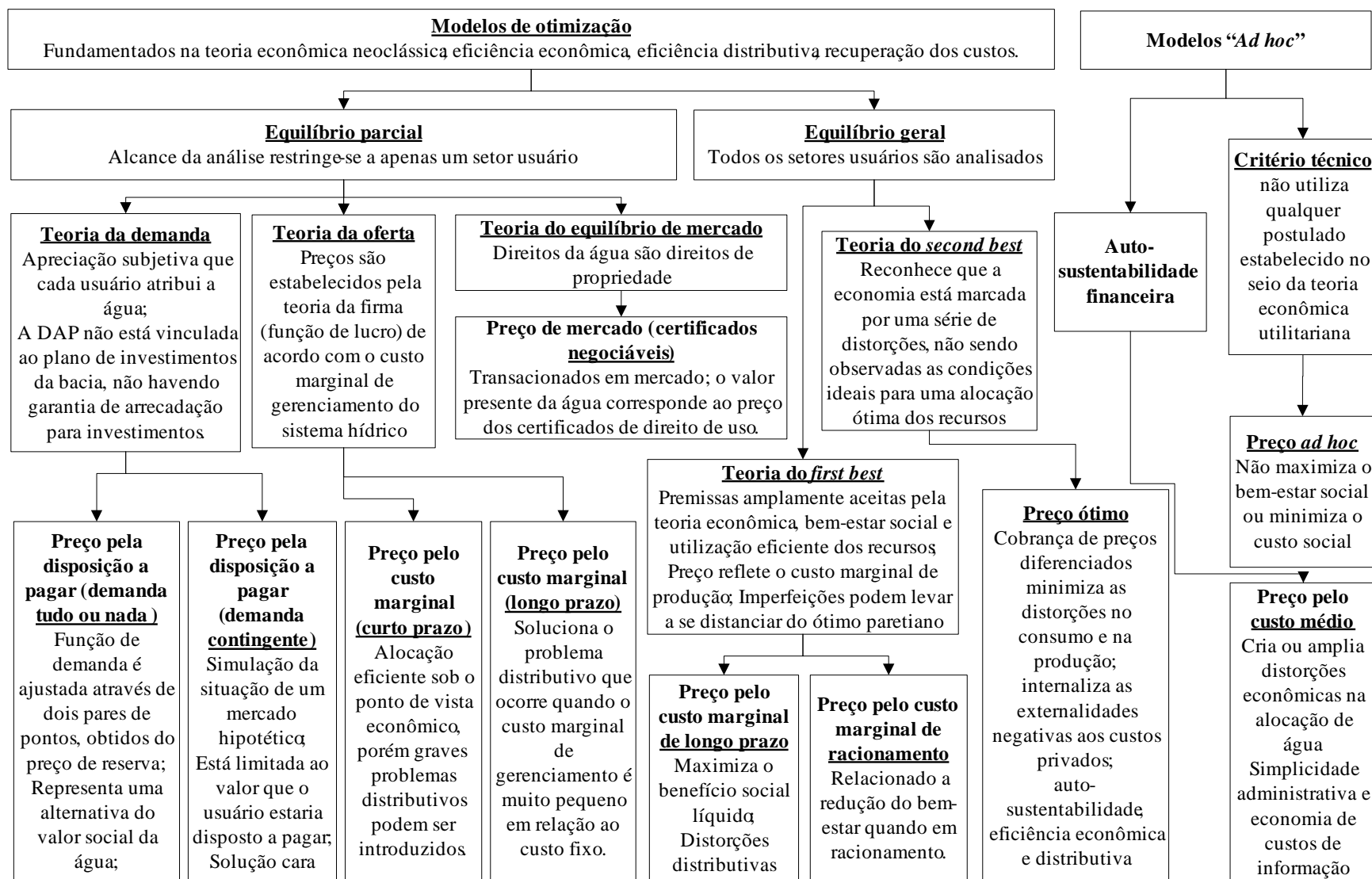


Figura 3.3 - Resumo das diferentes metodologias de cobrança pelo uso da água fundamentadas na teoria econômica (Carrera-Fernandez e Garrido, 2002)

### **3.5.4 - Enquadramento dos corpos d'água em classes de usos preponderantes**

O principal objetivo do enquadramento dos corpos d'água é assegurar às águas o nível de qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas. Como consequência direta desse objetivo, o enquadramento pode permitir a diminuição dos custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes.

Entretanto, segundo Canali (2000), a lei não se refere à recuperação de corpos d'água já degradados, o que em muitos casos deveria ser a prioridade. Essa aparente omissão legal, entretanto, não pode ser usada como justificativa para não se tomarem as medidas necessárias. Na realidade, o largo interesse social e os interesses econômicos dos usuários envolvidos na recuperação de um corpo d'água degradado são, inegavelmente, fatores que motivam essa recuperação.

Segundo afirma Leeuwestein (2000), trata-se de um instrumento de planejamento importante para garantir à água um nível de qualidade que pode assegurar os seus usos preponderantes. Sua aplicação acarreta consequências econômicas, sociais e ambientais, propiciando aos diferentes gestores de água uma ferramenta para assegurar a disponibilidade quantitativa e qualitativa da água em uma bacia hidrográfica. O enquadramento fortalece a relação entre a gestão dos recursos hídricos e a gestão ambiental, promovendo a proteção e a recuperação dos recursos hídricos.

A aceitação financeira para uma proposta de enquadramento está ligada aos custos para as medidas e intervenções necessárias ao alcance das metas estabelecidas pelo enquadramento. Leeuwestein (2000) observou que em nenhum caso de enquadramento, no Brasil, foram levados em consideração os custos associados à decisão de escolha das classes, e que isso favoreceu que a definição fosse feita com base em interesses circunstanciais setoriais corporativos. Ressaltou, também, que é importante que as alternativas de enquadramento sejam apresentadas à população que habita a bacia, justificando os investimentos necessários de cada alternativa e identificando as fontes de recursos associados. Devem ser ainda apresentados os valores a serem arrecadados de cada usuário como também, eventualmente, uma proposta para a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

Para essas análises de aceitação de uma proposta de enquadramento podem ser construídos gráficos que mostrem os custos e os benefícios, observando-se que para se obter um índice de 100% de redução de poluentes, os custos podem ser proibitivos. Sugere-se, assim, trabalhar na região em que as distâncias entre as curvas de custos e de benefícios sejam mais elevadas, desde que essa determinada emissão de poluentes esteja dentro dos limites aceitos pela legislação, ou dentro de limites estabelecidos no plano de uma bacia. Deve-se também analisar os gradientes das curvas. Um gradiente elevado na curva de benefícios indica que se deve avançar mais na busca de melhorias, enquanto o gradiente elevado na curva de custos mostra que o investimento só deverá ser realizado se a contrapartida de benefícios justificar esses custos maiores. A Figura 3.4 mostra um exemplo dessas curvas para um sistema de tratamento de esgoto em função do volume que se deseja tratar. A intersecção da curva de custos marginais com a curva de benefícios marginais é o ponto de maior diferença entre custos e benefícios, ou seja, o de maior benefício líquido.

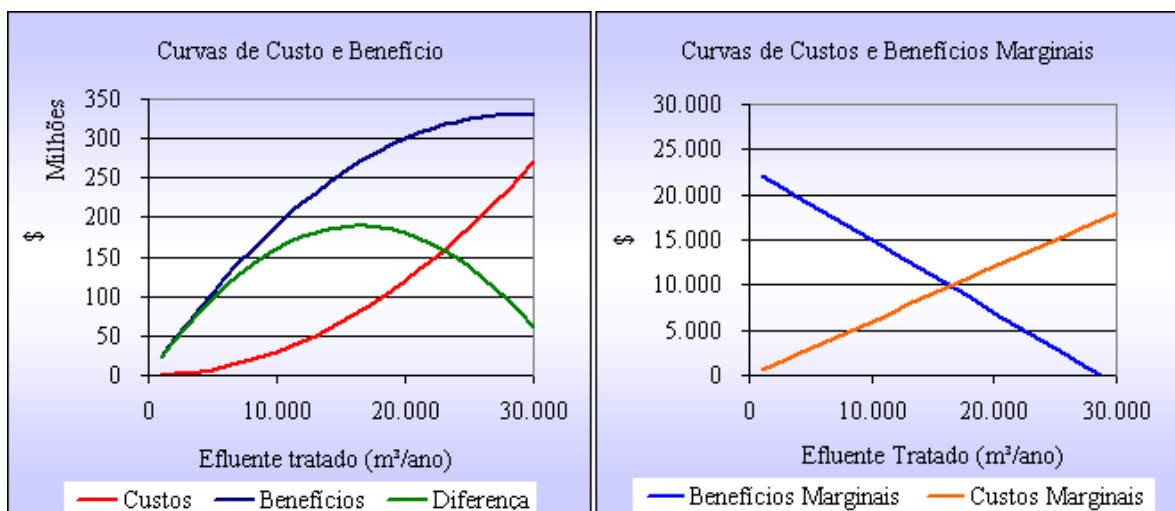


Figura 3.4 - Curvas de custos e benefícios e custos e benefícios marginais

O Comitê de Bacia Hidrográfica é a entidade responsável pela aprovação de propostas dos valores a serem cobrados pelo uso de recursos hídricos e do plano de aplicação dos recursos arrecadados. Os recursos para atingir as metas estabelecidas pelo enquadramento serão obtidos dos usuários de água e da sociedade civil. Pode-se esperar que os usuários de água optem por valores baixos para garantir que seus custos de produção não aumentem significativamente. A disponibilidade da sociedade civil de pagar pela água poderá ser maior porque essa tende a considerar objetivos ambientais e sociais, ou seja, tenderá a



pagar mais para garantir seu bem-estar. Para as demais entidades envolvidas no processo de enquadramento, os custos constituem-se em critério menos importante.

### **3.6 - SISTEMAS DE APOIO A DECISÕES**

Em um cenário de escassez de recursos, surgem conflitos de interesse e, conseqüentemente, disputas pelo seu uso, que tornam o sistema de recursos hídricos ainda mais complexo e difícil de ser administrado. As decisões devem considerar aspectos hidrológicos, ambientais, econômicos, políticos e sociais, que variam no tempo e no espaço, influenciando as condições de ocorrência e uso da água.

Nos últimos tempos, tem-se verificado a participação de diversos grupos no processo decisório, que possibilitam a negociação de conflitos de interesse e a obtenção de soluções compartilhadas. Essa participação aumenta a transparência e a credibilidade do processo decisório, fortalece a fiscalização e a cobrança para efetivação das decisões tomadas, além de promover conscientização da população. Naturalmente, aparecem maiores dificuldades em virtude do número elevado de agentes envolvidos (*stakeholders* ou decisores), e da diversidade de perspectivas e interesses a serem considerados.

A metodologia genericamente conhecida por Sistemas de Suporte a Decisões (SSD) ou Sistemas de Apoio a Decisões (SAD) é uma ferramenta de auxílio à tomada de decisões, baseada na intensa utilização de bases de dados e modelos matemáticos e, também, na facilidade com que propicia o diálogo entre o usuário e o computador. Essa metodologia vem sendo aplicada, com sucesso, a diversos campos da atividade humana em que o problema da decisão é muito complexo, como é o caso do gerenciamento e do planejamento de sistemas de recursos hídricos.

Nandalal e Simonovic (2002) entendem que um sistema de suporte a decisões é visto como uma ferramenta com a função de analisar o gerenciamento e o desenvolvimento de alternativas em projetos de recursos hídricos. Isso torna o processo de tomada de decisão mais transparente e eficiente, o que irá ajudar na redução de futuros conflitos entre os agentes. Afirmam, também, que uma definição aceitável para sistema de suporte à decisão, no contexto do gerenciamento de recursos hídricos é: “Um Sistema de Suporte a Decisão permite ao tomador de decisão combinar julgamento pessoal com dados de saída do

computador, numa interface usuário-máquina, que resultem em informações significativas que auxiliem num processo de tomada de decisão. Tais sistemas são capazes de auxiliar na solução de todos os problemas (estruturados, semi-estruturados e não-estruturados) usando toda a informação disponível. (...) Eles são parte integrante da abordagem de identificação e solução do problema”.

Em geral, os problemas relacionados com recursos hídricos são classificados como de gerenciamento e planejamento. O gerenciamento trata das questões relacionadas ao equilíbrio entre demanda e disponibilidade de água, da mediação dos conflitos pelos múltiplos usos da água e de seus aspectos administrativos e legais. O planejamento trata da busca de alternativas para satisfazer o suprimento futuro de água, assim como do desenvolvimento de métodos que tornem a alocação dos recursos hídricos mais eficiente, considerando as limitações impostas pelo ambiente (LABSID, 2004).

De qualquer forma, a análise de sistemas hídricos com vistas ao gerenciamento ou ao planejamento dos recursos hídricos da bacia deve ser feita levando-se em conta as características de disponibilidade de água, as demandas, as estruturas hidráulicas existentes, os lançamentos de resíduos domésticos e industriais e a capacidade de diluição e autodepuração dos rios, de maneira integrada. A necessidade de operar todo esse conjunto hídrico, considerando os usos conflitantes da água, torna a análise extremamente complexa. Assim, o uso de técnicas de modelagem, simulação, otimização e manipulação de dados são úteis para auxiliar a tomada de decisão. Essas técnicas normalmente usam algoritmos matemáticos específicos e requerem a assistência de ferramentas de modelagem computacional para resolução.

Dessa forma, os Sistemas de Suporte a Decisões são sistemas computacionais que têm por objetivo ajudar indivíduos que tomam decisões na solução de problemas não-estruturados (ou parcialmente estruturados). Problemas não estruturados são aqueles para os quais não existem soluções a partir de algoritmos bem definidos, o que ocasiona não serem facilmente tratáveis por computador. Em conseqüência, a solução desses problemas exige uma estreita interação entre homem e máquina, fato que constitui uma das principais características dos SSD (Roberto *et al.*, 1997).

Um Sistema de Apoio a Decisões deve ser colocado à disposição de um usuário para auxiliá-lo a dispor de informações, a identificar e a formular problemas, a conceber e a analisar alternativas e, finalmente, ajudá-lo na escolha do melhor curso de ação. Em outros termos, a finalidade de um SAD não é tomar decisões, mas auxiliar a missão de decidir. Roberto *et al.* (1997) apresentam os SSD usualmente estruturados em 4 módulos: base de modelos, base de dados, base de conhecimentos e módulo de diálogo.

A Base de Modelos é, geralmente, constituída por modelos matemáticos que reproduzem o comportamento do sistema real, permitem analisar cenários alternativos (modelos de simulação) e ajudam o usuário a encontrar dimensões ou políticas ótimas (modelos de otimização).

A Base de Dados, além de conter informações significativas sobre o sistema em questão, deve permitir relacioná-las entre si e recuperá-las com facilidade e rapidez. Esse módulo deve, também, alimentar a Base de Modelos com os dados necessários.

A Base de Conhecimentos permite incorporar ao sistema informações que geralmente não são passíveis de tratamento pelos módulos anteriores, mas que são indispensáveis para a tomada de decisões sobre o sistema em estudo. Tipicamente, esses conhecimentos referem-se à experiência de especialistas, a conhecimentos empíricos e a disposições de normas e regulamentos.

Baltar (2001) ressalta que o surgimento dos chamados sistemas especialistas contribuiu para a valorização, por parte de profissionais de desenvolvimento de modelos, do elemento de diálogo dos sistemas e modelos por eles concebidos. No seu entendimento, isso se deveu ao reconhecimento da importância de incorporar os conhecimentos do usuário no processo de busca de uma solução para os problemas analisados. Esse fato promove uma aproximação entre os responsáveis pela elaboração dos sistemas computacionais e seus futuros usuários, responsáveis pelas decisões a serem tomadas.

O Módulo de Diálogo é constituído por interfaces que facilitam a comunicação entre o usuário e o computador para fornecimento de dados, propor problemas, formular cenários e analisar resultados. Esse módulo facilita a participação de todos os envolvidos, não

somente os técnicos, no processo de avaliação e tomada de decisões. Os módulos básicos e suas interações são apresentados na Figura 3.5.

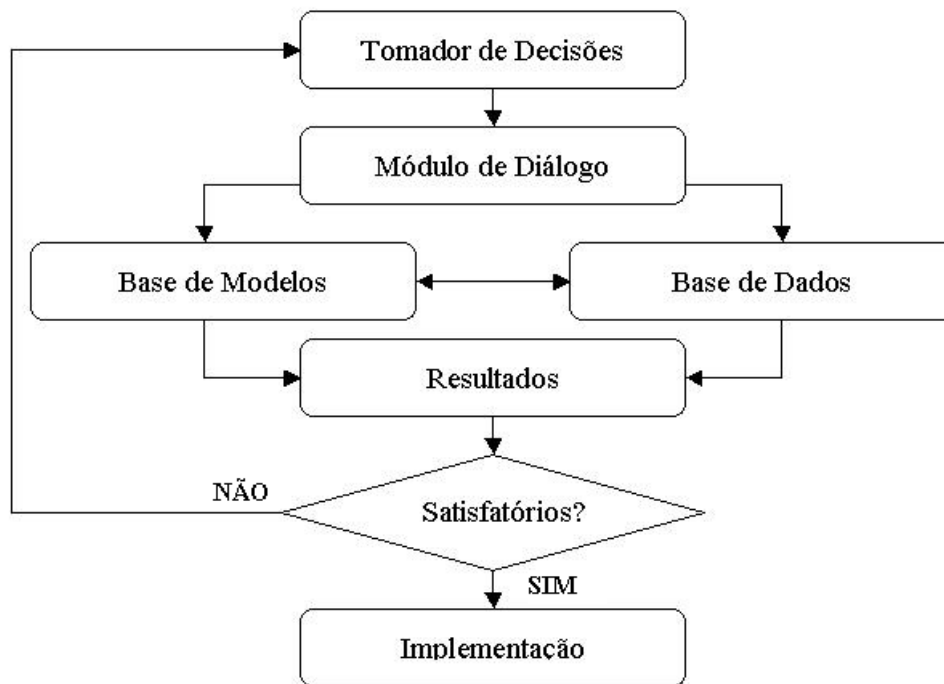


Figura 3.5 - Estrutura típica de um Sistema de Suporte a Decisões (LABSID, 2004)

A tecnologia hoje disponível permite que se desenvolvam Sistemas de Suporte a Decisões poderosos, utilizando somente modelos e programas aplicativos já disponíveis no mercado, grande parte deles de domínio público ou de baixo custo. Esse fato diminui, consideravelmente, a necessidade de trabalho para desenvolver novos modelos e permite concentrar esforços na integração dos módulos, na aquisição de informações e conhecimentos sobre os sistemas e, principalmente, no relacionamento do SSD com o decisor e, de forma mais geral, com a sociedade (Roberto, 2002).

### 3.6.1 - Modelos de Rede de Fluxo

Basicamente, existem duas classes de modelos utilizadas na análise de sistemas de recursos hídricos: otimização e simulação. Na primeira, os vários aspectos do projeto são considerados analiticamente em uma função-objetivo (geralmente econômica ou financeira), que é maximizada ou minimizada, a depender do caso, sujeita a determinadas restrições. Os modelos visam a buscar soluções ótimas, ou famílias de soluções ótimas, em geral obtidas por meio de técnicas como programação linear, programação não-linear e

programação dinâmica. Já nos modelos de simulação, não existe a preocupação de encontrar a melhor solução, mas sim analisar cenários alternativos e verificar o comportamento do sistema (Braga *et al.*, 1998).

Os modelos de simulação são fáceis de entender e, por essa razão, são amplamente aceitos por altos níveis gerenciais, geralmente constituídos por não-especialistas e, até mesmo, por leigos. Por essas e outras razões, essa classe de modelos é, com certeza, a mais amplamente utilizada na análise de sistemas de recursos hídricos (Roberto e Porto, 1999).

Entretanto, os modelos de simulação são incapazes de encontrar os valores das variáveis de decisão que otimizem os critérios formulados pelo usuário, o que constitui o ponto fraco da técnica.

Com o rápido desenvolvimento dos computadores, as dificuldades de cálculo que existiam na aplicação de modelos de simulação em recursos hídricos vêm sendo superadas. Os modelos de simulação atuais são extremamente flexíveis, detalhados e representam os sistemas em estudo com alto grau de fidelidade, conforme observam Roberto e Porto (1999).

Os modelos descritivos ou de simulação são particularmente atrativos para fornecer as respostas e a performance do sistema de recursos hídricos diante de diversas estratégias operacionais (Labadie, 1998). Além disso, fornecem a resposta do sistema para diversos dados de entrada fornecidos, incluindo regras de decisão e permitem ao decisor examinar as conseqüências de vários cenários de um sistema existente ou de um novo sistema a ser implementado (Yeh, 1985).

Nos últimos anos, a tendência tem sido incorporar esquemas de otimização aos modelos de simulação e tem-se tornado comum ter algumas rotinas de otimização nos modelos de simulação. Como resultado, a distinção freqüentemente feita entre simulação e otimização tende a desaparecer. É desejável que o modelo de simulação tenha alguma capacidade de otimização para reduzir a quantidade de cálculos realizada até a obtenção do ótimo.

A grande vantagem que os modelos de rede de fluxo apresentam (MRF) é a eficiência com que combinam simulação e otimização, e não na simples existência dessa combinação,

que, também, pode ocorrer em outros tipos de modelo. Essa família de modelos é bastante utilizada na análise de sistemas de recursos hídricos de elevada complexidade, onde a água pode ser alocada de diferentes formas, contemplando distintos usos, a partir de fontes diversas. O sistema é representado por um conjunto de nós (pontos de controle e de balanço) e de arcos (por onde transitam fluxos).

Além da vantagem apresentada, os MRFs apresentam outras características que tornam atrativa a sua utilização na análise de sistemas de recursos hídricos, conforme apresentam Azevedo *et al.* (1997):

- na grande maioria dos casos pode-se representar um sistema de recursos hídricos de forma adequada, realista, flexível e bastante clara como uma rede composta de nós e arcos;
- os modelos de rede de fluxo possuem a flexibilidade característica dos modelos de simulação, podendo assim representar o comportamento de um sistema de recursos hídricos de forma bastante completa;
- modelos de rede de fluxo incluem também algoritmos de otimização que minimizam o custo total da rede, ou seja, determinam os fluxos em todos os arcos de tal forma que a somatória dos custos em toda a rede seja mínima.

Embora modelos de rede de fluxo sejam extremamente vantajosos, eles apresentam limitações. Os algoritmos de rede de fluxo otimizam apenas sistemas lineares, uma vez que a aplicação de técnicas não-lineares demandaria complexos desenvolvimentos, com eventuais ganhos em resultados que poderiam ser pouco satisfatórios. A função-objetivo é pré-definida e, portanto, não pode ser fácil e livremente especificada pelo usuário. (LABSID, 2004)

Esses algoritmos admitem também apenas dois tipos de restrições: as que determinam a conservação do balanço de massa em cada nó e as que determinam os limites de capacidade em cada arco. Como os sistemas de recursos hídricos costumam apresentar restrições operacionais específicas, em alguns casos pode haver necessidade de adoção de artifícios para que seja obtida uma representação adequada (Roberto e Porto, 1999).

Nesse tipo de modelo, como salientado, o sistema de recursos hídricos é representado por um conjunto de nós e arcos, formando uma rede de fluxo que traduz, de forma bastante clara, seus principais componentes e interações possíveis (Labadie, 1988). Os nós representam reservatórios, demandas, confluências, derivações, pontos de controle e outros pontos importantes do sistema. Os arcos possibilitam a conexão entre os nós e representam canais, trechos de rio, adutoras e outras estruturas semelhantes (Azevedo *et al.*, 1997).

O fluxo da água na rede é condicionado a duas restrições básicas: (i) a existência de um limite inferior e outro superior para o fluxo em cada arco, e (ii) a manutenção do balanço de massa em cada nó.

As características imputadas a cada nó do sistema estão relacionadas ao tipo de componente que esse nó representa. Para um reservatório, por exemplo, devem ser fornecidas informações quanto à curva cota-área-volume, vazões afluentes, níveis máximos e mínimos admitidos, taxas de evaporação, entre outras.

Cada arco, por sua vez, é caracterizado pelos limites inferior e superior de vazão a ele associados e por um custo aplicado a cada unidade de fluxo que nele transita. Esses custos não necessariamente possuem significado monetário ou econômico, podendo ser expressos na forma de fatores de ponderação adimensionais (pseudo-custos) que refletem um determinado sistema de prioridades, baseado, por exemplo, em uma estrutura de direitos de uso da água ou, simplesmente, em preferências manifestadas pelo usuário. Seus valores podem ser positivos ou negativos. Os primeiros são utilizados quando se deseja penalizar uma determinada ação e os últimos, no caso contrário, em que à ação é concedido um prêmio, caracterizando um benefício a ela associado.

Labadie e Sullivan (1986) *apud* Baltar (2001) ressaltam, entretanto, a necessidade de concentrar esforços no sentido de considerar os aspectos econômicos nesses modelos, permitindo a valoração econômica da alocação da água.

A possibilidade de atribuir custos ou prioridades às vazões que transitam em cada arco confere aos MRFs a vantagem de poder incluir algoritmos de otimização, que permitem minimizar o custo total da rede, fazendo com que os fluxos em cada arco sejam definidos de tal forma que o somatório de todos os custos seja mínimo. Essa capacidade é apontada

por Labadie (1988) e por Azevedo *et al.* (1997) como uma das principais vantagens dos MRFs.

Outra vantagem destacada por esses autores está associada ao fato de os modelos de rede possuírem a flexibilidade típica dos modelos de simulação, podendo, assim, representar o comportamento de sistemas de recursos hídricos de forma bastante completa. Segundo Azevedo *et al.* (1997), “as características de flexibilidade e adaptabilidade são quase que integralmente preservadas nos MRFs, ao mesmo tempo que o algoritmo de otimização libera o usuário dos trabalhosos e ineficientes processos de tentativa e erro”. Esses autores ressaltam, ainda, que essa elevada flexibilidade tem possibilitado o uso dos MRFs para modelar interações entre águas superficiais e subterrâneas e, em modelos mais recentes, para considerar aspectos de produção hidroenergética e de qualidade da água.

### 3.6.2 - MODSIM e o Módulo de Análise Econômica

O MODSIM (Labadie, 1988) é, essencialmente, um modelo de simulação em rede de fluxo que realiza uma otimização em cada intervalo de tempo considerado, utilizando o algoritmo *out-of-kilter* para determinar qual a alocação de vazões que conduz a um mínimo custo em toda rede. Trata-se de um algoritmo de programação linear primal-dual que foi desenvolvido especialmente para a solução eficiente de problemas de minimização de custos em redes de fluxo.

Uma vez configurada a rede para um determinado sistema de recursos hídricos, o algoritmo *out-of-kilter* é aplicado seqüencialmente para cada intervalo de tempo, para resolver o seguinte problema de otimização (LABSID, 2004):

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_{ij}(q_{ij}) \cdot q_{ij} \quad (3.1)$$

onde:

$q_{ij}$  = a vazão média entre o nó  $i$  e o nó  $j$  durante o intervalo de tempo.

$c_{ij}(q_{ij})$  = custo unitário associado à vazão  $q_{ij}$ , que pode ser um custo monetário ou um fator de ponderação que represente direitos de uso da água ou prioridades operacionais (um custo negativo é tratado como um benefício ou prioridade).



A resolução do algoritmo está sujeita a:

- a) satisfação do balanço de massa em todos os nós  $j = 1, 2, \dots, N$  (inclusive os nós artificiais)

$$\sum_{i \in I_j} q_{ij} - \sum_{k \in O_j} q_{jk} = 0 \quad (3.2)$$

onde:

$I_j$  = conjunto de todos os nós com arcos que terminam no nó  $j$ .

$O_j$  = conjunto de todos os nós com arcos que se originam no nó  $j$ .

- b) vazão mínima em todos os arcos  $(i,j)$

$$q_{ij} \geq L_{ij}(q_{ij}) \quad (3.3)$$

para todos os arcos  $(i, j)$  onde:

$L_{ij}(q_{ij})$  = a vazão mínima no arco  $(i,j)$

- c) a vazão máxima em todos os arcos  $(i,j)$

$$q_{ij} \leq U_{ij}(q_{ij}) \quad (3.4)$$

para todos os arcos  $(i, j)$ , onde:

$U_{ij}(q_{ij})$  = vazão máxima no arco  $(i,j)$ .

A otimização é executada a cada período, de forma seqüencial, e não por um processo plenamente dinâmico, de forma que não se garante o ótimo global para um período de “n” intervalos à frente. A otimização determinística plenamente dinâmica supõe o conhecimento prévio das vazões afluentes nos períodos futuros (Azevedo *et al.*, 1997).

O Modsim-P32 foi desenvolvido no formato típico de um sistema de suporte a decisões, ou seja, estão presentes em sua estrutura um módulo de diálogo, uma base de dados e uma base de modelos, que, no presente caso, é constituída apenas pelo ModSim. O módulo de diálogo permite que toda topologia do problema em estudo seja formulada apenas com a utilização do *mouse* e de uma série de figuras (que representam reservatórios, demandas, importações, nós de passagem e *links*). Ao se acionar o botão da direita do *mouse* sobre cada uma das figuras, tem-se acesso à base de dados da estrutura representada pela figura acionada. Após a execução do programa, os resultados podem ser consultados em forma tabular ou gráfica. Os dados e resultados podem ser facilmente exportados para planilhas eletrônicas e processadores de texto, utilizando-se as funções específicas do Windows. Da mesma forma, os dados de entrada podem ser importados de planilhas (Roberto, 2002).

Diversas adaptações foram realizadas no modelo. Em função das modificações na interface gráfica e no sistema de gerenciamento de dados, a versão brasileira do modelo passou a ser denominada de Acquanet. O sistema funciona com uma estrutura modular, incorporando modelos matemáticos desenvolvidos para analisar diferentes problemas relacionados ao aproveitamento de recursos hídricos. Essa estrutura modular é constituída, atualmente, pelo módulo básico, o próprio Acquanet, e dos módulos utilizados para cálculos de alocação de água, avaliação da qualidade da água, determinação de alocação de água para irrigação, produção de energia elétrica e consideração de valores econômicos nas decisões de alocação.

O ModSimP32-E (Baltar, 2001) constitui-se no módulo de avaliação econômica que foi incorporado ao MODSIMP32, somando aos recursos já existentes nessa interface outros que permitem uma análise de eficiência na alocação da água. O módulo foi programado em linguagem Microsoft Visual Basic 6.0<sup>©</sup>.

O módulo de análise econômica tem como principal objetivo distribuir as vazões entre os nós existentes na rede de forma a maximizar o benefício econômico. A consideração do valor econômico associado aos diversos usos da água na bacia é feita a partir de valores únicos de benefício ou por meio da utilização de curvas de benefícios marginais. Esses valores/curvas podem ser fornecidos para cada uso da água. As curvas de benefício marginal devem relacionar valores econômicos marginais com quantidades de água alocada para cada uso (ex. curvas de demanda, curvas de valor do produto marginal da

água). O comportamento econômico da demanda por água é bastante variável e, portanto, pode ser necessário determinar uma forma da curva de acordo com o tipo de demanda. Devido às variações sazonais, pode ser necessária a utilização de mais de uma curva para um mesmo uso.

No módulo de análise econômica, os benefícios são transformados em custos nos arcos por onde passa a água destinada a manutenção dos volumes-meta e atendimento das demandas. O custo total de um arco varia linearmente com o fluxo transportado, ou seja, o custo por unidade de fluxo que percorre o arco é constante. Como a curva de benefício marginal a ser representada é, normalmente, não-linear, o módulo de análise econômica aproxima a mesma por segmentos de reta. Cada um desses segmentos é representado por um novo arco, com valores próprios de capacidade mínima, capacidade máxima e custo. Uma das grandes dificuldades do módulo de análise econômica está em conseguir atribuir um valor monetário aos diversos usos da água (LABSID, 2004).

### **3.6.3 - O Acquanet**

O MODSIM tem sido um dos focos de pesquisa do Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões da Escola Politécnica da USP (LABSID), na área de desenvolvimento de técnicas de análise de sistemas de recursos hídricos. O seu uso nos mais variados sistemas de recursos hídricos e nas mais diversificadas regiões do país, indica que o modelo constitui-se em uma ferramenta extremamente útil na análise de alocação da água em bacias com problemas complexos (Vieira Junior *et al.*, 2003).

Uma das principais características do modelo de alocação é o fato de que o mesmo incorpora, automaticamente, uma série de funções que são comuns na simulação de bacias hidrográficas, sem que o usuário tenha de se preocupar em programá-las.

O sistema fornece subsídios para gerar planos operacionais a fim de satisfazer metas, prioridades e limitações específicas. Pode, também, ser utilizado para avaliar compensações entre usos conflitantes durante diferentes períodos de disponibilidade deficiente de água, verificar níveis de atendimento às demandas e regras de operação de reservatórios.

Além de ser um instrumento de gerenciamento, o SAD Acquanet também pode ser utilizado no planejamento e na análise do impacto de propostas alternativas para implantação de projetos de aproveitamento de recursos hídricos.

O Acquanet foi utilizado na avaliação da disponibilidade hídrica para abastecimento da região metropolitana de São Paulo (Porto e Castro, 2003). A Região Metropolitana de São Paulo está localizada na cabeceira da bacia do Alto Tietê. O estudo partiu da premissa segundo a qual os recursos hídricos existentes na região são insuficientes para o abastecimento público dos 18 milhões de habitantes e os demais usos da água. Para realizar tal abastecimento, o sistema requer reversões de bacias vizinhas, levando a situações de conflito pelo uso da água. A partir da utilização do Acquanet, o estudo apresenta a disponibilidade hídrica na região, avalia a integração entre os sistemas produtores existentes e propõe alternativas operacionais, com o intuito de minimização desses conflitos.

Outra importante aplicação do Acquanet, em um sistema complexo e de grande porte, pode ser verificada na avaliação das demandas e ofertas hídricas na bacia do rio São Francisco (ANA, 2004). O Acquanet foi utilizado no apoio técnico ao plano decenal de recursos hídricos (PBHSF), no que se refere à alocação de água. Para tanto, foi elaborada metodologia que aborda aspectos de disponibilidade hídrica, atendimento às demandas consuntivas e não consuntivas, incluindo a manutenção de ecossistemas, procedimentos de alocação de água entre regiões e Estados da bacia e verificações de atendimento às demandas. Como resultados, foram estimadas ofertas e demandas hídricas que possibilitaram a construção de uma proposta de alocação de água a ser discutida pelo Comitê de Bacia, cujo atendimento às demandas foi verificado por meio de simulações do sistema hídrico. O processo foi efetuado em três fases: determinação da vazão máxima alocável na bacia, distribuição da vazão máxima alocável entre as áreas de contribuição e trechos e distribuição das vazões alocadas entre potenciais consumidores (estados). A vazão máxima alocável é aquela que atende aos consumos em todos os cenários e situações simuladas em que as vazões remanescentes em todas as áreas de contribuição e trechos, sejam superiores às vazões de restrição. A Figura 3.6 mostra a rede de fluxo usada nas simulações do PBHSF.

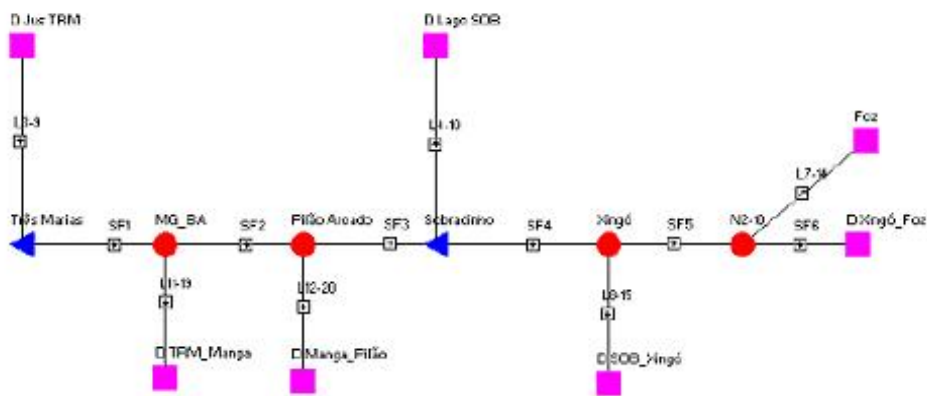


Figura 3.6 - Topologia do sistema hídrico usada nas simulações do PBHSF

Uma aplicação que demonstra a ampla aceitação do modelo Acquanet foi realizada no estudo de desenvolvimento de um sistema para analisar problemas de alocação de água em bacias hidrográficas complexas pelo método dos pontos interiores (Vieira Junior *et al.*, 2003). O trabalho apresenta um sistema para analisar problemas de alocação de água. A otimização é feita de forma global, com uso de um aplicativo de programação linear baseado no método dos pontos interiores. A metodologia do uso do sistema consiste em se obter uma solução “ótima” para situações de disponibilidade de água insuficiente para todos os usos conflitantes na bacia. O Acquanet foi utilizado para avaliar a eficiência do modelo, por meio da comparação dos resultados de um e de outro.

### 3.6.4 - Sistemas de Apoio a Decisão de Outorga

Nos meios técnicos e acadêmicos brasileiros, há um consenso quanto à importância da outorga de direitos de uso da água como instrumento essencial para a adequada implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos. Como discutido anteriormente, a clara definição de direitos de uso da água é fundamental para o bom funcionamento de qualquer sistema de gerenciamento de recursos hídricos.

Porém, a implementação de um sistema de outorga é uma tarefa complexa, que demanda informação, recursos humanos adequados e instituições sólidas. Como frisam Porto *et al.* (2003), as decisões tomadas quanto à outorga de direitos de uso da água determinam o seu padrão de uso e sua alocação setorial, tendo, assim, conseqüências ambientais, sociais e econômicas que precisam ser cuidadosamente avaliadas antes que as decisões sejam

tomadas. Mas, para que esses aspectos possam ser avaliados, é necessário antes entender o sistema físico de recursos hídricos, levando em consideração as características da bacia hidrográfica, o comportamento hidrológico na área e as diferentes possibilidades de operação das infra-estruturas hídricas.

Um estudo financiado pelo Banco Mundial em 2001 (Porto *et al.*, 2003) avaliou as iniciativas de seis estados brasileiros na tentativa de implementar a utilização de ferramentas de suporte à decisão para outorga. Assim, com relação à outorga, objetivou-se caracterizar o contexto e o ambiente decisório da prática de outorga em cada um dos estados, avaliando a situação legal, quadro institucional, equipe de outorga, critérios de outorga, vazão de referência, informação técnica de base, fiscalização, aspectos de qualidade da água e a outorga de águas subterrâneas. Em relação ao apoio à decisão para outorga, esse estudo avaliou os instrumentos de apoio à decisão, controle administrativo de processos, recursos de análise, grau de automação de tarefas e envolvimento da equipe de outorga.

A complexidade da outorga advém, de um lado, da própria natureza dos recursos hídricos, com seus usos e atributos múltiplos em um quadro de ocorrência estocástica e demandas crescentes, e, do outro, do contexto em que se insere seu gerenciamento, envolvendo interesses conflitantes e os mais distintos atores, desde os órgãos públicos gestores e entidades da sociedade civil até os usuários finais da água.

Nesse contexto de elevada complexidade, os sistemas de apoio a decisões podem auxiliar na compreensão do comportamento dos sistemas de recursos hídricos. Com isso, pode-se analisar um número maior de alternativas, conhecer melhor os problemas e suas possíveis soluções e avaliar de modo mais preciso as conseqüências das decisões. No Brasil, o uso de ferramentas de apoio a decisões na área de recursos hídricos tem-se difundido rapidamente.

A Constituição Federal de 1988 determinou a competência da União para instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e para definir critérios de outorga de direitos de seu uso, fato que ocorreu a partir da Lei 9.433, de 08/01/1997.

É prática comum no Brasil a adoção de um critério único para a outorga de uso da água. Assim, excetuando São Paulo e Pernambuco, os outros estados pesquisados adotam formalmente um critério único de vazão máxima outorgável como percentual de um determinado valor de referência.

Conforme afirmam Porto *et al.* (2003), no caso de São Paulo, os parâmetros e critérios devem ser definidos por bacia de acordo com o seu plano diretor, mas os técnicos, informalmente, utilizam como referência (máximo outorgável) o valor de 50% da  $Q_{7,10}$  (vazão mínima com sete dias de duração e tempo de retorno de 10 anos).

O Estado do Paraná, atualmente, adota um valor único de referência, mas um novo decreto, em vias de aprovação, regulamentando a outorga, flexibiliza a fixação de critérios, que serão definidos em um manual técnico a ser elaborado. Em alguns estados, há uma determinação legal de envolvimento de comitês de bacias hidrográficas na definição e na proposição de critérios, mas isso ainda não tem ocorrido de maneira efetiva.

Nos Estados do Nordeste, prevalece a vazão de referência associada a um determinado nível de garantia, em geral, a vazão com 90% de permanência. Nos Estados do Sul e Sudeste, prevalece o critério associado às vazões mínimas, sobretudo a  $Q_{7,10}$ .

A adoção de critérios únicos facilita o aspecto operacional do sistema de outorga e dá maior segurança ao gestor dos recursos hídricos, pois os limites outorgáveis são relativamente baixos e portanto facilmente garantidos. Essa prática, no entanto, quando aplicada em bacias com uso muito intensivo dos recursos hídricos, tende a não funcionar, pois os limites de outorga impõem forte restrição ao uso da água, com importantes repercussões socioeconômicas. Nesses casos, é essencial que haja um plano para a bacia, definindo os critérios a serem adotados de modo a alcançar objetivos pactuados entre todos os atores envolvidos (poder público, sociedade civil e usuários da água).

Em resumo, a existência de critérios distintos entre Estados é natural e reflete as diferenças regionais, físicas e climáticas entre eles. Por outro lado, deve-se ter clareza quanto ao porquê do estabelecimento de tais critérios, de forma que esses sejam de fato condizentes com as realidades locais.

## **4 - METODOLOGIA**

O desenvolvimento deste trabalho para o alcance dos objetivos previstos compreendeu, basicamente, quatro etapas distintas: i) a revisão bibliográfica, ii) a formulação dos diagramas de análise do modelo, iii) teste e avaliação da integração ao SAD, com aplicação à bacia do lago Descoberto e iv) avaliação dos resultados.

### **4.1 - LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO**

Para o desenvolvimento da integração proposta, foi fundamental o estudo dos referenciais teóricos acerca do tema. Nesse sentido, a formulação dessa integração foi iniciada a partir de uma pesquisa bibliográfica que focou três temas julgados pertinentes para o desenvolvimento do estudo: i) economia do meio ambiente e do bem-estar social, com enfoque em recursos hídricos e na avaliação econômica e financeira dos usos da água, ii) avaliação de sistema de apoio a decisão, em especial do Acquanet e algumas aplicações, e, iii) levantamento de dados e caracterização do sistema de recursos hídricos utilizado para teste e aplicação das formulações propostas, a bacia do lago Descoberto.

Para o primeiro tema levantado, desejou-se aprofundar o estudo de aspectos teóricos e práticos da mensuração do valor econômico da água e da cobrança pelo seu uso. Da mesma forma, objetivou-se avaliar de que forma análise econômica e análise financeira têm sido utilizadas na adoção dos instrumentos de gestão da água no mundo.

Já, para o segundo tema, foi realizado um levantamento dos SADs usualmente utilizados para a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, cobrança pelo uso e enquadramento dos corpos d'água em classes, com o objetivo de demonstrar as alternativas existentes e as razões para a escolha do modelo de alocação de vazões. Foi realizado um estudo de modelos de simulação em rede de fluxo, em particular do MODSIM (Labadie, 1988) e sua base teórica, bem como do Acquanet (LABSID, 2004). Foi realizada pesquisa para levantamento da utilização do Acquanet, para caracterização do uso da ferramenta no cenário brasileiro. Publicações e anais dos congressos e encontros científicos da área foram fonte principal de referência.



O resultado dessas atividades e a integração desses dois temas possibilitaram a identificação dos princípios fundamentais que nortearam a concepção do desenvolvimento dos diagramas, de modo a alcançar os objetivos do estudo.

O último item foi dedicado à caracterização da bacia do lago Descoberto, utilizada para teste e aplicação dos diagramas de análise. O levantamento de informações acerca desse sistema serviu a duas finalidades, que é a própria realização do teste da metodologia proposta, tendo, também, auxiliado na concepção, nas definições, no desenvolvimento, e nas condições de uso dos diagramas propostos. No entanto, desejou-se evitar que essa etapa de caracterização de um sistema e conseqüente aplicação diminuísse a abrangência do objeto proposto ao torná-lo específico demais.

De forma a complementar à revisão bibliográfica, foram consultados pesquisadores da rede de pesquisa a que este projeto de pesquisa está integrado. A metodologia proposta foi apresentada na reunião dessa rede, realizada em João Pessoa/PB, em novembro de 2005. Essa consulta pôde auxiliar a identificar outras possíveis utilizações, formulações e testes do protótipo.

#### **4.2 - DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO**

A segunda etapa foi a de desenvolvimento do protótipo (aqui entendido como o conjunto de diagramas), ou seja, das interfaces que serão utilizadas no SAD de cobrança, outorga e enquadramento, que propiciaram a integração de análise econômica e financeira na tomada de decisão. O desenvolvimento teve como base teórica os estudos realizados na etapa da revisão bibliográfica e o conseqüente estabelecimento dos fundamentos do protótipo.

No protótipo desenvolvido, os diagramas referentes aos instrumentos de gestão seguiram a mesma lógica. O Acquanet gera matrizes com valores de vazões remanescentes e alocadas nos nós e arcos que são transformadas, por coeficientes econômicos presentes em matrizes de conversão, em custos e benefícios econômicos ou financeiros associados a uma decisão de alocação. O resultado da transformação é um conjunto de novas matrizes com custos e benefícios que poderão ser utilizados para construção de indicadores normalmente utilizados na economia, como taxas internas de retorno de investimento, benefício líquido,

custos marginais de racionamento e de longo prazo, e razão benefício/custo. Os resultados também podem ser visualizados graficamente, em função das vazões alocadas.

Porém, cada um dos instrumentos de gestão que se contemplou no estudo foi trabalhado de maneira diversa, em virtude das suas características, conseqüências econômicas ou financeiras advindas de uma decisão de alocação e do período da análise empreendida. Isso significa que, para cada instrumento (cobrança, outorga e enquadramento), houve, ao menos, um conjunto de matrizes de coeficientes econômicos e rotinas de cálculo. Assim, definido qual o objetivo da análise a ser realizada pelo usuário, dentre outorga, cobrança ou enquadramento, define-se qual o procedimento e o conjunto de matrizes de coeficientes econômicos que serão utilizados.

As análises econômicas e financeiras são feitas a partir da observância a fluxogramas construídos, em que há definição de procedimentos de cálculo, utilizando-se as planilhas de resultados das simulações. Após a validação dos fluxogramas, seguiu-se a fase de desenvolvimento do protótipo em ambiente Excel, desenvolvimento esse baseado na utilização das ferramentas existentes no aplicativo, como macros, por meio de programação em Microsoft Visual Basic<sup>®</sup>.

#### **4.2.1 - Cobrança pelo uso de recursos hídricos**

A análise de cobrança pelos usos dos recursos hídricos, apesar de ser, de fato, um instrumento estratégico no planejamento e gestão de uma bacia, pode ser encarada como um procedimento tático. Isso ocorre em função do objetivo associado ao caráter de curto prazo da tomada de decisão: simula-se a cobrança com vistas a avaliar a capacidade arrecadatória da bacia para financiar etapas de um Plano. Além disso, a análise da cobrança pode ter caráter eminentemente financeiro, evidenciado pela arrecadação direta de recursos financeiros pela compensação por uso de recursos ambientais. Pode, também, ter caráter econômico, ao considerar preços-ótimos em sua formulação.

A análise poderá ocorrer, por exemplo, pela atribuição de um valor monetário para valores de vazões a serem alocadas para cada tipo de uso. Poderá ser associado a cada tipo de uso um valor diferenciado, de acordo com a capacidade de pagamento do setor usuário ou do

retorno econômico advindo desse uso. Um dos possíveis resultados de uma análise realizada pelo módulo é a receita potencial de uma bacia.

A partir de conceitos desenvolvidos pela economia dos recursos hídricos, procedeu-se à formulação do protótipo, considerando técnicas para a formação de preços a serem cobrados pela utilização de recursos hídricos. As metodologias para formação de preços são apresentadas no item 5.2.

De outra forma, os coeficientes financeiros para análise da cobrança, das matrizes de coeficientes econômicos podem ser definidos em função de valores normalmente praticados no país, como os casos da bacia do rio Paraíba do Sul e do Piracicaba, Capivari e Jundiá, e estados do Ceará e Rio de Janeiro.

#### **4.2.2 - Outorga de direitos de uso de recursos hídricos**

O instrumento de outorga de direito de usos dos recursos hídricos, por suas características, deve privilegiar a dimensão econômica, uma vez que o poder concedente deve levar em consideração, em primeiro lugar, os interesses da coletividade. As conseqüências, desejadas de uma tomada de decisão em relação a uma outorga podem ser consideradas, assim, em um prazo mais longo. Em uma escala temporal do planejamento e gestão dos recursos hídricos, a outorga pode, então, ser considerada um instrumento de planejamento e gestão de médio prazo. É, portanto, coerente com o prazo normalmente associado à concessão de outorga, que é de menos de dez anos para a maioria das outorgas, à exceção de abastecimento público e de geração de energia hidrelétrica.

Como explicitado anteriormente, a utilização de um critério único de outorga, nos moldes como é utilizado hoje, não traz garantia de eficiência econômica. A matriz de conversão para esse instrumento transforma séries de vazões retiradas e remanescentes em custos e benefícios econômicos. A diferentes níveis de garantia são, então, associados os benefícios econômicos advindos da utilização do recurso.

Para essa análise, comparam-se cenários. O primeiro cenário avalia a situação existente, definida como a situação de referência. Os outros cenários avaliam custos e benefícios associados a situações hipotéticas: alterações nos usos da água já disponível, como o

incremento da agricultura irrigada em uma bacia ou abastecimento doméstico de um novo núcleo urbano; ou, o aumento da capacidade de reservação de obras hidráulicas que permitam o incremento da disponibilidade hídrica de uma região e sua conseqüente utilização. A variação dos benefícios dos cenários hipotéticos e da situação de referência são comparados aos custos das alocações de vazões necessárias somados aos custos do projeto.

Os coeficientes econômicos das matrizes associados aos custos e benefícios podem ser definidos para cada bacia. Na pesquisa em questão, esses coeficientes foram obtidos na literatura como em Baltar (2001) e Carramaschi (2000).

#### **4.2.3 - Enquadramento dos corpos de água em classes**

O enquadramento dos corpos de água em classes é o instrumento de gestão presente na Política Nacional de Recursos Hídricos cujo alcance da aplicação e das conseqüências, socioeconômicas e ambientais é de mais longo prazo. O instrumento privilegia a dimensão econômica e se aproxima do caráter de planejamento estratégico. Além disso, o processo de enquadramento é, por princípio, participativo para possibilitar a incorporação de interesses da sociedade, legitimando as metas estabelecidas.

Para a análise do enquadramento, a exemplo da outorga, trabalha-se com cenários para fins comparativos. Assim, as matrizes de coeficientes econômicos são formadas pela atribuição de valores econômicos às vazões alocadas e remanescentes de uma possível alteração da classe de um corpo de água. Ou seja, definir, por exemplo, qual o impacto econômico causado em uma bacia por uma alteração da classe de um rio, que limitaria as vazões outorgáveis para se manter uma vazão para diluição.

Em contrapartida, pode-se estimar os benefícios econômicos gerados por incrementos nas vazões alocáveis possibilitados por intervenções, como tratamento de esgotos, que permitam manter a classe de um rio, mesmo com maiores retiradas, ou permite adequar os parâmetros de qualidade da água à determinada classe de enquadramento.

Os coeficientes econômicos das matrizes podem ser os mesmos daqueles utilizados na análise da outorga, ou incorporar outros coeficientes obtidos na literatura e em avaliações

*ad hoc*. No caso da análise do enquadramento, deve-se levar em consideração os custos de eventuais intervenções, especialmente por se trabalhar com avaliações de longo prazo, que podem estender-se por mais de 20 anos.

Enquanto cobrança é um instrumento a ser proposto pela agência de bacia e a outorga é exercida pelo poder concedente, com eventual participação de um comitê de bacia, o enquadramento é um instrumento próprio de definição do comitê de bacias. Dessa forma, observa-se a necessidade de uma interface “amigável” que facilite o processo de tomada de decisão no âmbito desse comitê, uma vez que um comitê é composto por representantes de diversos entes sociais e não apenas por técnicos e especialistas de recursos hídricos.

### **4.3 - TESTE E AVALIAÇÃO**

A terceira etapa foi dedicada ao teste e à avaliação do modelo desenvolvido e proposto. Escolheu-se a bacia do lago Descoberto no Distrito Federal, como caso de estudo, por apresentar importante função estratégica, em virtude do abastecimento humano, e econômica, especialmente oriunda da irrigação e do abastecimento.

Após o desenvolvimento do protótipo, testou-se a sua aplicabilidade. Os resultados gerados pelo teste auxiliaram na identificação da necessidade de revisão dos procedimentos de cálculo, rearranjo do fluxograma e reformulações no protótipo. Observa-se o fato de que a aplicação do protótipo serve mais à avaliação do potencial de aplicabilidade do que a uma utilização prática a partir dos resultados obtidos.

Assim, de forma concomitante à pesquisa bibliográfica, procedeu-se à caracterização da área de estudo. Foram obtidos dados sobre as demandas, informações hidrológicas, características do reservatório, aspectos econômicos, e outras informações que se mostrarem pertinentes no decorrer do estudo. Em se tratando da bacia de drenagem do lago Descoberto, foram consultadas instituições que trabalham com esses dados, em especial da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Caesb). Essas informações são parte da base de dados a ser utilizada no teste do protótipo.

#### 4.4 - SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS

A última etapa foi caracterizada pela definição de cenários que permitiram diversas aplicações e simulações utilizando o modelo proposto, seguido de análise desses cenários e da avaliação dos resultados obtidos.

A metodologia empregada nesta pesquisa é apresentada, esquematicamente, na Figura 4.1.

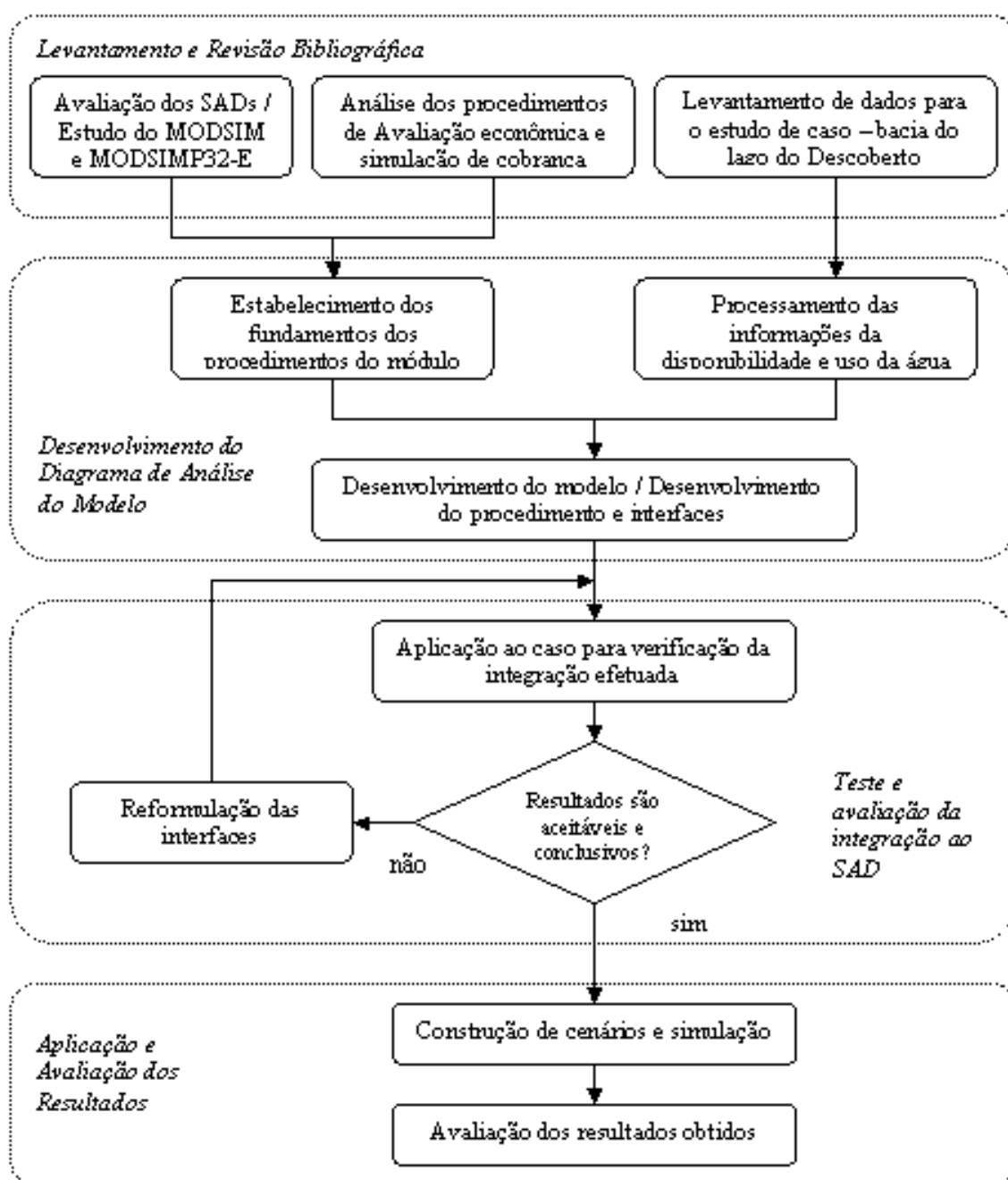


Figura 4.1 - Representação esquemática da metodologia

## 5 - O SISTEMA DE APOIO A DECISÃO

### 5.1 - CONCEPÇÃO E FUNDAMENTOS

O sistema objeto desta dissertação foi desenvolvido como um aplicativo para o Acquanet, SAD desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, que permite incorporar a avaliação econômica e financeira e os instrumentos de gestão, cobrança, outorga e enquadramento a uma tomada de decisão de alocação.

O Acquanet utiliza o MODSIM (Labadie, 1988) como modelo de alocação de água, com recursos de análise que aumentam sua capacidade de auxiliar no processo de tomada de decisões em sistemas de recursos hídricos de elevada complexidade.

A base do sistema proposto é a seguinte:

Para uma determinada simulação do Acquanet, o resultado pode ser expresso por uma matriz composta por valores de:

$Q_{ijk}$  = vazão derivada para um determinado uso “i” no nó “j” no período “k” (em m<sup>3</sup>/s)

Considera-se que um dos usos seria a vazão remanescente a jusante no nó. Ter-se-ia, assim, uma matriz de dimensão (i x j) x k.

Para cada um desses valores, estaria associado um coeficiente monetário, como a seguir:

$C_{ijk}$  = coeficiente monetário relativo ao uso “i” do nó “j” no período “k” (em \$/(m<sup>3</sup>/s)).

Se  $C_{ijk} > 0$ , ter-se-ia um ganho;

Se  $C_{ijk} < 0$ , ter-se-ia um custo;

Se  $C_{ijk} = 0$ , a derivação não tem expressão monetária.

O coeficiente monetário poderia variar, também, em função da análise que se pretende promover, econômica ou financeira, ou do tipo de instrumento que se está adotando, cobrança, outorga ou enquadramento.

Desse modo, para cada tipo de análise, poder-se-ia dispor também, de uma matriz de coeficientes monetários, de dimensão  $(i \times j) \times k$ . A expressão monetária de uma derivação pode ser expressa, assim, pela seguinte relação:

$$E_{ijk} = Q_{ijk} \times C_{ijk} \quad (5.1)$$

Supondo uma simulação anual, com um passo de tempo mensal, com  $k = 1, 2, 3, \dots, 12$ . A expressão monetária no período de um ano de uma derivação no nó “j” seria, assim, expressa por:

$$E_{ij} = \sum_{k=1}^{12} Q_{ijk} \times C_{ijk} \quad (5.2)$$

A obtenção dos diferentes  $E_{ij}$  é o maior insumo para uma análise econômica ou financeira de uma decisão de cobrança, outorga ou enquadramento.

Dependendo do tipo de análise, outros insumos serão necessários para se completar a análise, tais como investimentos, custos operacionais ou perdas pelo não-atendimento.

Os componentes do sistema são descritos nos itens seguintes.

## **5.2 - COBRANÇA PELO USO DE RECURSOS HÍDRICOS**

Para a análise da cobrança, os coeficientes monetários podem ser adotados, em um primeiro momento, em função de valores normalmente praticados no país, como os casos da bacia do rio Paraíba do Sul e das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, e estados do Ceará, e Rio de Janeiro, ou pela determinação de preços ótimos calculados em função do plano de investimentos na bacia e na capacidade de pagamento dos usuários.



Além das informações necessárias para execução do MODSIM, tais como, vazões afluentes, curvas cota-área-volume, volumes-meta dos reservatórios, demandas e respectivas prioridades, o usuário do sistema precisará fornecer dados financeiros ou econômicos das demandas e, eventualmente, dos planos de investimento para o sistema a ser analisado.

O cálculo da receita potencial calculada a partir dos preços ótimos é feito a partir do plano de investimentos da bacia, e, por essa razão, pode ser considerada uma avaliação de “custo do cenário”. Determina-se, a partir desse plano de investimento, qual o valor a ser cobrado, em \$/m<sup>3</sup>, para cada uso da água, que seja capaz de amortizar os investimentos e cobrir os custos anuais.

A política de preços ótimos pelo uso da água é fundamentada no custo de gerenciamento dos recursos hídricos e nas elasticidades-preço de demanda por água nas várias modalidades de uso, e impõe ao sistema de gestão de recursos hídricos da bacia um comportamento gerencial auto-sustentável, no sentido de não haver perdas ou ganhos financeiros com essa atividade. A formulação proposta para cálculo dos preços ótimos baseia-se na teoria apresentada por Carrera-Fernandez e Garrido (2002).

Os preços-ótimos pelo uso da água em um sistema de bacia hidrográfica são determinados a partir da solução do seguinte sistema de equações:

$$p_j^* = \frac{(CMg_j \cdot |\varepsilon_j|)}{(|\varepsilon_j| - \alpha)}, \forall j \quad (5.3)$$

$$\sum_j p_j \cdot x_j - C = 0 \quad (5.4)$$

onde:  $p_j^*$  é o preço ótimo da água na modalidade de uso  $j$ ,  $x_j$  é a respectiva quantidade de água demandada do sistema hídrico após os investimentos programados terem sido feitos,  $CMg_j$  é o custo marginal de gerenciamento no uso  $j$ ,  $|\varepsilon_j|$  é a elasticidade-preço da demanda por água no uso  $j$ , em valor absoluto,  $C$  é o custo total da entidade ou órgão gestor no gerenciamento da bacia, que inclui a amortização dos investimentos planejados para expandir a quantidade e melhorar a qualidade da água na bacia, e  $\alpha$  é uma constante de

proporcionalidade que reflete a diferença relativa entre benefícios e custos marginais, a ser determinada.

A equação 5.4 é a que restringe o sistema de gestão da bacia a não apresentar perdas ou ganhos financeiros no gerenciamento dos recursos hídricos. A política de preços ótimos minimiza as distorções na alocação dos recursos da água entre seus vários usuários, ou seja, cobrando preços diferenciados, de tal modo, que as distorções na utilização dos recursos hídricos sejam minimizadas.

Na metodologia de preços ótimos, a variação percentual de preço em relação ao custo marginal é inversamente proporcional à elasticidade-preço da demanda. Dessa forma, quanto menor for a elasticidade-preço, maior deverá ser seu preço em relação ao custo marginal e vice-versa. Isso significa que a cobrança de preços diferenciados minimiza as distorções no consumo e na produção, em relação aos seus níveis socialmente ótimos. Além de internalizar aos custos privados as externalidades negativas, o sistema de preços ótimos considera os três princípios econômicos básicos: eficiência econômica, equidade distributiva e auto-sustentabilidade ao gerar recursos suficientes para financiar o plano de investimento programado para a bacia.

Nesse ponto, é oportuno uma maior discussão da teoria das curvas de demanda “tudo ou nada”, em virtude dessa metodologia ser utilizada no protótipo para cálculo de preços a serem cobrados pelo uso de água bruta. Carrera-Fernandez e Garrido (2002) demonstraram que a função de demanda ordinária por água pode ser obtida a partir da derivada da função de demanda tudo ou nada. A Figura 5.1 mostra as funções de demanda marshalliana e tudo ou nada.

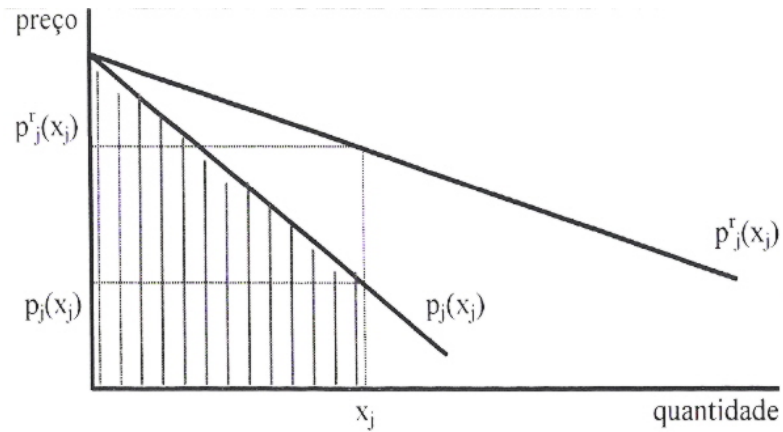


Figura 5.1 - Funções de demanda marshalliana e tudo ou nada (Carrera-Fernandez e Garrido, 2002)

Considerando a Figura 5.1, a função de demanda ordinária no uso  $j$  é definida como:

$$p_j = p_j(x_j), \text{ com } \frac{\partial p_j(x_j)}{\partial x_j} < 0 \quad (5.5)$$

onde:  $x_j$  é a quantidade demandada de água no uso  $j$ ;  $p_j$ , o preço.

A altura da curva de demanda ordinária em qualquer ponto representa a disposição a pagar, que reflete o máximo valor que um usuário da água no uso  $j$  estaria disposto a pagar por uma dada quantidade  $x_j$  de água nesse uso. Com base nessa mesma curva de demanda, o conceito de preço de reserva  $p_j^r$  é definido por:

$$p_j^r(x_j) = \frac{1}{x_j} \int_0^{x_j} p_j(x_j) dx_j \quad (5.6)$$

O preço de reserva corresponde à altura da curva de demanda tudo ou nada. Assim, o máximo valor que o usuário da água no uso  $j$  estaria disposto a pagar e permanecer indiferente entre pagar e ter a água disponível para o uso ou não tê-la corresponde à área hachurada abaixo da curva de demanda. Derivando-se a curva de demanda tudo ou nada (eq. 5.6) em relação a  $x_j$ , obtém-se a curva de demanda ordinária:

$$\frac{\partial [p_j^r(x_j) \cdot x_j]}{\partial x_j} = p_j(x_j) \quad (5.7)$$

A função de demanda ordinária  $p_j(x_j)$  é a curva marginal da função de demanda tudo ou nada,  $p_j^r(x_j)$ , de modo que, ao se estimar uma, pode-se obter automaticamente a outra.

A função de demanda tudo ou nada é ajustada por meio de dois pares de pontos, obtidos a partir da quantificação do preço de reserva ou custo de oportunidade da água em cada uso. Desse modo, a função de demanda ordinária por água pode ser obtida a partir da derivada da função de demanda tudo ou nada. Apesar de a função de demanda tudo ou nada ser definida a partir dos pares de pontos, entende-se que esse segmento seja um trecho de uma parábola do tipo  $y = ax^2 + bx + c$ . Ou seja, do mesmo modo, ao se derivar a função tudo ou nada, a função de demanda ordinária será a equação de uma reta do tipo  $y = 2ax + b$ .

O preço de reserva é o máximo valor que os usuários estariam dispostos a pagar e ficarem indiferentes entre continuarem a consumir a água do manancial em questão ou buscarem uma alternativa menos custosa, e pode ser estimado a partir de uma simulação (ou situação hipotética), na qual se interrompe a oferta do recurso para um uso, fazendo com que os usuários procurem uma alternativa. Para cálculo dos preços de reserva nas principais modalidades de uso, são utilizadas as equações listadas a seguir:

#### Abastecimento Humano

$$p_{ah}^r = (1 + \gamma_p) \cdot c_p - (1 + \gamma_m) \cdot c_m \quad (5.8)$$

onde:  $c_p$  é o custo médio de cada metro cúbico de água captada de poços artesianos (ou carro-pipa),  $c_m$  é o custo médio de água captada do manancial em questão para abastecimento, e  $\gamma_i$ ,  $\forall i = p, m$ , é a perda de água no abastecimento em cada uma das alternativas.

#### Abastecimento industrial

$$p_{ai}^r = C_{cp} - (1 + \gamma_m) \cdot c_m \quad (5.9)$$

onde:  $c_{cp}$  é o custo médio da água para abastecimento industrial por meio de carro-pipa,  $c_m$  é o custo médio de água captada do manancial para uso industrial, e  $\gamma_m$  é a perda no abastecimento industrial com captação do manancial em questão.

### Irrigação

$$p^r_i = (t_i - t_s) \cdot S_i / x_i \quad (5.10)$$

onde:  $x_i$  é o volume anual de água captada do manancial para irrigação,  $S_i$  é a área total irrigada com água desse manancial por unidade de tempo,  $t_i$  é o preço da terra irrigada por unidade de área e  $t_s$  é o preço da terra em sequeiro por unidade de área

### Geração de energia elétrica

$$p^r_e = (q_e / x_e) (c_t - c_h) \quad (5.11)$$

onde:  $x_e$  é o volume de água por unidade de tempo requerido para geração de energia elétrica,  $q_e$  é a capacidade instalada de energia elétrica da central hidrelétrica em questão,  $c_h$  é o custos de geração de 1mW de energia elétrica pela central, e  $c_t$  é o custo de geração de 1mW de energia por meio de usina térmica ou de um motor a diesel.

### Diluição de esgotamento sanitário

$$p^r_{es} = \Delta c_t / X_{DBO} \quad (5.12)$$

onde:  $\Delta c_t$  é o valor que a sociedade teria de desembolsar para construir um sistema de tratamento de esgoto sanitário, e  $X_{DBO}$  é a carga orgânica potencial dos efluentes industriais.

### Diluição de efluentes industriais

$$p^r_{ei} = (c_r - c) / y_{DBO} = \Delta c_t / X_{DBO} \quad (5.13)$$

onde  $c$  e  $c_r$  são os custos de produção por unidade física com a tecnologia atual e com a construção de sistemas de tratamento dos efluentes, de modo que  $\Delta c_t = c_r - c$  é o acréscimo no custo de produção ao se usar a tecnologia mais cara, que reduz a carga orgânica, e  $X_{DBO}$  é a carga orgânica potencial dos efluentes industriais.

Apresentam-se, a seguir, as formulações para os cálculos dos parâmetros do sistema de equações representado pelas equações 5.3 e 5.4, para determinação do custo total do

gerenciamento da bacia (C), do custo marginal de gerenciamento (CM<sub>g</sub>) e das elasticidades-preço das demandas (ε<sub>j</sub>).

- Custo total da entidade ou órgão gestor no gerenciamento da bacia (C)

Para o cálculo do custo total da entidade ou órgão gestor no gerenciamento da bacia, necessita-se de que se faça a entrada dos dados do plano de investimentos, dos custos anuais de operação, taxa de juros e horizonte do plano de investimento (Figura 5.2).

CUSTOS MARGINAIS DE LONGO PRAZO		
PLANO DE INVESTIMENTOS		
ITEM	UNID.	VALOR
ELEVAÇÃO DA COTA DA BARRAGEM	(\$)	6.871.951
INDENIZAÇÃO DE TERRAS ALAGADAS	(\$)	4.000.000
SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUAS LINDAS	(\$)	
RECUPERAÇÃO DE RESERVATÓRIOS	(\$)	8.000.000
CONSTRUÇÃO DA ETE ÁGUAS LINDAS	(\$)	95.000.000
AMPLIAÇÃO DA CAPACIDADE DE TRATAMENTO DA ETE SAMAMBAIA	(\$)	10.000.000
INVESTIMENTOS EM GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS	(\$)	500.000
CUSTOS ANUAIS DE OPERAÇÃO E GERENCIAMENTO DA BACIA (CUSTOS DE OPERAÇÃO DA AGÊNCIA DE ÁGUAS)	(\$)	350.000
PORCENTAGEM RELACIONADA À EXPANSÃO NA OFERTA DE RECURSOS HÍDRICOS	%	70,0%
PORCENTAGEM RELACIONADA À MELHORIA DA QUALIDADE DA ÁGUA	%	30,0%
HORIZONTE DO PLANO DE INVESTIMENTOS	ANOS	25
TAXA DE JUROS ANUAL	%	12,0%
TOTAL DOS INVESTIMENTOS	(\$)	124.371.951
AMORTIZAÇÃO ANUAL DO CAPITAL INVESTIDO	(\$)	15.857.420
CUSTO ANUAL TOTAL DE GERENCIAMENTO DA BACIA HIDROGRÁFICA (AMORTIZAÇÃO + OPERAÇÃO + MANUTENÇÃO)	(\$)	16.207.420

Figura 5.2 - Entrada de dados do Plano de Investimentos da Bacia

- Custo Marginal de Gerenciamento (CM<sub>g</sub>)

Existem duas formas alternativas de se estimar o custo marginal no longo prazo. A primeira delas é a forma convencional (ou *incremental cost*), que corresponde ao custo adicional ao se expandir a oferta de água na bacia hidrográfica em um metro cúbico a mais desse recurso (independentemente do uso), ou o custo adicional que seria necessário para reduzir em uma unidade a carga orgânica ou concentração de poluentes nos recursos hídricos. Nesse caso, o custo marginal de longo prazo pode ser definido da seguinte forma:

$$CMg^{LP} = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{(I_t + R_t)}{(1 + \rho)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{x_t}{(1 + \rho)^t}} \quad (5.14)$$

onde:  $I_t$  é o investimento (ou amortização do investimento) no ano  $t$ ,  $R_t$  são os custos de operação e manutenção no ano  $t$ ,  $x_t$  é a captação incremental de água bruta ou redução da carga orgânica no ano  $t$ ,  $\rho$  é o custo de oportunidade do capital (ou taxa social de desconto) e  $T$  é o horizonte de planejamento.

O custeio do sistema hídrico deve incluir os custos de gestão propriamente dita, manutenção da infra-estrutura operacional, adicionados dos investimentos atuais e futuros necessários para garantir a oferta de água a todos os seus usuários múltiplos, além, é claro, de todos os investimentos necessários para a melhoria da qualidade das águas.

A Figura 5.3 mostra a planilha de resultados para o cálculo do custo marginal no longo prazo para a expansão da oferta de recursos hídricos e para a expansão do potencial de diluição.

DEMANDAS		
DEMANDA ATUAL - ANTES DOS INVESTIMENTOS PREVISTOS	(m <sup>3</sup> /s)	6,36
DEMANDA TOTAL PREVISTA DE ÁGUA APÓS INVESTIMENTOS	(m <sup>3</sup> /s)	9,31
DEMANDA TOTAL DE CARGA ORGÂNICA POTENCIAL PARA DILUIÇÃO NOS MANANCIAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA	(kgDBO/ano)	300.295
AUMENTO NA DEMANDA PARA DILUIÇÃO DE CARGA ORGÂNICA APÓS OS INVESTIMENTOS PROGRAMADOS	%	70,0%
CUSTO MÉDIO		
CUSTO MÉDIO DA OFERTA DE RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA	(\$/m <sup>3</sup> )	0,029
CUSTO MÉDIO DA DILUIÇÃO DE POLUENTES NA BACIA	(\$/m <sup>3</sup> )	0,071
CUSTO MARGINAL DE LONGO PRAZO		
CUSTO MARGINAL DE LONGO PRAZO DA EXPANSÃO DA OFERTA DE RECURSOS HÍDRICOS	(\$/m <sup>3</sup> )	0,091
CUSTO MARGINAL DE LONGO PRAZO DA EXPANSÃO DO POTENCIAL DE DILUIÇÃO	(\$/m <sup>3</sup> )	0,101

Figura 5.3 - Custo marginal de longo prazo

A segunda forma de avaliar o custo marginal é a partir do conceito de racionamento. O conceito alternativo de custo marginal de racionamento está fundamentado no fato de que nem sempre se pode satisfazer a demanda por água em uma ou mais modalidades de uso, o

que levaria, forçosamente, a um racionamento na utilização desse recurso, de modo que o consumo seria compulsoriamente reduzido em relação à demanda em condições normais.

A Figura 5.4 mostra a área correspondente à redução do bem-estar dos usuários ao serem racionados em  $x_j^0$  m<sup>3</sup> de água.

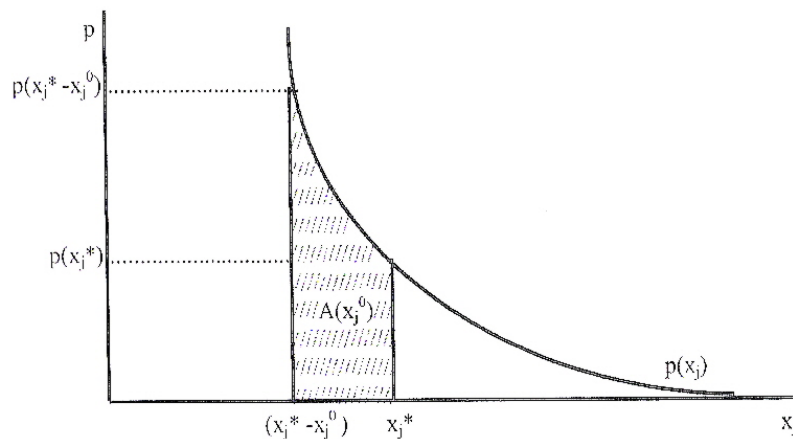


Figura 5.4 - Custo marginal de racionamento (Carrera-Fernandez e Garrido, 2002)

O cálculo do custo marginal de racionamento dos recursos hídricos  $x_j^0$ ,  $CMg^*$ , está fundamentado no custo operacional da unidade marginal,  $CMe$ , assim como na possibilidade de racionamento de água em certos períodos do ano (estação mais seca) em anos normais, ou mesmo durante todo tempo em anos atípicos. O custo marginal de racionamento pode ser definido por:

$$CMg^* = (1 - P)CMe + P \sum_j C(x_j^0) \quad (5.15)$$

onde:  $x_j^0$  é a quantidade de água racionada no uso  $j$  por unidade de tempo,  $C(x_j^0)$  é o custo de racionamento da água no uso  $j$  e  $P$  é a probabilidade média de racionamento de água em um mês qualquer. A partir da série de déficits no fornecimento gerada pelo Acquanet, calcula-se a probabilidade de racionamento de água em um mês qualquer ( $P$ ), como sendo a razão entre o número de meses com falhas no atendimento e o número total de meses da simulação.

O custo associado com o racionamento de  $x_j^0$  m<sup>3</sup> de água no uso  $j$  é avaliado com base na curva de demanda por água nesse uso, a partir do valor que o usuário sob racionamento



estaria disposto a pagar pelo consumo de um m<sup>3</sup> adicional de água e pode ser estimado a partir da equação:

$$C(x_j^0) = A(x_j^0)/x_j^0 = Pp(x_j^* - x_j^0) + (1 - P)p(x_j^*) \quad (5.16)$$

onde:  $p(x_j^*)$  é o valor da água fora do racionamento, avaliado com base na curva de demanda por água em cada uso, e  $p(x_j^* - x_j^0)$  é o valor da água no racionamento.

Portanto, para a estimativa do custo marginal utilizado no cálculo dos preços ótimos pela utilização da água, pode-se utilizar qualquer um dos conceitos alternativos apresentados anteriormente, o convencional (*incremental cost*) ou racionamento. Carrera-Fernandez e Garrido (2002) entendem que o conceito do custo marginal no racionamento expressa mais fielmente o custo social da água em cada modalidade de uso. Entretanto, neste trabalho, por se avaliarem alternativas que levam a decisões de investimento no médio ou longo prazo, preferiu-se trabalhar com o primeiro conceito apresentado.

- Elasticidades-preço das demandas ( $\epsilon_j$ )

Além do plano de investimento da bacia e custos de operação e gerenciamento, é necessário informar outros dados das demandas como preços de demandas e preços no racionamento, como apresentado na Figura 5.5.

ENTRADA DE DADOS PARA CÁLCULO DOS PREÇOS ÓTIMOS			
SISTEMA HÍDRICO		BACIA DO LAGO DESCOBERTO	
DADOS DAS DEMANDAS			
TIPOS DE USOS	DEMANDA	PREÇO DE DEMANDA	PREÇO NO RACIONAMENTO
ABASTECIMENTO URBANO <sup>(1)</sup>	4,78	0,244	1,366
ABASTECIMENTO INDUSTRIAL <sup>(1)</sup>			
IRRIGAÇÃO <sup>(1)</sup>	2,14	0,005	0,015
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA <sup>(1)</sup>			
DILUIÇÃO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO <sup>(2)</sup>	325.000	0,020	0,138
DILUIÇÃO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS <sup>(2)</sup>			
ECOLÓGICO <sup>(1)</sup>	0,73		

<sup>(1)</sup> em m<sup>3</sup>/s

<sup>(2)</sup> em kgDBO/dia

Figura 5.5 - Entrada de dados para cálculo dos preços ótimos

As estimativas das elasticidades-preço da demanda, parâmetros fundamentais para a determinação dos preços ótimos, podem ser obtidas com base nas demandas ordinárias geradas a partir do método da demanda tudo ou nada. É um método alternativo de estimar as funções de demanda por água bruta que, ao linearizar as funções, apresenta simplificações em relação à demanda contingente, podendo incorrer em perda de informações relevantes. Entretanto, é um método de estimativa mais barato e não apresenta possíveis distorções advindas das respostas dos entrevistados.

A Figura 5.6 apresenta a tela de entrada de dados para determinação das funções de demanda.

ELASTICIDADE-PREÇO DA DEMANDA				
<b>ABASTECIMENTO URBANO</b>		<b>VAZÕES DEMANDADAS</b>	<b>CUSTO MÉDIO</b>	<b>PERDAS</b>
		5,29	0,35	45,0%
1ª ALTERNATIVA	POÇO ARTESIANO	5,29	0,95	5,0%
2ª ALTERNATIVA	CARRO PIPA	3,37	4,37	0,0%
<b>ABASTECIMENTO INDUSTRIAL</b>				
1ª ALTERNATIVA				
2ª ALTERNATIVA				
<b>IRRIGAÇÃO</b>		<b>VAZÕES DEMANDADAS</b>	<b>CUSTO MÉDIO DA ÁREA</b>	<b>ÁREA IRRIGADA</b>
		0,60	1.500,00	-
ÁREA IRRIGADA		0,60	1.800,00	220,0
ÁREA SEM IRRIGAÇÃO		0,18	1.926,00	176,0
<b>DILUIÇÃO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO</b>		<b>VALOR COBRADO (\$/m³)</b>	<b>CONCENTRAÇÃO (kgDBO/m³)</b>	<b>VOLUME TRATADO (m³/dia)</b>
1ª ALTERNATIVA	TRAT. SECUNDÁRIO	0,65	17,0	243,0
2ª ALTERNATIVA	TRAT. TERCIÁRIO	INVESTIMENTO	HORIZONTE	TAXA DE JUROS
EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE DBO	85,0%	1.200.000	25	12,0%
<b>DILUIÇÃO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS</b>		<b>VALOR COBRADO (\$/m³)</b>	<b>CONCENTRAÇÃO (kgDBO/m³)</b>	<b>VOLUME TRATADO (m³/dia)</b>
1ª ALTERNATIVA	TRAT. SECUNDÁRIO	0,65	17,0	500,0
2ª ALTERNATIVA	TRAT. TERCIÁRIO	INVESTIMENTO	HORIZONTE	TAXA DE JUROS
EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE DBO	85,0%	1.200.000	25	12,0%
<b>GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA</b>		<b>VAZÕES DEMANDADAS</b>	<b>CUSTO MÉDIO</b>	<b>PORTÊNCIA INSTALADA</b>
1ª ALTERNATIVA				
2ª ALTERNATIVA				

Figura 5.6 - Entrada de dados para cálculo das elasticidades-preço da demanda

A Figura 5.7 mostra os preços de reserva das soluções menos e mais caras, as funções de demanda “tudo ou nada”, funções de demanda ordinária e elasticidades-preço das demandas.

DEMANDAS E PREÇOS DE RESERVA								
USOS	QUANTIDADE			PREÇO DE RESERVA				
		$x_1$	$x_2$	$p^r_1$	$p^r_2$			
ABASTECIMENTO URBANO	4,78	4,78	3,37	0,888	4,813			
ABASTECIMENTO INDUSTRIAL								
IRRIGAÇÃO	2,14	2,14	1,50	0,106	0,211			
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA								
DILUIÇÃO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	325.000	325000	48750	0,038	0,072			
DILUIÇÃO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS								
ECOLÓGICO	0,73							
FUNÇÕES DE DEMANDA E ELASTICIDADE-PREÇO DA DEMANDA								
FUNÇÕES DE DEMANDA "TUDO OU NADA"			FUNÇÕES DE DEMANDA ORDINÁRIA			$ e_i $		
$x_{ah} =$	5,099	-0,359	$\cdot p_{ah}$	$x_{ah} =$	5,099	-0,718	$\cdot p_{ah}$	0,13
$x_i =$	2,798	-6,142	$\cdot p_i$	$x_i =$	2,798	-12,284	$\cdot p_i$	0,61
$x_{es} =$	645099	-8322584	$\cdot p_{ei}$	$x_{ei} =$	645099	-16645167	$\cdot p_{ei}$	1,97

Figura 5.7 - Preços de reserva, funções de demanda e elasticidade-preço das demandas

As principais razões que conferem a esse conceito de demanda uma importância destacada no campo teórico são: i) a função de demanda ordinária ou marshalliana, como também é conhecida, é a curva marginal da função de demanda tudo ou nada, e obtém-se a demanda ordinária por um processo de derivação; ii) a demanda tudo ou nada se fundamenta no valor ou preço de reserva da água nas várias modalidades de uso, não necessitando que exista um mercado de água bruta que revele pares de preço-quantidade. O preço de reserva da água pode ser obtido pelo custo adicional que os usuários terão de incorrer para buscarem uma solução alternativa, ao se interromper, hipoteticamente, a utilização da água, e estarem indiferentes entre continuarem a consumir essa água ou buscarem a tal solução alternativa.

Conforme pode ser verificado na Figura 5.8, os preços ótimos das demandas são comparados com a capacidade de pagamento de cada setor. Se uma ou mais modalidades de uso tem esse limite atingido, adota-se o preço com restrição para essas e os outros preços são recalculados de forma a manter a receita potencial capaz de amortizar os investimentos e custos anuais.

PREÇOS DA ÁGUA POR MODALIDADE DE USO PARA A BACIA DO LAGO DESCOBERTO									
MODALIDADE DE USO	DEMANDA POR ÁGUA	PREÇO DE DEMANDA	PREÇO DE RESERVA		PREÇO ÓTIMO	\$/ano	LIMITE DA CAPAC. DE PAGAMENTO	PREÇO ADOTADO COM RESTRIÇÃO	
			INFERIOR	SUPERIOR				TIPO	VALOR
ABASTECIMENTO URBANO <sup>(1)</sup>	4,78	0,2440	0,8875	4,8125	0,0201	3.026.331	respeita	preço ótimo	0,0201
ABASTECIMENTO INDUSTRIAL <sup>(1)</sup>									
IRRIGAÇÃO <sup>(1)</sup>	2,14	0,0050	0,1065	0,2114	0,0512	3.464.507	respeita	preço ótimo	0,0512
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA <sup>(1)</sup>									
DILUIÇÃO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO <sup>(2)</sup>	325.000	0,0200	0,0385	0,0717	0,0819	9.716.582	extrapola	preço de reserva	0,0385
DILUIÇÃO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS <sup>(2)</sup>									
$\alpha = -0,469$		0	calcular 1		16.207.420				

PREÇOS ÓTIMOS COM RESTRIÇÃO DA CAPACIDADE DE PAGAMENTO					
MODALIDADE DE USO	PREÇO ÓTIMO		RECEITA POTENCIAL		INCREMENTO NO PREÇO ÓTIMO
			VALOR (R\$/ANO)	PARTICIPAÇÃO	
ABASTECIMENTO URBANO <sup>(1)</sup>	0,0442	preço ótimo	6.662.610	41,11%	120,15%
ABASTECIMENTO INDUSTRIAL <sup>(1)</sup>					
IRRIGAÇÃO <sup>(1)</sup>	0,0737	preço ótimo	4.982.310	30,74%	43,81%
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA <sup>(1)</sup>					
DILUIÇÃO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO <sup>(2)</sup>	0,0385	preço ótimo	4.562.500	28,15%	-53,04%
DILUIÇÃO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS <sup>(2)</sup>					
TOTAL			16.207.420	100,00%	
$\alpha = -0,140$		0	calcular 2		

Figura 5.8 - Preços ótimos para cada modalidade de uso

Assim, a Figura 5.9 mostra o resumo dos resultados obtidos para preços da água sem restrição e com restrição da capacidade de pagamento, as receitas potenciais médias mensais e anuais da bacia e o resultado do teste da capacidade de amortização.

PREÇOS DA ÁGUA POR MODALIDADE DE USO PARA A BACIA				RECEITA POTENCIAL DA BACIA		
PREÇOS ÓTIMOS	SEM RESTRIÇÃO	COM RESTRIÇÃO DA CAPACIDADE DE PAGAMENTO	REAJUSTE NO PREÇO ÓTIMO	MÉDIA MENSAL	MÉDIA ANUAL	DESVIO PADRÃO
MODALIDADE DE USO	(\$/m <sup>3</sup> )	(\$/m <sup>3</sup> )		(\$)	(\$)	(\$)
ABASTECIMENTO URBANO	0,020	0,044	46,87%	554.926	6.659.111	472.370
ABASTECIMENTO INDUSTRIAL						
IRRIGAÇÃO	0,051	0,074	107,82%	415.564	4.986.763	1.451.864
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA						
DILUIÇÃO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	0,082	0,038	-53,04%	380.208	4.562.500	-
DILUIÇÃO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS						
<b>TOTAL</b>				<b>1.350.698</b>	<b>16.208.374</b>	<b>2.096.944</b>
CUSTO ANUAL TOTAL DE GERENCIAMENTO DA BACIA HIDROGRÁFICA (AMORTIZAÇÃO + OPERAÇÃO + MANUTENÇÃO)					(\$)	16.207.420
A RECEITA POTENCIAL ANUAL MÉDIA É MAIOR QUE AMORTIZAÇÃO ANUAL DOS INVESTIMENTOS. OS PREÇOS DA ÁGUA POR MODALIDADE DE USO DETERMINADOS SÃO CAPAZES DE PAGAR OS INVESTIMENTOS.						

Figura 5.9 - Receita potencial da bacia

Conforme discutido anteriormente, são possíveis dois tipos de simulação para a cobrança pelo uso de recursos hídricos: a simulação pelos valores a serem cobrados obtidos em processos de negociação entre órgãos gestores e usuários, e a simulação da cobrança utilizando a metodologia dos preços ótimos.

A Figura 5.10 mostra o diagrama para a simulação da receita potencial média anual do sistema hídrico em estudo e a curva de permanência dessa receita, enquanto a Figura 5.11 mostra o diagrama para o sistema de cobrança, utilizando a metodologia de preços ótimos para cada uso.

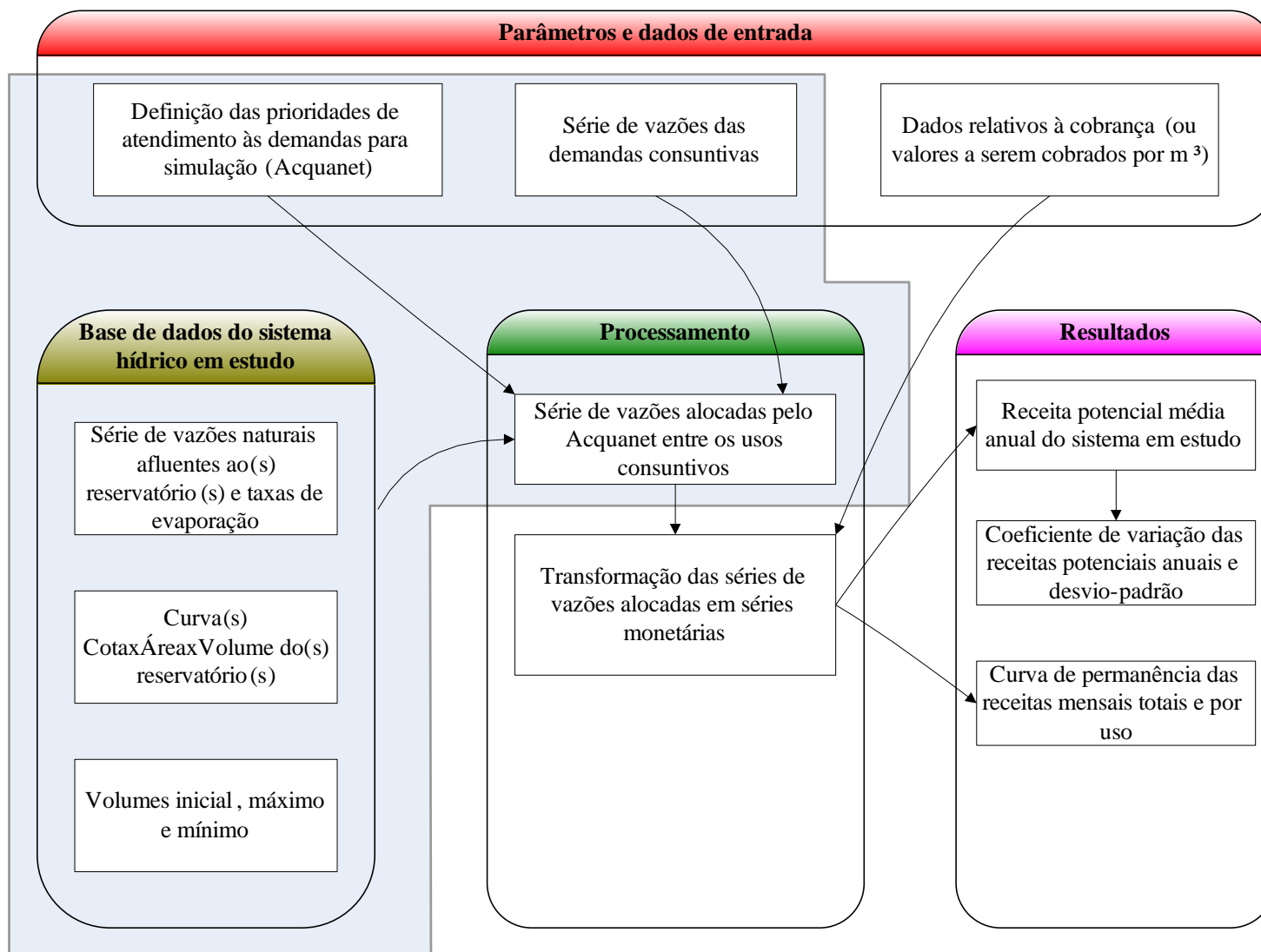


Figura 5.10 - Simulação da receita potencial pela negociação de valores a serem cobrados

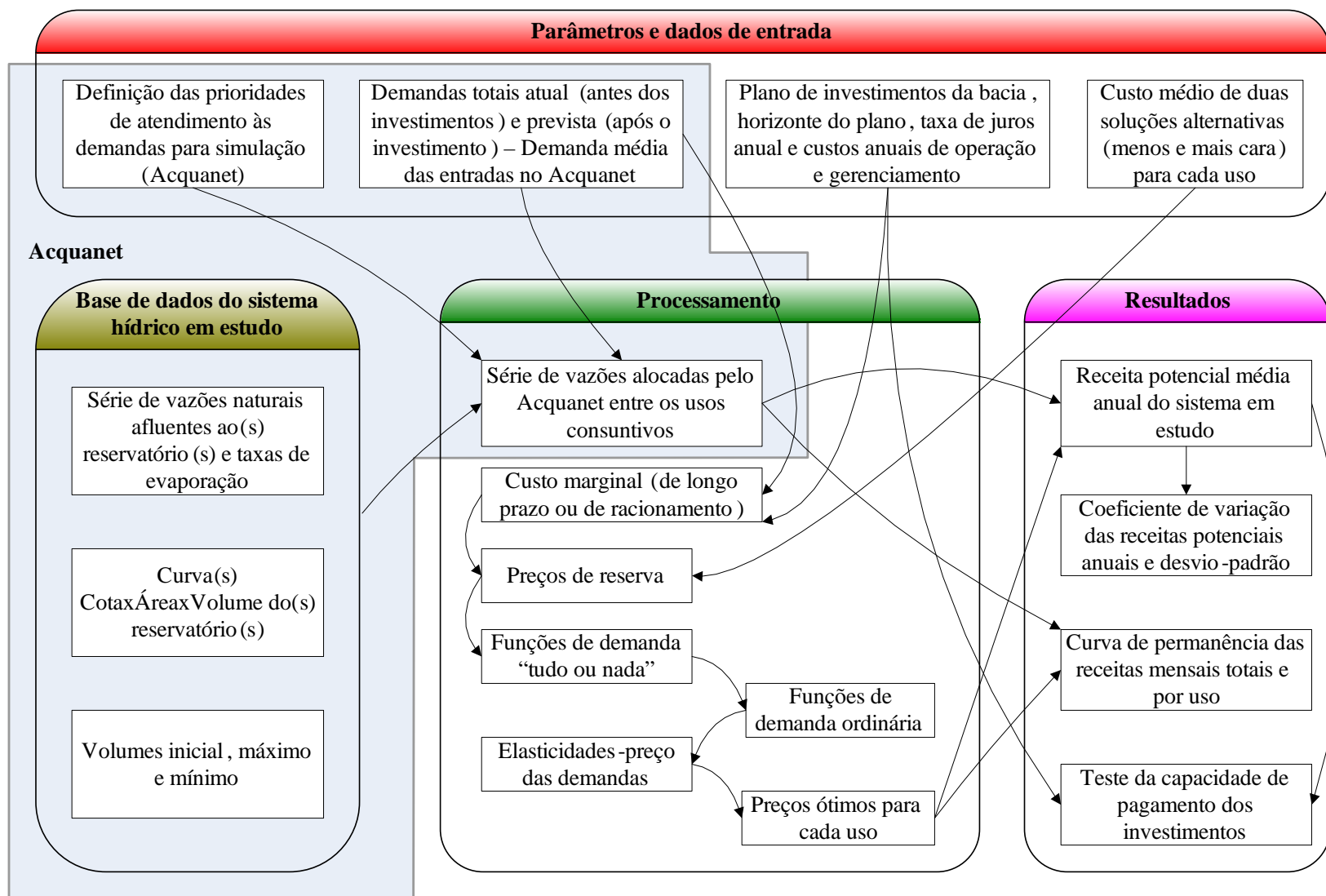


Figura 5.11 - Esquema do sistema de cobrança utilizando a metodologia de preços ótimos para cada uso

### 5.3 - OUTORGA

Como explicitado no item 4.2.2, essa análise é feita a partir da comparação de cenários. O primeiro cenário avalia a situação existente, que é definida como a situação de referência. Os outros cenários avaliam custos e benefícios associados a situações hipotéticas, ou seja, pedidos de novas outorgas. A variação dos benefícios dos cenários hipotéticos e da situação de referência são comparados aos custos das alocações de vazões necessárias somados aos custos do projeto.

O primeiro passo é a simulação do cenário de referência a partir do módulo de avaliação econômica do Acquanet, com as respectivas curvas de benefício marginal para cada uso e para as vazões remanescentes (*instream flow value*). Os resultados são, então, armazenados para futura comparação. Observa-se o fato de não se desejar, nesse momento, que o módulo de avaliação econômica do Acquanet realize a maximização dos benefícios. A alocação é realizada, tão-somente, respeitando-se as prioridades definidas na entrada de dados.

O segundo passo é a entrada das vazões da nova demanda, objeto da avaliação, bem como dos dados econômicos. Procede-se à simulação do cenário com a nova outorga. Para a entrada na rede de fluxo de uma demanda consuntiva, deverá ser observado um decréscimo na série de vazões remanescentes no sistema. São comparadas as séries dos benefícios da situação de referência e das do cenário analisado. Avalia-se, então, se o cenário proporciona maior benefício econômico para a sociedade.

A nova outorga pode prescindir de um projeto para sua realização como, por exemplo, um projeto de irrigação ou de abastecimento público, exigindo investimentos para implantação, outros investimentos pontuais durante a vida útil do projeto e o custo anual de operação, gerenciamento e manutenção. Deseja-se, nesse caso, que seja verdadeira a seguinte relação:

$$\left( \begin{array}{l} \text{Benefício médio anual} \\ \text{do cenário sob análise} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{l} \text{Custos anuais} \\ \text{do projeto} \end{array} \right) \geq \left( \begin{array}{l} \text{Benefício médio anual} \\ \text{da situação de referência} \end{array} \right)$$



A entrada de dados dos custos do projeto são efetuados como mostrado na Figura 5.12.

<b>DADOS DO PROJETO</b>			
<b>HORIZONTE DE PROJETO</b>		<b>(ANOS)</b>	<b>25</b>
<b>CUSTO PARA IMPLANTAÇÃO DO PROJETO</b>		<b>(\$)</b>	<b>5.000.000</b>
<b>CUSTOS PONTUAIS DO PROJETO</b>	<b>ANO</b>	<b>10</b>	<b>2.000.000</b>
	<b>ANO</b>	<b>15</b>	<b>2.000.000</b>
	<b>ANO</b>	<b>20</b>	<b>500.000</b>
	<b>ANO</b>		
<b>TAXA DE JUROS</b>		<b>(%)</b>	<b>12,00%</b>
<b>CUSTO ANUAL DE OPERAÇÃO</b>		<b>(\$)</b>	<b>300.000</b>
<b>AMORTIZAÇÃO ANUAL + CUSTO ANUAL DE OPERAÇÃO</b>		<b>(\$)</b>	<b>1.511.250</b>
<b>BENEFÍCIO BRUTO MÉDIO MENSAL COM A NOVA OUTORGA</b>		<b>(\$)</b>	<b>1.002.232</b>
<b>BENEFÍCIO LÍQUIDO MÉDIO MENSAL COM A NOVA OUTORGA</b>		<b>(\$)</b>	<b>876.294</b>
<b>PROBABILIDADE DE HAVER PREJUÍZO NUM MÊS QUALQUER</b>			<b>0,260</b>

Figura 5.12 - Dados do projeto e resultados

A Figura 5.13 mostra o diagrama da seqüência para a avaliação dos benefícios econômicos para a sociedade advindos da nova outorga.

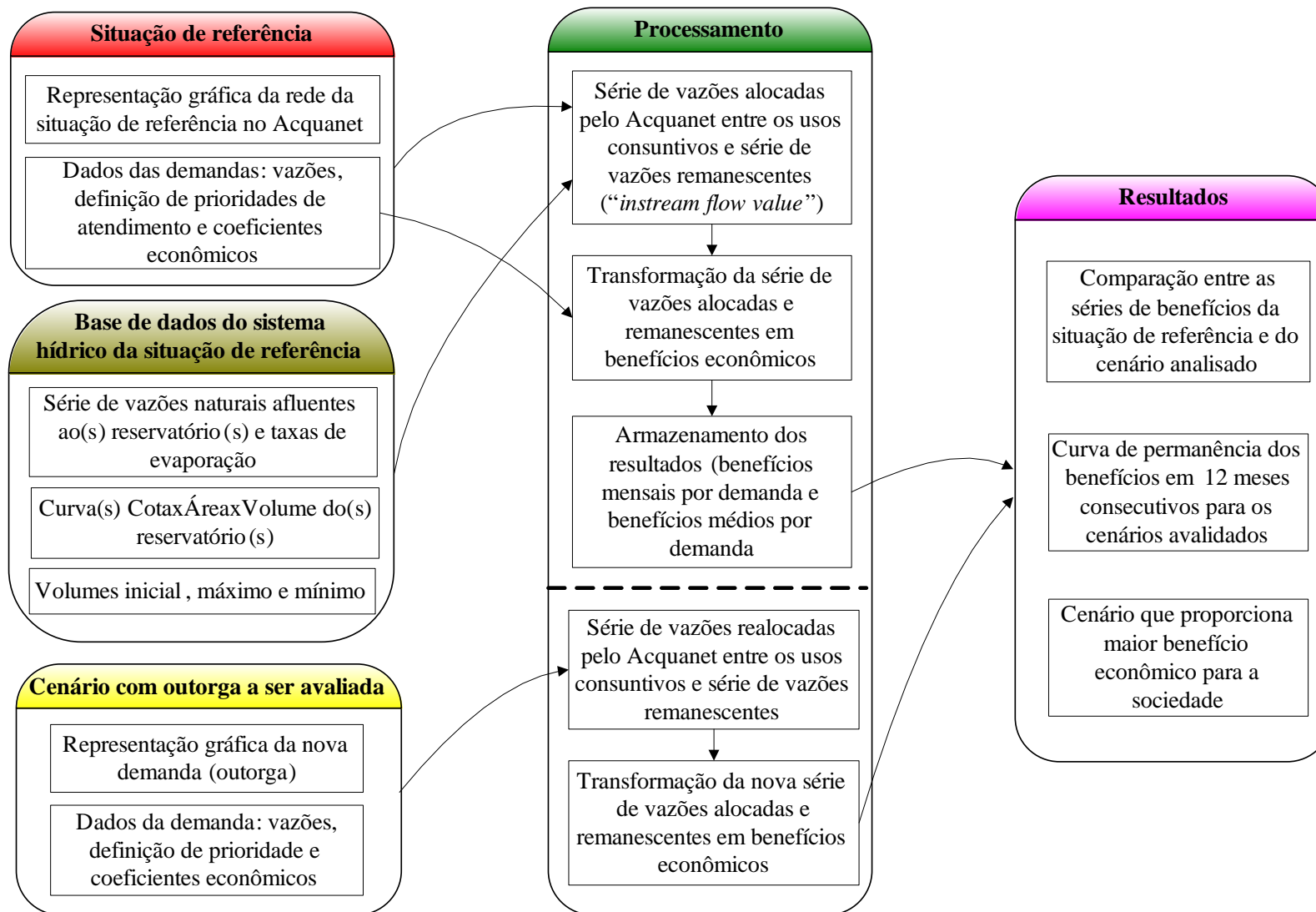


Figura 5.13 - Avaliação dos benefícios econômicos de nova outorga

## 5.4 - ENQUADRAMENTO

Como discutido no item 3.5.4, uma proposta de enquadramento deve passar por uma aceitação financeira dos custos das medidas e intervenções necessárias ao alcance das metas estabelecidas pelo enquadramento. Vislumbra-se, dessa forma, a importância de essas alternativas de enquadramento serem apresentadas à população que habita a bacia, com justificativas dos investimentos necessários e identificação das fontes de recursos. Deve-se ainda, apresentar os valores a serem arrecadados de cada usuário como, também, uma proposta para a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

Para a análise do enquadramento, a exemplo da outorga, trabalha-se com cenários para fins comparativos. Assim, as matrizes de coeficientes econômicos são formadas pela atribuição de valores econômicos às vazões alocadas e remanescentes de uma possível alteração da classe de um corpo de água. Ou seja, definir, por exemplo, qual o impacto econômico causado em uma bacia por uma alteração da classe de um rio, que limitaria as vazões outorgáveis para se manter uma vazão para diluição.

Em contrapartida, pode-se estimar os benefícios econômicos gerados por incrementos nas vazões alocáveis possibilitados por intervenções, como tratamento de esgotos, que permitam manter a classe de um rio, mesmo com maiores retiradas.

Os coeficientes econômicos das matrizes de coeficientes econômicos podem ser os mesmos daqueles utilizados na análise da outorga, ou incorporar outros coeficientes obtidos na literatura e em avaliações *ad hoc*. No caso da análise do enquadramento, deve-se levar em consideração os custos de eventuais intervenções, especialmente por se trabalhar com avaliações de longo prazo, que podem se estender por mais de 20 anos.

Para a realização dessa análise, é necessário atribuir valores monetários a todos os custos incorridos e a todos os benefícios. Entretanto, como discutido anteriormente, definir valor monetário para os benefícios não é tarefa trivial. Ainda assim, espera-se identificar uma expectativa em relação a esses benefícios, e, especialmente, em relação às suas probabilidades de ocorrência.

Diferentemente dos outros dois instrumentos de gestão, cobrança e outorga, o resultado da análise do enquadramento será uma série de custos dos impactos e de benefícios em função da vazão e de alguns indicadores de qualidade da água que definem uma classe. É desejável que a matriz de coeficientes econômicos para a valoração dos benefícios seja obtida por meio de técnicas de valoração adequadas para a qualidade da água e que, também, considere os custos decorrentes das externalidades econômicas e ambientais.

Na análise econômica, os projetos são comparados entre si por meio da aplicação de alguns índices. Essa idéia continua válida nos projetos ambientais, sobretudo para se compararem alternativas de engenharia que levem a resultados semelhantes. Nesse caso, os índices auxiliam a apontar as melhores alternativas. Para construção do protótipo, foram aplicados alguns conceitos importantes em análise de investimentos.

A taxa interna de retorno (TIR) é a taxa considerada adequada para ser usada na análise de viabilidade dos empreendimentos, uma vez que permite comparações ao se definir um valor que se espera obter como remuneração pelo uso do capital em um projeto específico. O valor dessa taxa leva em conta uma série de fatores, como a disponibilidade de capital próprio ou a possibilidade de sua obtenção no sistema bancário ou órgãos financiadores, o valor dos juros do sistema bancário, os riscos associados ao empreendimento, o interesse político em realizar o empreendimento (situação em que seria aceitável uma taxa de retorno mais baixa, o que poderá ocorrer com relativa frequência no caso de projetos ambientais) e o custo de oportunidade do capital. O valor econômico dessa taxa leva em conta, por outro lado, os ganhos e os custos da intervenção, sob a perspectiva da sociedade.

A taxa interna de retorno é obtida quando o Valor Presente Líquido (VPL) é igual a zero. Ela identifica qual a taxa a ser aplicada ao fluxo de investimentos de modo que, trazidos aos valores atuais, os investimentos, custos e despesas se igualem ao valor das receitas ou dos benefícios (também trazidos ao valor atual). Quanto maior a taxa interna de retorno, melhor o investimento em termos de rentabilidade.

Como salientado, na taxa interna de retorno econômico (TIRE), o projeto é visto do ponto de vista de toda economia, e tem de se levar em consideração todos efeitos a longo prazo em relação à sociedade. Como visto, o desafio da avaliação é transformar o orçamento de custos e receitas privadas do projeto em valores sociais.

Uma avaliação que pode ser feita para se julgar se um determinado investimento ambiental é válido, do ponto de vista exclusivamente financeiro, é comparar a TIR com o Custo de Oportunidade do Capital (COC) ou com a taxa de retorno fixada pelo investidor. Normalmente, se a TIR for menor que o COC ou a taxa de retorno, o projeto deveria ser rejeitado. Se a TIR é maior que o COC, o projeto é considerado vantajoso.

O Custo de Oportunidade do Capital (COC) é definido como sendo a maior rentabilidade que se poderá obter com um determinado capital, caso não seja investido no projeto em consideração, assumindo-se o mesmo nível de risco. Trata-se de um custo financeiro equivalente à perda que o capital investido sofre por estar aplicado ao projeto em questão e não poder estar aplicado em nenhum outro projeto ou aplicação de mercado.

Outra análise importante, nesse contexto, é a análise da relação custo-benefício (ACB), que visa a comparar os benefícios esperados de um determinado projeto com os custos estimados. Trata-se de uma forma racional de decidir sobre a adequabilidade e aceitabilidade de se prosseguir com o projeto.

A Figura 5.14 traz a tela de entrada de dados e resultados da avaliação.

<b>DADOS DO PROJETO</b>			
<b>HORIZONTE DE PROJETO</b>		<b>(ANOS)</b>	<b>25</b>
<b>CUSTO PARA IMPLANTAÇÃO DO PROJETO</b>		<b>(\$)</b>	<b>20.000.000</b>
<b>CUSTOS PONTUAIS DO PROJETO</b>	<b>ANO</b>	<b>10</b>	<b>5.000.000</b>
	<b>ANO</b>	<b>20</b>	<b>5.000.000</b>
	<b>ANO</b>		
	<b>ANO</b>		
<b>TAXA DE JUROS</b>		<b>(%)</b>	<b>12,00%</b>
<b>CUSTO ANUAL DE OPERAÇÃO</b>		<b>(\$)</b>	<b>2.000.000</b>
<b>AMORTIZAÇÃO ANUAL + CUSTO ANUAL DE OPERAÇÃO</b>		<b>(\$)</b>	<b>5.824.999</b>
<b>BENEFÍCIO BRUTO MÉDIO ANUAL NO CENÁRIO ATUAL</b>		<b>(\$)</b>	<b>94.564.674</b>
<b>BENEFÍCIO BRUTO MÉDIO ANUAL NO CENÁRIO 1</b>		<b>(\$)</b>	<b>115.760.455</b>
<b>RELAÇÃO BENEFÍCIO/CUSTO</b>			<b>3,64</b>
<b>RELAÇÃO BENEFÍCIO - CUSTO</b>		<b>(\$)</b>	<b>15.370.782</b>
<b>TAXA INTERNA DE RETORNO ECONÔMICO (TIRE)</b>			<b>81,41%</b>
<b>VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)</b>			<b>118.482.203</b>

Figura 5.14 - Entrada de dados do projeto e resultados

A avaliação de tomada de decisão para o enquadramento é executada a partir da construção de um calendário de benefícios. Esse calendário pode ser construído em função dos benefícios médios anuais obtidos na simulação do Acquanet para a situação atual, para dez anos, para vinte anos e para trinta anos, ou para um intervalo de interesse do usuário. Cada uma dessas simulações deverá conter novos dados de evolução das demandas, se houver, e de novos coeficientes econômicos relacionados à melhoria da qualidade da água, em função do programa de investimentos previsto, ou relacionados à degradação da qualidade da água, em função da ausência de intervenções. Os valores de benefícios para os anos intermediários no calendário podem ser obtidos por interpolação linear. A Figura 5.15 mostra as curvas dos benefícios obtidas pelo calendário.

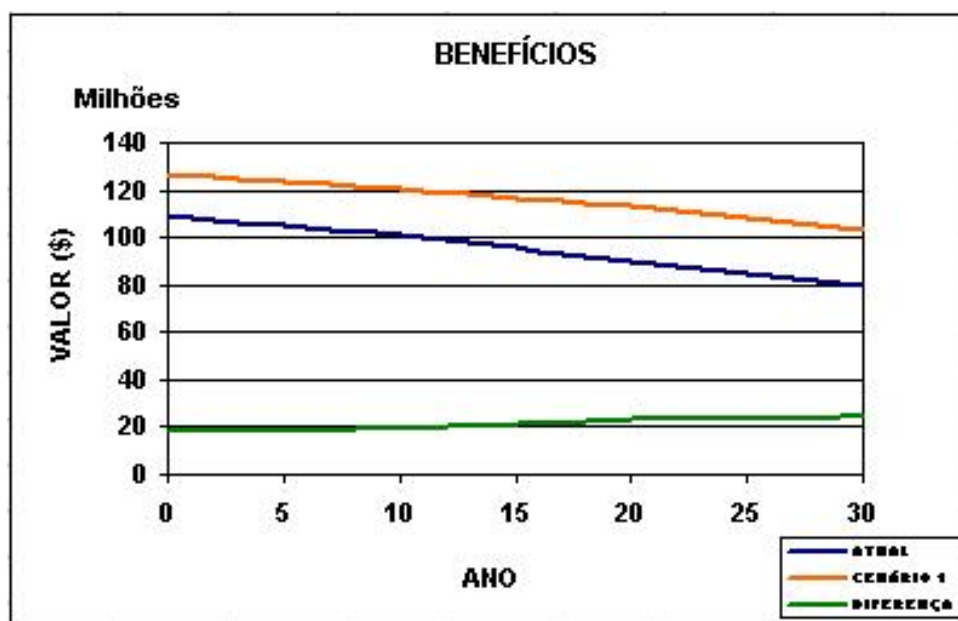


Figura 5.15 - Calendário de benefícios

Os benefícios obtidos no cenário de referência são comparados aos benefícios obtidos no cenário hipotético, cuja construção segue os mesmos passos. A diferença entre os dois cenários gera uma série de benefícios que são utilizados para a construção da expectativa de fluxo de caixa para o cenário proposto. Da série de benefícios e custos de investimento, custos anuais e pontuais, calculam-se os indicadores econômicos que podem ser utilizados em uma tomada de decisão.

A Figura 5.16 mostra o diagrama para se efetuar a avaliação de um cenário hipotético de enquadramento.

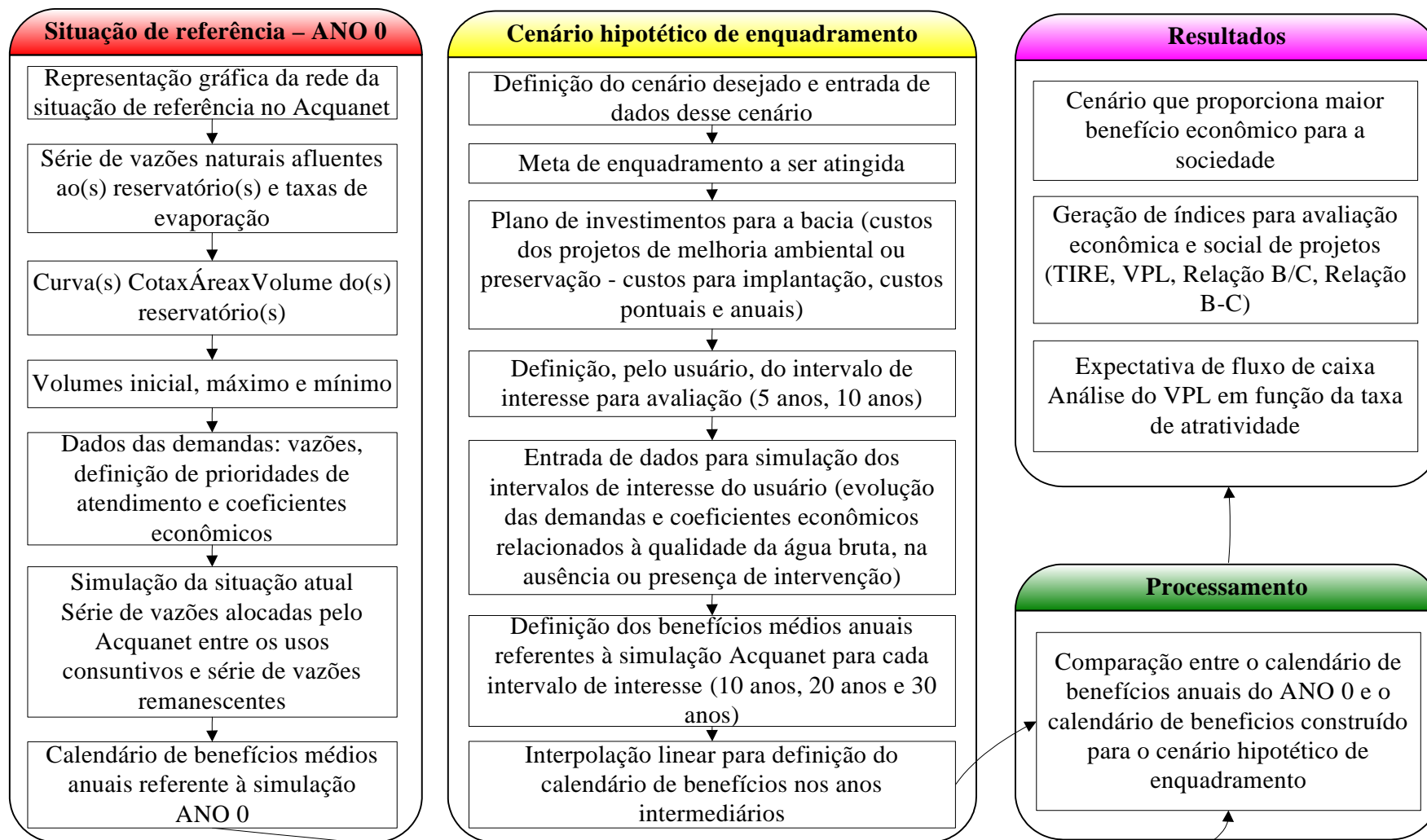


Figura 5.16 - Avaliação do cenário hipotético de enquadramento

## **6 - TESTE DE APLICAÇÃO: A BACIA DO LAGO DESCOBERTO**

### **6.1 - A BACIA DO LAGO DESCOBERTO**

O rio Descoberto, que é formado pela junção dos córregos Capão da Onça e Barrocão, nasce no Distrito Federal e deságua no rio Corumbá, em Goiás. Parte expressiva de sua bacia hidrográfica localiza-se no Distrito Federal.

O lago Descoberto, situado no terço mais a montante do rio, constitui o principal manancial utilizado pela Caesb, sendo responsável por cerca de 2/3 da oferta de água para abastecimento público do Distrito Federal no ano de 2005.

O lago Descoberto é utilizado para fins de abastecimento de água das cidades de Ceilândia, Taguatinga, Guará, do próprio Plano-Piloto (Brasília) e outros núcleos urbanos. As águas da bacia de drenagem do lago Descoberto também são utilizadas para abastecer a cidade de Brazlândia, porém são captadas nos córregos Barrocão e Capão da Onça.

O outro uso importante da água na bacia do lago Descoberto é a irrigação. Entretanto, as informações acerca da irrigação são, atualmente, imprecisas.

A Figura 6.1 mostra o Distrito Federal e suas bacias hidrográficas. Como pode ser observado, os afluentes da vertente leste do rio Descoberto estão situados no Distrito Federal, enquanto os afluentes da vertente oeste do lago estão situados no estado de Goiás.



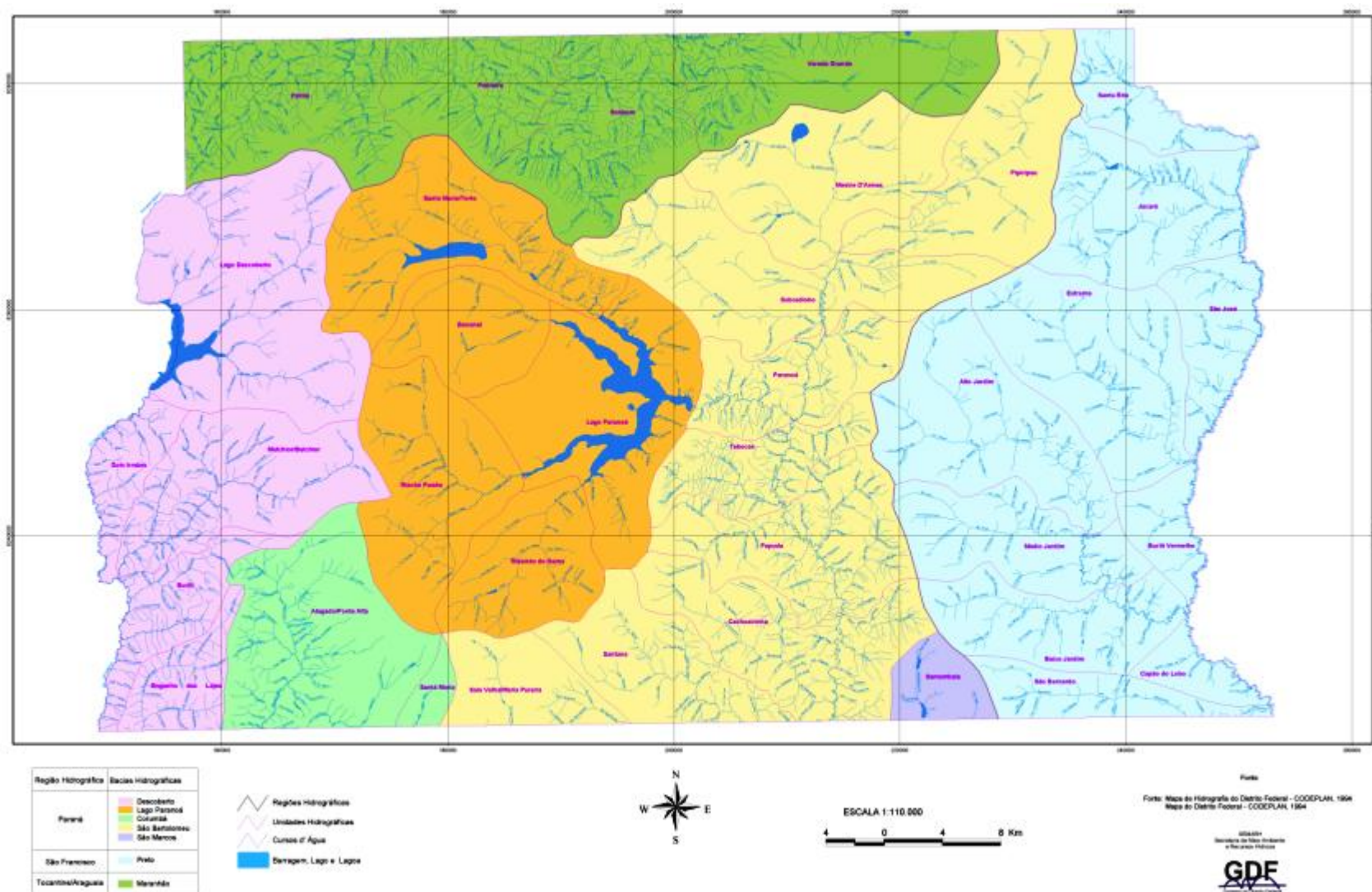


Figura 6.1 - Bacias Hidrográficas do Distrito Federal

O lago Descoberto, logo após a implantação em 1974, propiciava a acumulação de  $102 \times 10^6 \text{ m}^3$ , com o nível do reservatório na cota 1.030m, correspondente à soleira do vertedor. Para essa cota, a área inundada era de  $14,8 \text{ km}^2$ . O vertedor é de soleira fixa e a liberação de água do reservatório é realizada por meio de uma descarga de fundo. O nível mínimo operacional ocorre na cota 1.020m, correspondendo a um volume morto de  $11,2 \times 10^6 \text{ m}^3$  (Magna, 2003a).

Em 2002, foi realizado um levantamento batimétrico no reservatório. Conforme o Relatório de Topobatimetria (Magna, 2003a), o reservatório possuía, em agosto de 2002, uma área de  $12,55 \text{ km}^2$ , na cota 1030m, volume aproximado de  $86 \times 10^6 \text{ m}^3$  e volume morto de  $10,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ . O reservatório é monitorado desde 1978, e, atualmente, é captada uma vazão média de cerca de  $3,50 \text{ m}^3/\text{s}$ , para a previsão de vazão captável em torno de  $5,00 \text{ m}^3/\text{s}$ . Os dados da nova curva cota x área x volume adotada pela Caesb são apresentados no item seguinte.

Os estudos realizados para o período de outubro de 1959 a setembro de 1968 para construção da barragem indicaram que o N.A. (nível d'água) máximo normal à cota 1030m seria o mais vantajoso. Decorre disso, o aproveitamento máximo de  $5,8 \text{ m}^3/\text{s}$  regularizados.

Os estudos relatam a adoção da descarga regularizada igual a  $6,0 \text{ m}^3/\text{s}$  para dimensionamento de toda estrutura de adução a ser construída juntamente com a barragem. Entendia-se que esse valor raramente provocaria (uma vez a cada 20 anos, como ordem de grandeza) depleções abaixo da cota 1020,00m e que permitiria um aproveitamento máximo das disponibilidades hídricas do Descoberto.

## **6.2 - INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS**

Seis estações fluviométricas, operadas pela Caesb, registram as vazões afluentes ao Lago. Uma sétima estação está a jusante do corpo da barragem. Como mostra a Tabela 6.1, cinco estações fluviométricas analisadas e utilizadas neste estudo datam de junho de 1978, exceto o posto 60435150 (Olaria), que iniciou seu registro em novembro de 1985.

Tabela 6.1 - Estações Fluviométricas

Código	Nome da Estação	Altitude (m)	Latitude	Longitude	Período de Dados		Área de drenagem (km <sup>2</sup> )
					Início	Fim	
60435000	Descoberto Montante	1034,89	15°42'30"	48°14'05"	06/1978	01/2006	114,7
60435100	Chapadinha (DF 180)	1035,73	15°42'01"	48°12'42"	06/1978	01/2006	20,8
60435150	Olaria (BR 080)	1034,79	15°42'32"	48°11'59"	11/1985	01/2006	12,6
60435200	Rodeador (DF 445)	1034,79	15°43'23"	48°09'53"	06/1978	01/2006	111,6
60435300	Capão Comprido	1034,89	15°44'49,1"	48°09'47,6"	06/1978	12/2005	15,9
60435400	Ribeirão das Pedras	1036,04	15°45'36"	48°09'36"	06/1978	01/2006	75,9
60436000	Descoberto Jusante	1007,40	15°46'48"	48°13'58"	08/1978	01/2006	437,4

Para uma análise mais acurada da disponibilidade de água, a Caesb e a Magna Engenharia decidiram acrescentar mais sete anos de análise para simulação de regularização de vazões captadas, tendo em vista que a bacia de drenagem do posto Olaria é pequena em relação aos outros postos. Para tanto, utilizou-se um modelo chuva-vazão auto-calibrável (MODHAC) para gerar uma série sintética. Entende-se que o processo de extensão da série de dados acarreta pouca distorção da realidade dos fenômenos hidrológicos ocorridos na bacia, pois o percentual de tempo preenchido é curto, tanto perante a série observada, quanto com respeito à área da bacia do posto Olaria em relação à área da bacia do Descoberto. Essa série gerada foi utilizada na base de dados para cálculo das vazões naturais afluentes ao lago Descoberto.

Nesse ponto, cabe ressaltar que as vazões medidas nesses postos não são naturais. A captação para o sistema de abastecimento de Brazlândia ocorre em dois pontos a montante desses postos, nos córregos Barroco e Capão da Onça, além de outras retiradas para irrigação a montante. As áreas de contribuição situadas no Estado de Goiás e algumas áreas entre os córregos monitorados não são levadas em consideração nos dados de vazões afluentes ao lago.

Para que o Acquanet simule a alocação da água segundo as prioridades estabelecidas pelo usuário, faz-se necessário reconstituir as vazões naturais. Baltar (2001) apresentou um

método simplificado e expedito para a reconstituição dessas vazões, iniciando pelo balanço hídrico do Lago realizado por meio de uma simulação com o Acquanet.

As estimativas das vazões naturais foram realizadas a partir da construção de curvas duplo-acumulativas de precipitação e vazão para os postos fluviométricos. Os dados de chuva para a referida construção foram obtidos de cinco estações pluviométricas existentes na região da bacia do lago Descoberto, conforme apresentado na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Estações Pluviométricas

Código	Nome da Estação	Altitude (m)	Latitude	Longitude	Período de Dados	
					Início	Fim
01548006	Taguatinga	1269,0	15°47'34"	48°07'03"	01/1971	12/2005
01548007	Brazlândia	1098,0	15°41'03"	48°12'27"	01/1971	12/2005 <sup>(1)</sup>
01548008	Descoberto	1061,0	15°46'49"	48°13'49"	10/1978	12/2005
01548009	Jatobazinho	1205,0	15°42'43"	48°05'33"	11/1978	12/2005
01548013	Fazenda Santa Elisa	1205,0	15°35'48"	48°02'35"	03/1988	12/2005

<sup>(1)</sup>Não há registros para os anos de 1976 e 1977

Observou-se dessas construções que existia uma tendência inicial não verificada nos anos posteriores a 1987, provavelmente devido às retiradas para irrigação. Admitiu-se, nesse momento, que os trechos iniciais seriam representativos das condições naturais das sub-bacias. Assim, ao se utilizarem as equações das retas de tendência inicial, reconstituíram-se as vazões naturais. A premissa adotada é que as vazões calculadas são função unicamente da precipitação, o que não corresponde à realidade do ciclo hidrológico.

Dessa forma, embora não se obtenham valores extremamente confiáveis, entende-se que eles servem aos propósitos desse estudo. Outra forma de se tentar restituir essas vazões seria utilizando o próprio MODHAC, utilizando os primeiros anos das séries para calibração dos parâmetros, para então, realizar-se a simulação dos anos posteriores.

A Tabela 6.3 relaciona os dados de cota, área e volume do lago Descoberto.

Tabela 6.3 - Cota x Área x Volume do Lago Descoberto (Magna, 2003b)

<b>COTAS (m)</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>VOLUME (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>OBS.</b>
1.013,00	10,19	0,11	Volume morto
1.014,00	22,02	0,27	
1.015,00	46,64	0,64	
1.016,00	102,28	1,33	
1.017,00	159,18	2,60	
1.018,00	219,52	4,47	
1.019,00	273,68	6,95	
1.020,00	336,40	9,97	
1.021,00	412,94	13,70	
1.022,00	494,21	18,24	
1.023,00	584,10	23,62	
1.024,00	670,80	29,91	
1.025,00	740,33	36,98	
1.026,00	825,34	44,78	
1.027,00	917,11	53,51	
1.028,00	1.023,49	63,19	
1.029,00	1.141,23	74,01	
1.030,00	1.255,34	85,99	
1.030,50	1.314,97	92,56	
1.031,00	1.374,60	99,13	
1.031,50	1.426,35	106,27	
1.032,00	1.478,10	113,41	

Fonte: (Magna, 2003b)

De outra forma, a Figura 6.2 mostra graficamente as curvas cota-área e cota-volume do lago Descoberto.

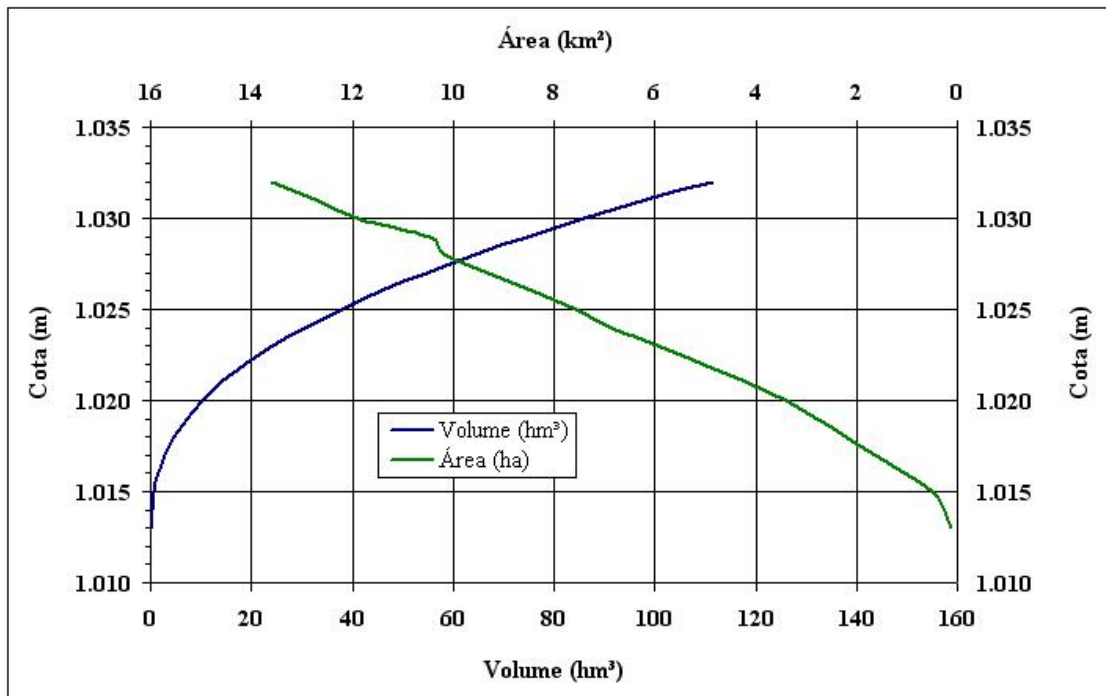


Figura 6.2 - Curvas cota-área e cota-volume do lago do Descoberto

### 6.3 - INFORMAÇÕES ECONÔMICAS

Conforme citado no item 6.1, o abastecimento público e a irrigação são os dois principais usos econômicos da água da bacia do lago Descoberto.

As análises econômicas com o uso do módulo de economia do Acquanet são realizadas a partir de curvas de benefício marginal para cada demanda. Essas curvas devem-se referir à água em sua condição natural e original no leito natural, ou seja, antes de qualquer intervenção humana, seja tratamento ou adução.

Para o levantamento das curvas de benefício marginal do abastecimento público com água da bacia do Descoberto, Baltar (2001) utilizou uma função estimada com base em uma pesquisa de avaliação contingente feita em Brasília:

$$\ln(C) = 0,24 - 0,57 \cdot \ln(Ct) + 0,32 \cdot \ln(R) + 0,05 \cdot F + 0,56 \cdot DE$$

onde: C é o consumo mensal de água em m<sup>3</sup>, F é o número de pessoas na família, R é a renda familiar mensal, Ct é o custo por m<sup>3</sup> de água, e DE é uma variável que indica a existência (DE=1) ou não (DE=0) de rede de esgoto.

A curva de consumo por domicílio foi obtida por Baltar (2001) como função apenas do custo, agregada ao número total de domicílios atendidos, transformada em uma curva por segmentos (compatível com o método de entrada no Acquanet), descontada do valor correspondente ao custo de fornecimento de água, e, então, derivada em uma curva para a estação seca e outra para a estação úmida.

Para a irrigação, Carramaschi (2000) obteve uma curva de ganho líquido agregado utilizando métodos da avaliação contingente e da função de produção. A curva de ganho líquido agregado foi ajustada a uma curva exponencial para entrada no Acquanet, e novamente derivada em duas curvas de acordo com a época do ano.

Para efeito de avaliação dos custos com desapropriações de terras no contorno do Lago, foi considerado o acréscimo de área correspondente à variação dos respectivos valores obtidos pela curva cota x área alagada, definidos pelo intervalo de variação nos níveis de água, correspondente à cheia decamilenar na situação atual de vertedouro na cota 1.030 m e o nível de água atingido pela mesma cheia em cada uma das alternativas.

Foi adotado um preço médio, R\$ 20.000, por hectare de terra alagada, avaliado em função de pesquisa de preços de terras na área de contorno do Lago, de tal maneira que o valor adotado fosse representativo das grandes diferenças que existem entre o valor da terra no lado do Distrito Federal e no lado do Estado de Goiás.

## **6.4 - SIMULAÇÕES**

### **6.4.1 - Cálculo da receita potencial da bacia**

Como apresentado anteriormente, o cálculo da receita potencial do uso da água na bacia do lago Descoberto pode ser feito de duas formas. A primeira é a partir da definição dos preços a serem praticados em cada uso. A segunda é realizada pelo cálculo dos preços ótimos, estimados a partir das demandas médias por cada uso, das funções de demanda determinadas pelo usuário, do plano de investimentos para a bacia e da capacidade de pagamento de cada setor.

Foram empregadas nessas simulações as séries de 25 anos de vazões naturais restituídas afluentes ao lago do Descoberto, a curva cota x área x volume apresentada na Tabela 6.3, e as demandas de abastecimento público e de irrigação estimadas para 25 anos.

A evolução da demanda para abastecimento público foi estimada a partir das taxas médias geométricas de crescimento anual da projeção preliminar da população brasileira, iniciando com o percentual de 1,24% em 2005 até 0,54% em 2030, embora o crescimento populacional tenha sido de 2,77% ao ano, na década de 90 (IBGE, 2006). A produção per capita média do sistema Descoberto no ano de 2005 foi de 279 litros por habitante por dia, segundo as informações produzidas pela Coordenadoria de Planejamento e Controle de Produção da Caesb.

Conforme o histórico da evolução da participação do lago Descoberto no abastecimento público do DF, considerou-se que esse sistema seria responsável pelo atendimento de 68% de toda demanda no período simulado.

Para o cálculo da de irrigação, considerou-se o consumo médio de 1 litro por segundo por hectare, para os meses de seca e 0,6 litros por segundo por hectare para os meses úmidos. Além disso, admitiu-se o crescimento da área irrigada a taxa de 5% ao ano durante o período de 2005 a 2015 e crescimento nulo até 2030.

Para o sistema hídrico, foi considerada a vazão remanescente a jusante da barragem de 0,676 m<sup>3</sup>/s, considerado o valor mínimo a ser deixado para o atendimento das necessidades



ecológicas do trecho do rio a jusante da barragem. Embora não se tenha uma definição clara sobre qual deva ser a vazão ecológica, esse valor foi definido tomando-se por base a metade da vazão mínima média de 7 dias de duração e com 10 anos de período de retorno.

A Figura 6.3 apresenta a rede de fluxo utilizada para simulação da receita potencial do sistema em análise.

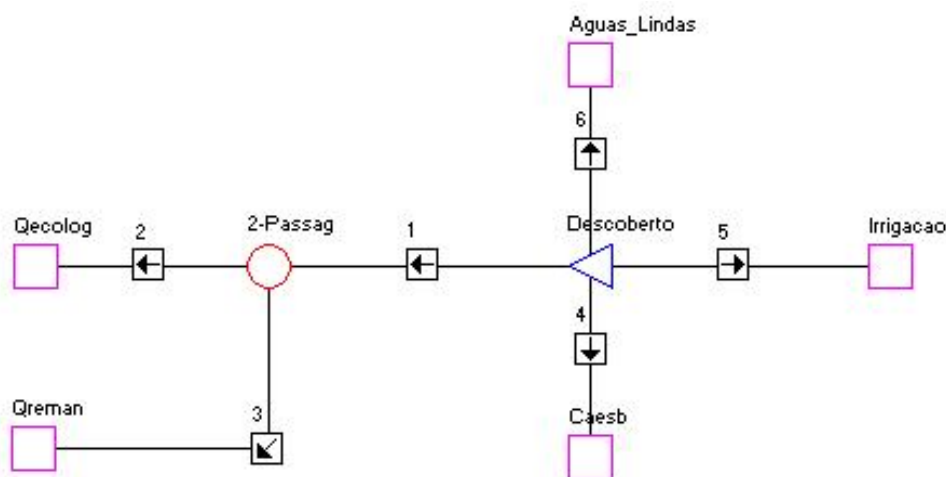


Figura 6.3 - Topologia da rede de fluxo para simulação da cobrança

Para a execução dos cálculos do Acquanet, conforme discutido na descrição do modelo, é necessário que o usuário defina as prioridades de atendimento às demandas reais e fictícias e ao armazenamento-meta do reservatório. Essas prioridades são apresentadas na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 - Prioridades utilizadas na simulação para o cálculo da receita potencial

Vazão mínima	Abastecimento humano	Irrigação	Armazenamento -meta	Demanda fictícia
Qecolog	Caesb e Aguas_Lindas	Irigacao	Descoberto	Qreman
1	5	10	50	99

No cálculo apresentado, a receita potencial anual média calculada com os valores definidos pelo processo de negociação não guardam relação com o plano de investimentos da bacia. Seus valores podem ser determinados a partir de qualquer metodologia de precificação da

água. Nessa simulação, optou-se por utilizar os valores referentes à cobrança pelo uso da água nas derivações da bacia do rio Paraíba do Sul.

O plano de investimentos para a bacia do lago Descoberto prevê algumas ações para o aumento da disponibilidade hídrica e para a melhoria da qualidade da água. Foram estudados três níveis possíveis de elevação da barragem e seus respectivos custos estimados, conforme pode ser verificado na Tabela 6.5. Observe-se que a segunda parte trata exatamente dos custos que variam em função da elevação adotada.

Tabela 6.5 - Plano de investimentos para a bacia do lago Descoberto

Construção da ETE de Águas Lindas		R\$	95.000.000	
Recuperação de reservatórios existentes		R\$	8.000.000	
Ampliação da capacidade de tratamento da ETE Samambaia		R\$	10.000.000	
Investimentos em gerenciamento de recursos hídricos		R\$	500.000	
Subtotal		R\$	113.500.000	
Elevações avaliadas		1,00 m	1,50 m	2,00 m
Elevação da cota da barragem	(R\$)	6.280.804	6.871.951	7.687.740
Indenização de terras alagadas	(R\$)	3.250.000	4.000.000	6.000.000
Total dos investimentos	(R\$)	122.958.804	124.371.951	127.187.740

Embora não seja uma ação específica na bacia, a recuperação de reservatórios existentes no Sistema Descoberto permite reduzir a retirada de água do Lago para fins de abastecimento ao diminuir as perdas.

Os valores médios dos custos são calculados em função da amortização anual e da demanda total anual por água nas várias modalidades, após a implementação dos projetos. Os custos marginais de longo prazo para oferta de recursos hídricos e para diluição de efluentes são calculados em função do acréscimo de vazão no sistema hídrico. Além desses custos, são apresentados, na Tabela 6.6, os valores de amortização anual dos investimentos em cada caso, preços ótimos sem restrição e com restrição da capacidade de pagamento para cada uso da água previsto na bacia.

Tabela 6.6 - Resultados obtidos na aplicação do sistema de cobrança

<b>Elevações avaliadas</b>		<b>1,00 m</b>	<b>1,50 m</b>	<b>2,00 m</b>
Amortização anual dos investimentos		15.677.244	15.857.420	16.216.433
Custo médio da oferta de recursos hídricos na bacia		0,028	0,028	0,028
Custo médio da diluição de poluentes na bacia		0,070	0,070	0,070
Custo marginal de longo prazo da expansão da oferta de recursos hídricos		0,090	0,091	0,093
Custo marginal de longo prazo da expansão do potencial de diluição		0,100	0,101	0,104
Preço ótimo sem restrição	Abastecimento Humano	0,020	0,020	0,021
	Irrigação	0,051	0,051	0,052
	Diluição de efluentes	0,081	0,082	0,084
Preço ótimo com restrição	Abastecimento Humano	0,044	0,044	0,046
	Irrigação	0,073	0,074	0,075
	Diluição de efluentes	0,038	0,038	0,038
Receita potencial média anual		16.028.245	16.208.374	16.565.842
Custo anual total de gerenciamento		16.027.244	16.207.420	16.566.433

Observa-se que não há muita diferença entre os valores apresentados na tabela para as três possibilidades de elevação, em especial dos custos marginais de longo prazo e dos preços ótimos. Essa situação se deu em virtude de os custos de elevação e indenização de terras alagadas, parte que varia em função da elevação escolhida, representarem um percentual pequeno do plano de investimentos para a bacia. Se fossem avaliadas somente elevação e indenização, essa diferença seria mais significativa.

Diante dessa constatação, decidiu-se por avaliar daqui por diante somente a elevação de 1,5 metro em virtude dos resultados apontados pelo Acquanet, especialmente pela diminuição verificada dos volumes acumulados dos déficits, conforme Tabela 6.7.

Tabela 6.7 - Comparação dos resultados do Acquanet

Demandas	Tempo máximo abaixo da demanda necessária (meses)		Frequência abaixo da demanda necessária (%)		Vazão média fornecida (m <sup>3</sup> /s)		Volume acumulado dos déficits (Mm <sup>3</sup> )	
	0.0 m	1.5 m	0.0 m	1.5 m	0.0 m	1.5 m	0.0 m	1.5 m
Águas_Lindas	7	7	15,33	13,67	0,706	0,717	99,076	90,193
Caesb	7	7	13,67	13,00	4,046	4,065	228,925	214,603
Irrigação	11	11	21,00	18,67	2,099	2,145	405,080	369,313
Qecolog	0	0	0,00	0,00	0,676	0,676	0,000	0,000
Qreman	180	180	83,33	83,33	1,009	0,906	32057	32136

Observa-se que com a elevação da barragem ocorre um incremento na vazão média fornecida às demandas Águas\_Lindas, Caesb e Irrigação, menor que a redução verificada na vazão média remanescente. Isso significa que ocorre uma perda de água no sistema, 27 litros/segundo em média, provavelmente devido ao incremento da perda de água pela evaporação ocasionada pela maior acumulação na barragem.

Considerou-se nessa simulação uma taxa de juros anual de 12% e horizonte do plano de investimentos de 25 anos. Obteve-se, assim, um custo anual total de gerenciamento da bacia hidrográfica, incluindo amortização dos investimentos, operação e manutenção do sistema de R\$ 16.207.420.

Foram considerados na simulação os usos para abastecimento público, irrigação e diluição de efluentes. No primeiro passo do cálculo de preços ótimos, o preço para diluição de efluentes foi maior que o preço de reserva. Assim, limitou-se esse preço ao preço de reserva, obtendo-se novos valores para abastecimento humano e irrigação. Os preços ótimos calculados e os preços utilizados na simulação são apresentados na Tabela 6.8.

Tabela 6.8 - Elasticidades-preço das demandas e preços da água

Modalidade de uso	Elasticidade-preço da demanda	Preço de reserva	Preço ótimo	Preço ótimo	Preço definido a priori
			1° passo	2° passo	
Abastecimento humano	0,18	0,888	0,025	0,046	0,020
Irrigação	0,61	0,134	0,042	0,064	0,020
Diluição de efluentes	4,27	0,039	0,081	0,039	0,100

A Tabela 6.9 apresenta os valores das receitas potenciais, calculados pelos dois métodos, a participação de cada modalidade de uso na receita total, bem como a diferença encontrada no preço ótimo em função da capacidade de pagamento obtidos para cada tipo de uso em função das demandas médias. Ao se multiplicarem os preços ótimos com a série de vazões alocadas pelo Acquanet, verifica-se que a média da receita potencial é pouco maior que o custo anual de gerenciamento da bacia, evidenciando o requisito de não geração de lucros.

Tabela 6.9 - Receitas potenciais por uso

Modalidade de uso	Diferença no preço ótimo	Preços ótimos		Preços a priori	
		Particip.	Valor anual	Particip.	Valor anual
Abastecimento humano	143,44%	50,79%	8.183.829	21,55%	3.556.901
Irrigação	86,66%	21,20%	3.506.252	6,59%	1.088.675
Diluição de efluentes	-68,56%	28,01%	4.562.500	71,86%	11.862.500
<b>TOTAL</b>	<b>-</b>	<b>100%</b>	<b>16.207.420</b>	<b>100%</b>	<b>16.508.076</b>

Como visto anteriormente, a metodologia dos preços ótimos é realizada com o intuito de cobrir a amortização anual do plano de investimentos. Considerando-se que o Acquanet pode ser considerado como um “gerador de incertezas”, para um sistema não-determinístico, que é o sistema hídrico, os valores calculados como receita potencial não devem ser interpretados como valores de retorno de um projeto. O que se espera é que a média desses valores estimados seja de alguma forma representativa, e, assim, possa ser comparada com a amortização dos investimentos.

A Figura 6.4 mostra a curva de permanência da receita potencial anual calculada pelos preços ótimos e preços definidos *a priori*.

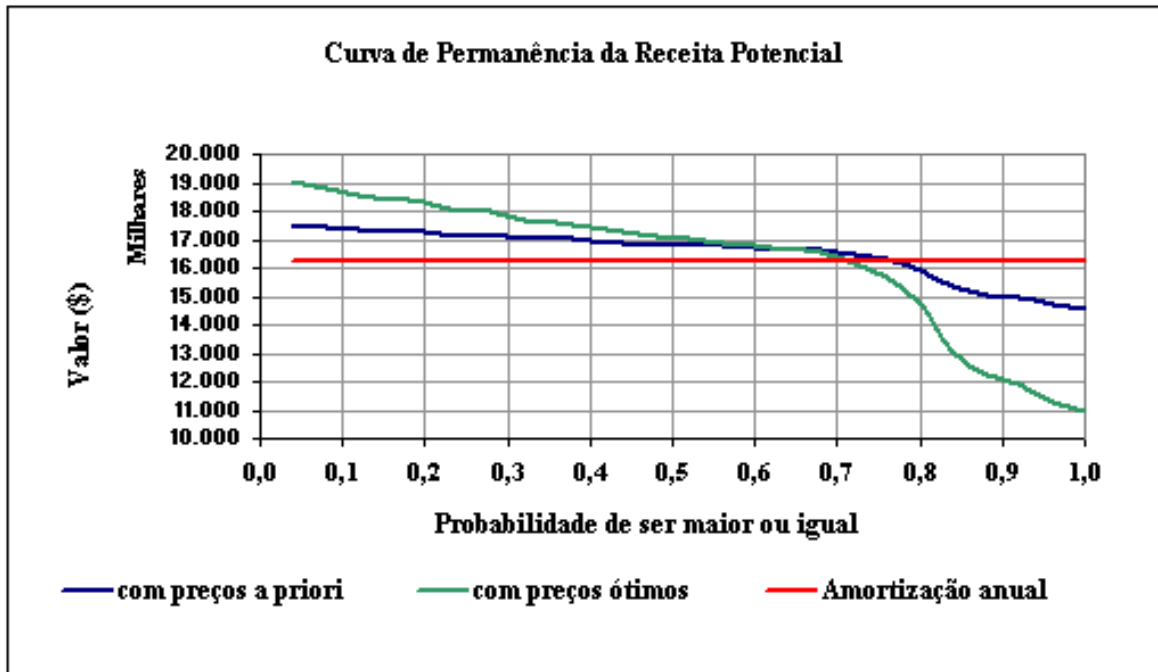


Figura 6.4 - Curva de permanência da receita potencial anual

Ao se compararem as curvas de permanência para um e outro método, observa-se que a probabilidade de pagamento da amortização anual é de aproximadamente 76% para os preços definidos *a priori* e de 70% para os preços ótimos, ou seja, essa é a probabilidade de que as receitas sejam maiores que a amortização em cada ano da simulação. Para níveis de garantia de pagamento maiores, é necessário redefinir os valores a serem cobrados.

Por critérios estatísticos, pode-se inferir que não há pontos discrepantes na série de receitas, uma vez que todos os valores estão dentro dos limites superior e inferior, definidos como a média mais ou menos três desvios-padrão. Além disso, o coeficiente de variação de 14,77% indica que os dados da série estão distribuídos de forma homogênea ( $CV \leq 15\%$ ).

Um aspecto importante da política de preços ótimos pelo uso da água diz respeito à criticidade da bacia hidrográfica, em termos de qualidade e quantidade. Quanto mais crítica for a bacia, maior tenderá a ser o custo social que cada usuário imporá aos demais usuários do sistema e, portanto, maior deverá ser o preço praticado nessa bacia, independentemente da utilização da água. A criticidade é levada em consideração na política de preços ótimos, porque quanto mais crítico for o balanço hídrico (ou quanto maior for a concentração de poluentes em relação ao máximo nível permitido), mais oneroso será o gerenciamento

dessa bacia e maior será o custo marginal. Maior também será o custo da entidade ou órgão gestor na equação de restrição e, conseqüentemente, maior deverá ser o preço cobrado para qualquer que seja o uso e a prioridade que se dê à água.

#### 6.4.2 - Outorga

Para a avaliação de uma tomada de decisão relacionada a uma outorga, é necessário proceder à simulação da situação de referência. Uma forma de se avaliar a outorga é a partir da atribuição de valores econômicos às vazões remanescentes (*instream flow value*), incluindo a vazão ecológica, além das outras demandas econômicas da rede. Os valores dos benefícios mensais são então armazenados, para posterior comparação.

Como apresentado no item 6.4.1, a Caesb estuda abastecer a cidade de Águas Lindas (GO) com água tratada na ETA Descoberto, que possui capacidade de tratamento de  $6,0 \text{ m}^3/\text{s}$ . A rede de fluxo apresentada na Figura 6.5 simula a situação de referência.

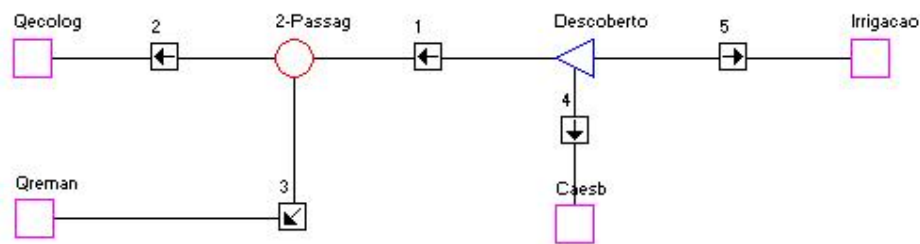


Figura 6.5 - Rede de fluxo da situação de referência

A partir da série de vazões alocadas pelo Acquanet para todas as demandas, ocorre a transformação dessa série em benefícios econômicos. As curvas de benefício marginal adotadas na simulação da situação de referência são mostradas na Figura 6.6.

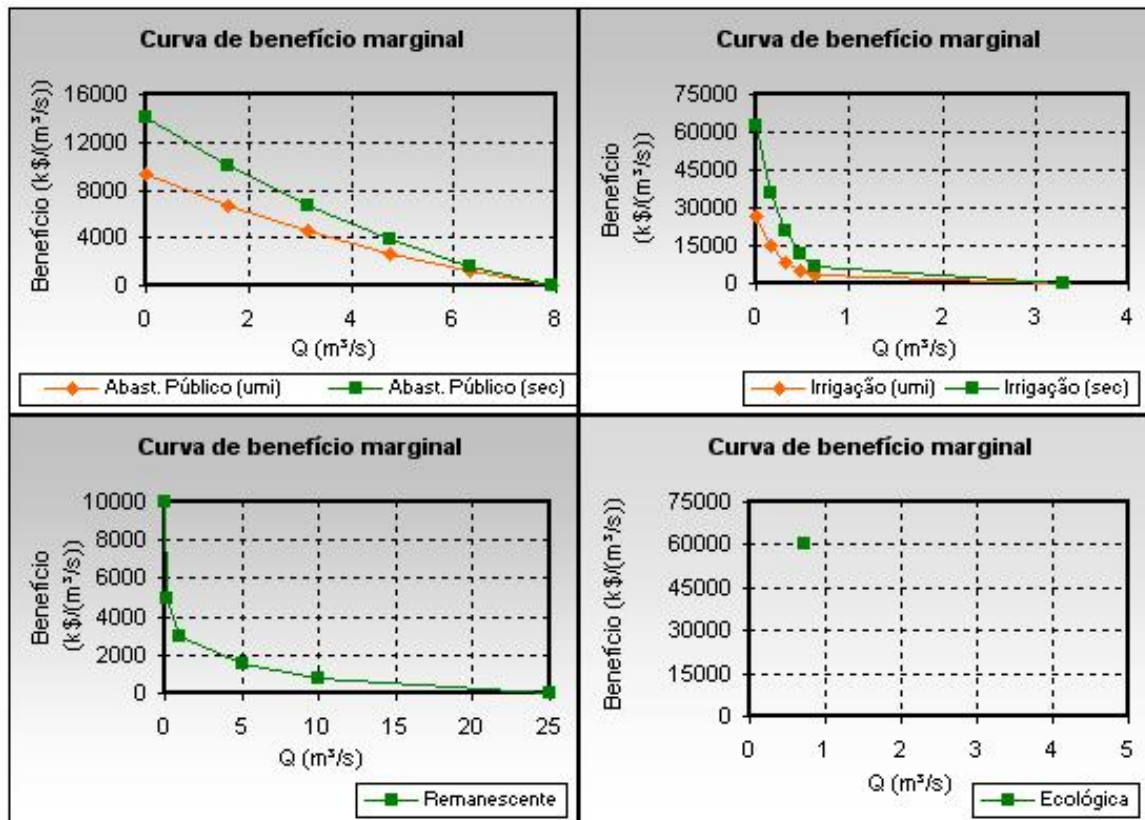


Figura 6.6 - Curvas de benefício marginal das demandas

Inserir-se a nova demanda (Águas\_Lindas), ou seja, a outorga que se deseja avaliar em termos de benefício econômico, conforme a Figura 6.7. Nesse momento, deve ser definida a prioridade dessa demanda, bem como os benefícios econômicos advindos da outorga solicitada. O Acquanet realoca as vazões minimizando o custo fictício da rede.

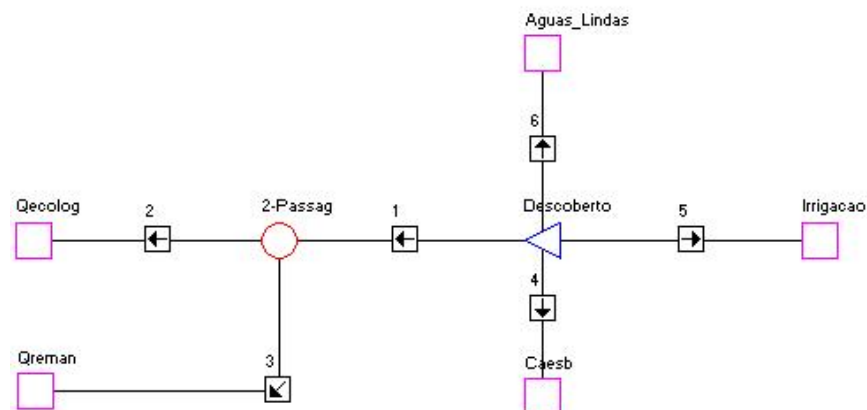


Figura 6.7 - Rede de fluxo para avaliação da nova outorga



Por se tratar de um mesmo uso, as curvas de benefício marginal utilizadas na nova demanda são as mesmas utilizadas para a demanda Caesb. A nova configuração das séries de vazões é novamente transformada em benefícios econômicos. Os valores mensais obtidos para cada demanda são, então, comparados à situação de referência, avaliando-se o cenário que promove maior ganho para a sociedade. (Tabela 6.10)

Tabela 6.10 - Comparação entre benefícios médios mensais (em R\$)

<b>Demanda</b>	<b>Situação de referência</b>	<b>Cenário com nova outorga</b>	<b>Varição percentual</b>
<b>Aguas_Lindas</b>	0,00	7.082,91	-
<b>Caesb</b>	31.445,58	30.967,01	-1,52%
<b>Irrigação</b>	24.363,87	22.406,64	-8,03%
<b>Qecolog</b>	43.800,00	43.800,00	0,00%
<b>Qreman</b>	5.309,35	3.793,19	-28,56%
<b>Total</b>	104.918,79	108.049,75	2,98%

Nessa situação, com os valores econômicos utilizados, observa-se que o benefício médio mensal diminuiu para cada demanda, porém, o resultado total é favorável à outorga para a demanda Aguas\_Lindas. A Figura 6.8 mostra a variação dos benefícios em doze meses consecutivos e comparação entre as curvas de permanência de benefícios.

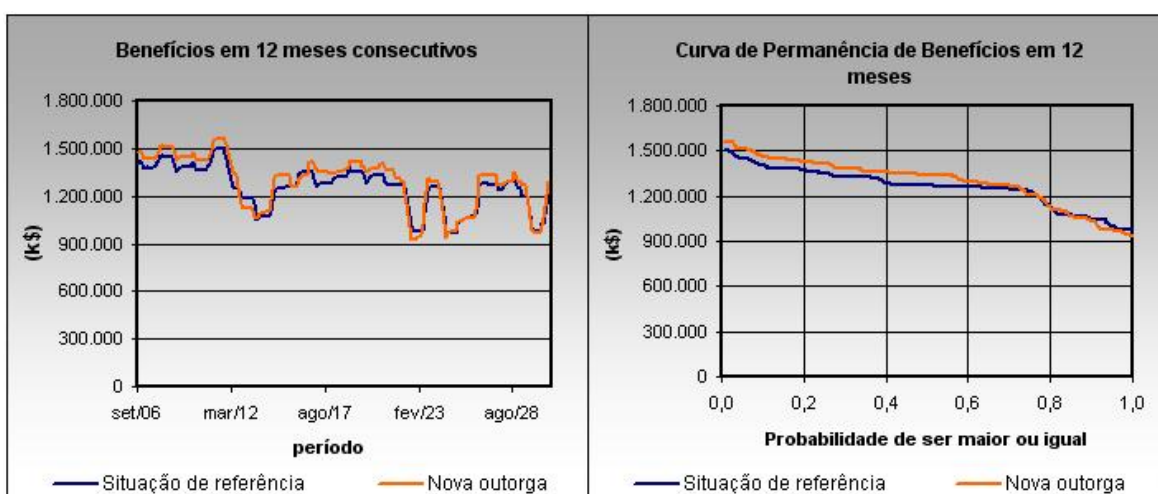


Figura 6.8 - Benefícios em 12 meses consecutivos e curva de permanência

O que se pode concluir é que em algumas situações, quando o valor econômico da água mantida no leito for mais alto, pode ser mais vantajoso, sob a ótica econômica, manter essas vazões no rio do que alocá-las para um uso consuntivo com baixo valor agregado para a sociedade.

Em virtude da diminuição do ganho médio para algumas demandas, pode-se depreender que o lago Descoberto não possui capacidade de reserva suficiente para manter um nível ótimo de garantia de atendimento. Assim, complementarmente, pode-se avaliar a elevação do corpo da barragem para o incremento da capacidade de reserva.

Nessa aplicação, são avaliados e comparados três cenários. Além da situação de referência, e do cenário da outorga para abastecimento da cidade de Águas Lindas (GO), avaliou-se o cenário com aumento da capacidade de reserva do lago.

A topologia da rede é a mesma utilizada nas simulações anteriores. A diferença entre os cenários sem elevação e com elevação reside na entrada do complemento das curvas atuais de cota-área-volume e da capacidade máxima de reserva.

A situação de referência foi comparada com os cenários que avaliam a nova demanda, sem elevação e com elevação do corpo da barragem. Considerou-se o horizonte de projeto de 25 anos e taxa de juros de 12% ao ano. Os custos dos projetos estão associados à implantação do sistema de abastecimento de Águas Lindas, estimados em R\$ 95.000.000. Para a análise da elevação do corpo da barragem em 1,50 metros, considerou-se o valor estimado em agosto de 2002 pela Magna Engenharia LTDA de R\$ 4.700.000. Esse montante foi atualizado pelo Índice Nacional da Construção Civil (INCC-FGV) de agosto de 2002 a junho de 2006, totalizando R\$ 7.000.000. Considerou-se, também, no caso da elevação, o valor de R\$ 4.000.000 para indenização de terras alagadas.

Além desses, considerou-se o custo anual de operação em torno de R\$ 3.000.000. A Tabela 6.11 mostra os custos dos projetos nos dois cenários utilizados na simulação, os incrementos nos benefícios e a probabilidade de haver prejuízo. O incremento no benefício avalia a diferença entre os benefícios anuais médios dos cenários e da situação de referência, descontando-se a amortização anual dos investimentos e o custo anual de operação.

Tabela 6.11 - Custos associados ao projeto de abastecimento de água do município de Águas Lindas (GO) (em R\$)

	Sem elevação da barragem	Com elevação da barragem
Custo para implantação do projeto	95.000.000	106.000.000
Amortização anual mais custo anual de operação	15.112.497	16.514.997
Incremento médio anual no benefício	19.458.937	20.450.455
Probabilidade de haver prejuízo em um mês qualquer	0,250	0,243

Ao se confrontarem os cenários de análise da outorga para Águas Lindas, observa-se que o incremento no benefício será maior em quase todos os anos para o cenário sem elevação da barragem, como pode ser verificado na Figura 6.9. Essa análise parece contradizer o resultado apresentado para o incremento médio anual no benefício na Tabela 6.11. Na verdade, o que ocorre é que em anos mais secos, a situação de referência possui benefícios superiores aos cenários analisados, e, mais fortemente, no cenário sem elevação. Assim, em virtude dos “prejuízos” observados em anos de escassez, tem-se que, na média, o incremento nos benefícios é maior no cenário com elevação da barragem.

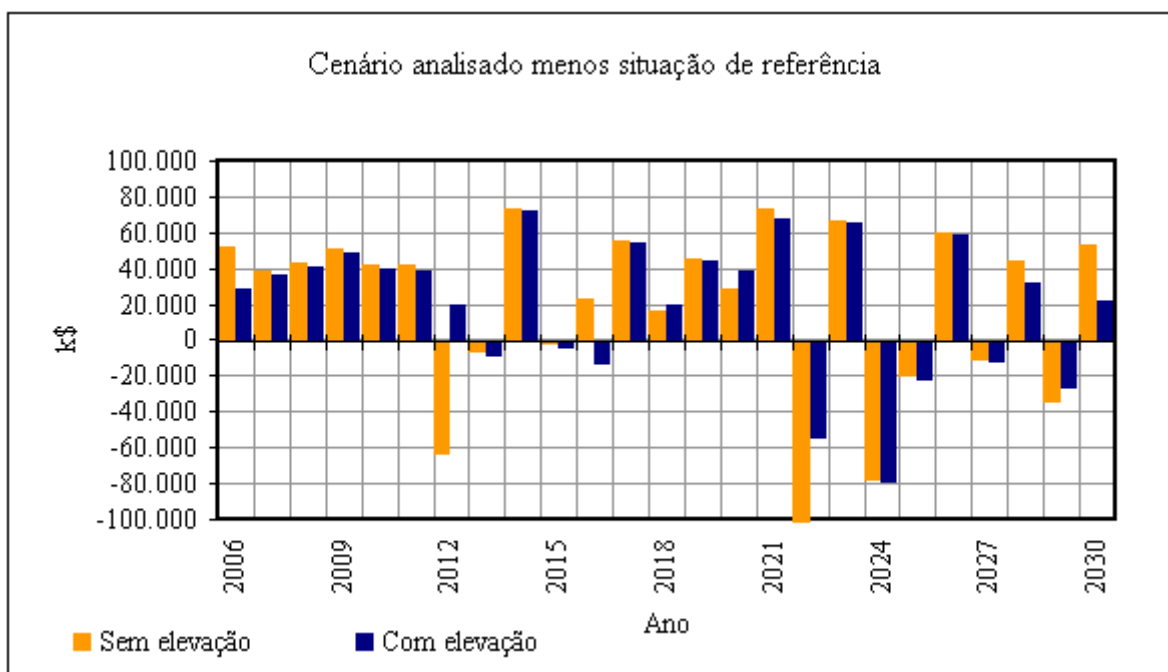


Figura 6.9 - Incremento nos benefícios líquidos para cada cenário

A Figura 6.10 mostra a probabilidade de haver prejuízos de acordo com o mês.

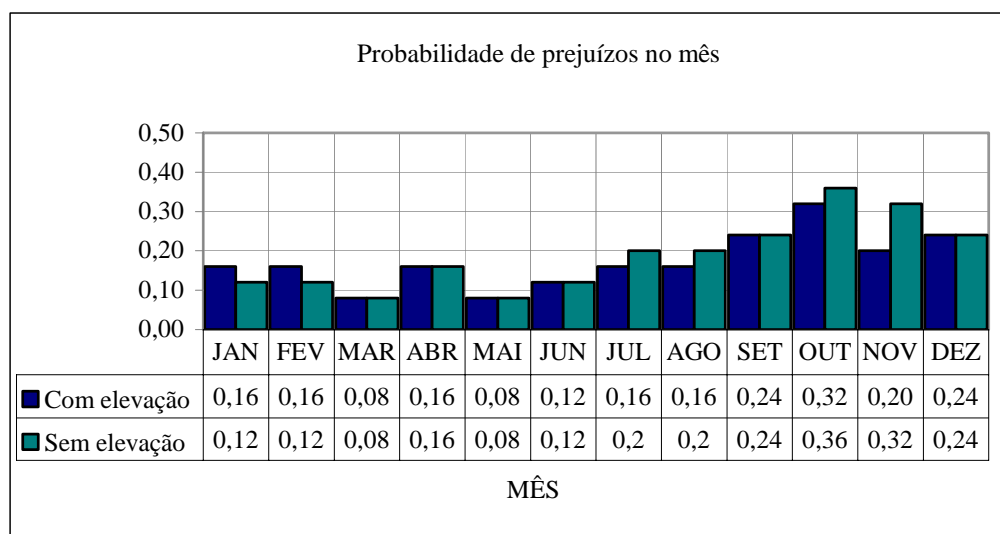


Figura 6.10 - Probabilidade de ocorrência de prejuízos no mês

Observa-se que os prejuízos têm maior probabilidade de ocorrer nos meses de setembro, outubro e novembro. Esses meses marcam o fim do período seco e o início do período chuvoso, ou seja, outubro é o mês em que se inicia a recuperação do armazenamento do reservatório. Obviamente, esses prejuízos ocorrem nesses meses em anos mais secos, para os quais os benefícios para a sociedade advindos da nova outorga são menores que a amortização dos custos sociais do projeto.

A Figura 6.11 compara os benefícios brutos mensais médios para cada mês da situação de referência e dos cenários propostos. Em todos os meses, observa-se que os benefícios brutos serão maiores nos cenários com a nova outorga. Porém, somente nos meses de agosto e novembro, os benefícios do cenário com elevação da barragem são um pouco superiores ao cenário sem a elevação.

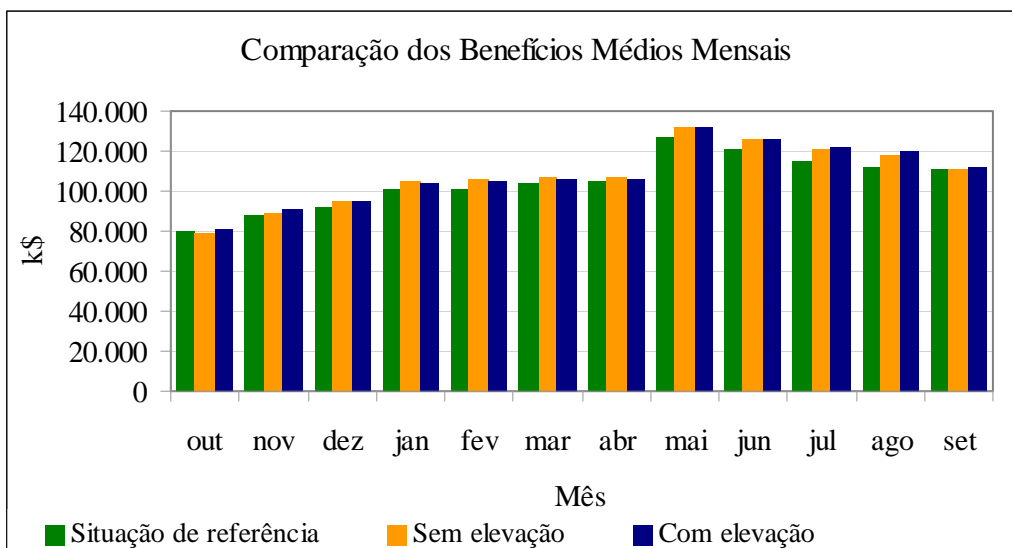


Figura 6.11 - Comparação entre os benefícios médios mensais dos três cenários

A análise do benefício líquido anual mostra que não há diferença significativa entre os dois cenários com a nova outorga. Além disso, em anos mais secos, em que há escassez de água, os benefícios serão menores nesses cenários do que na situação de referência, em função da amortização dos investimentos realizados, conforme pode ser verificado na Figura 6.12.

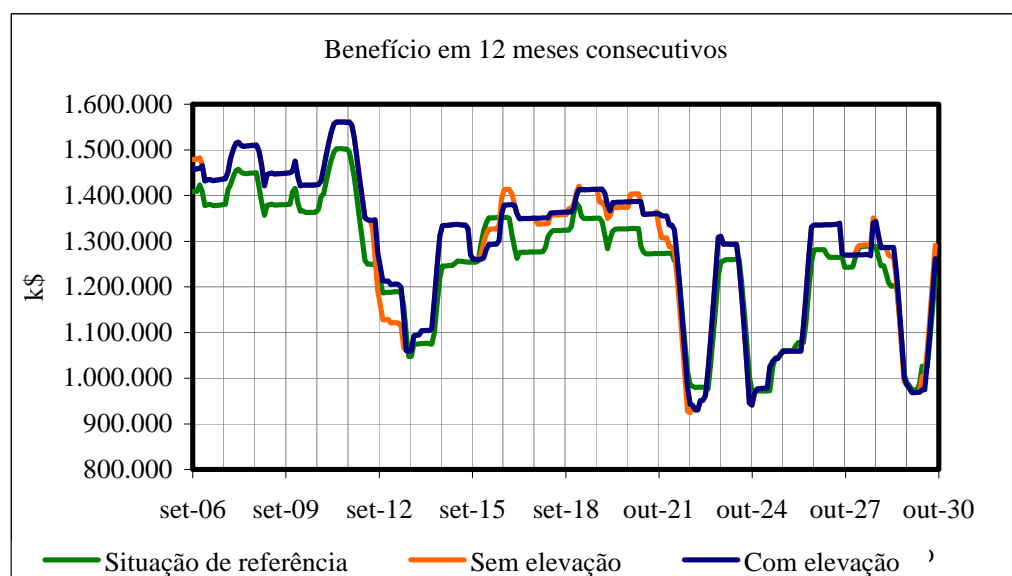


Figura 6.12 - Benefícios em 12 meses consecutivos

A Figura 6.13 traz a curva de permanência de benefícios totais anuais para as três situações avaliadas.

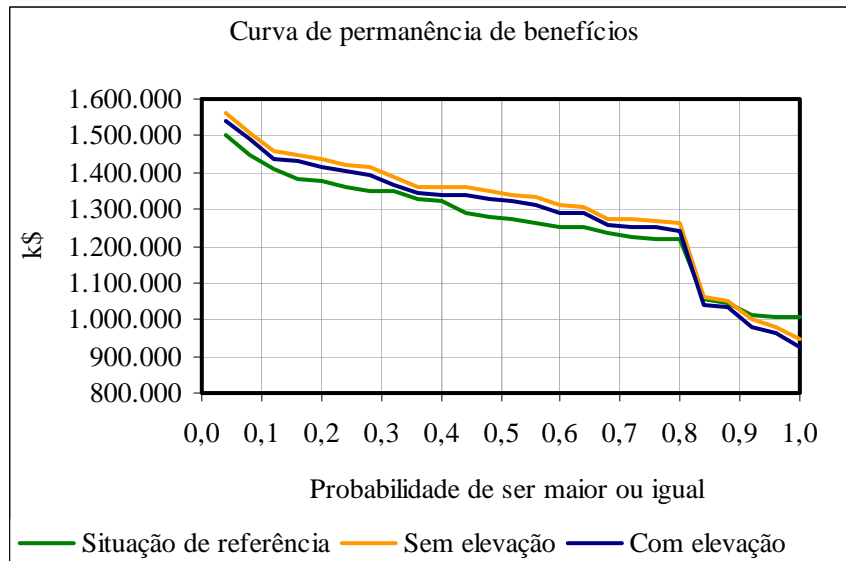


Figura 6.13 - Curva de permanência de benefícios anuais

As curvas apresentadas na Figura 6.14 mostram que, em aproximadamente 70% dos períodos simulados, deverá haver incremento no benefício, tanto no cenário sem elevação como no cenário com elevação, em relação à situação de referência. Além disso, observa-se que a curva de permanência do incremento dos benefícios no cenário sem elevação possui valor mais alto, o que pode levar à preferência por esse cenário.

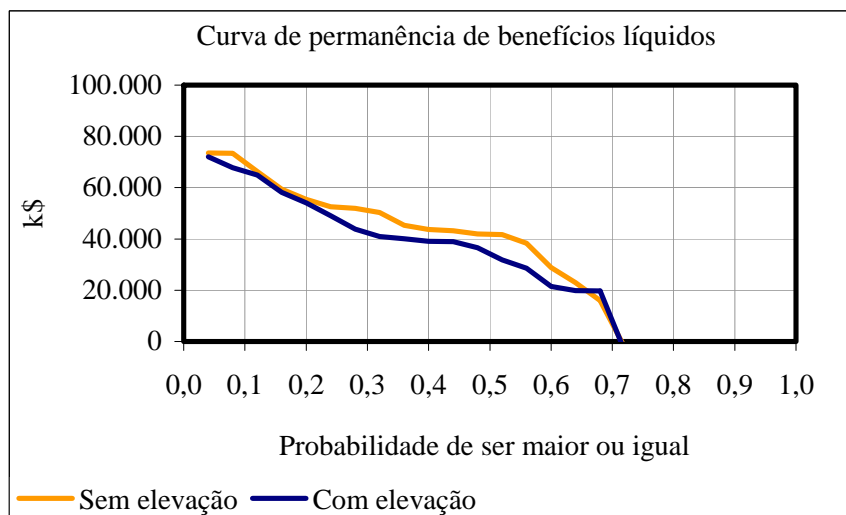


Figura 6.14 - Curva de permanência dos benefícios líquidos

### 6.4.3 - Enquadramento

Deseja-se testar uma situação hipotética de enquadramento. Suponha que a qualidade da água no rio Descoberto, a jusante da barragem, possua valores para alguns parâmetros que a classifiquem como classe 3. O comitê da bacia e a sociedade desejam avaliar as conseqüências, benefícios e custos associados, de uma decisão de enquadramento que exija a melhoria da qualidade da água e o respeito aos parâmetros de qualidade da água característicos de classe 2. É necessário, portanto, que sejam realizados investimentos nessa bacia que propiciem essa melhoria.

Para a análise do enquadramento, a exemplo da outorga, trabalha-se com cenários para fins comparativos. Assim, as matrizes de coeficientes econômicos são formadas pela atribuição de valores econômicos às vazões alocadas e remanescentes de uma possível alteração de classe de um corpo de água. Os coeficientes econômicos das matrizes podem ser os mesmos daqueles utilizados na análise da outorga, ou incorporar outros coeficientes obtidos na literatura e em avaliações *ad hoc*.

Para o enquadramento, os benefícios associados às vazões remanescentes e ecológicas são avaliados em função da qualidade e da quantidade da água. Os valores econômicos do uso da água, quando ela não é retirada do seu leito, devem estar associados aos incrementos obtidos nessas atividades, a partir da melhoria da qualidade da água, levando-se em consideração as teorias de valoração econômica disponíveis. A Figura 6.15 mostra os valores e curvas utilizadas nesse exemplo, com valores arbitrados para fins de exemplificação.

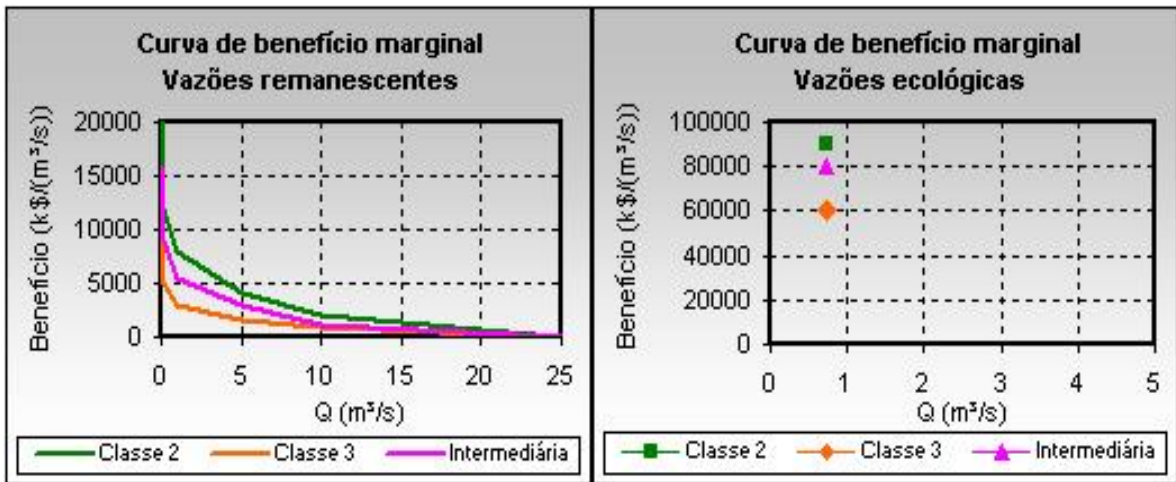


Figura 6.15 - Curvas de benefícios marginais para as vazões ecológicas e remanescentes para diferentes classes de enquadramento

A situação de referência, nesse caso, é entendida como a manutenção do sistema hídrico, ou seja, mesmas demandas das análises anteriores, e, a aplicação das curvas de benefício marginal “Ecológica Classe 3” e “Remanescente Classe 3” durante todo período analisado, ou seja, 25 anos.

O cenário hipotético contará com a implementação de projetos que visem a melhorar a qualidade da água da bacia, e enquadrá-la como classe 2. Considerando-se o período de 25 anos, supõe-se a implementação de um sistema para tratamento de efluentes domésticos para a remoção de DBO a partir do ano 10, e uma ampliação da capacidade de tratamento com remoção de nutrientes no ano 20.

A avaliação de tomada de decisão para o enquadramento é executada a partir da construção de um calendário de benefícios. Esse calendário é construído a partir da simulação da situação atual, dez anos, vinte anos e trinta anos de evolução das demandas e coeficientes econômicos. Assim, para a simulação de dez anos, utiliza-se a curva de benefícios marginais chamada intermediária, e, para a simulação de 20 anos, a curva de benefícios marginais Classe 2.

A Tabela 6.12 apresenta os benefícios médios anuais para cada uso nos cenários atual e de simulação. Como, nesse caso, não houve alteração para as demandas Abastecimento e Irrigação do cenário atual para o hipotético, optou-se por não repetir os valores nessa tabela.



Tabela 6.12 - Valores de benefícios médios anuais para construção do calendário

Ano	Cenário Atual				Cenário Hipotético	
	Ganho Médio Anual (k\$)				Ganho médio anual (k\$)	
	Abastecimento	Irrigação	Ecológica	Remanescente	Ecológica	Remanescente
0	377.347	292.366	525.600	63.712	525.600	63.712
10	377.347	292.366	525.600	63.712	630.720	77.990
20	377.347	292.366	525.600	63.712	648.240	80.929
30	377.347	292.366	525.600	63.712	648.240	80.929

O calendário de benefícios do cenário hipotético é, então, construído por interpolação linear. A Figura 6.16 mostra as curvas obtidas para as demandas desse cenário. Obviamente, observa-se o incremento dos benefícios à medida que os projetos são implementados, afetando, assim, a qualidade da água da bacia.

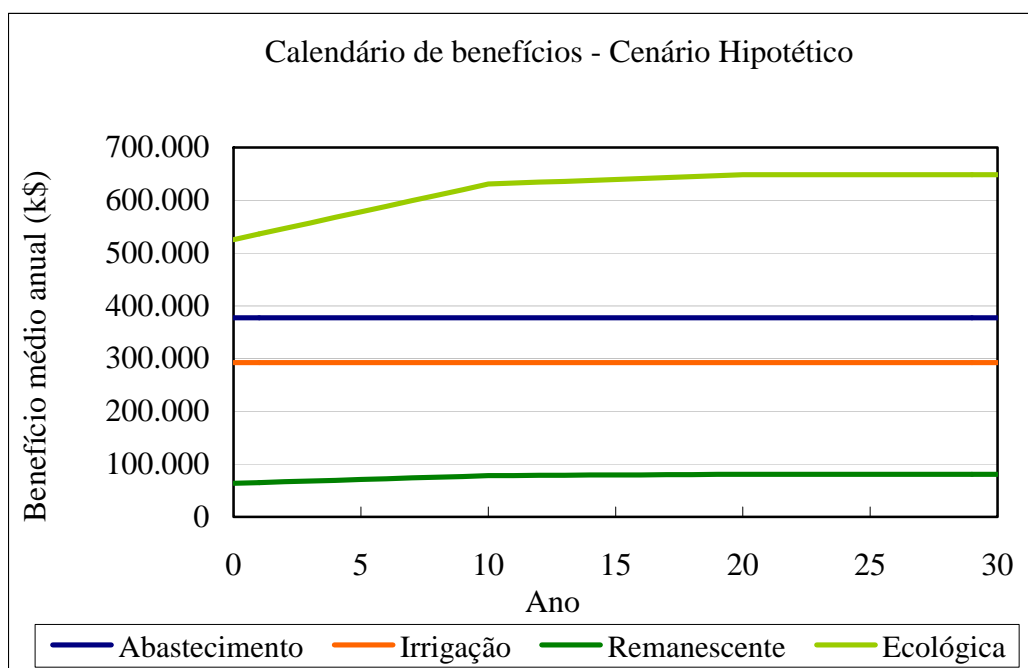


Figura 6.16 - Calendário de benefícios do cenário hipotético

A Figura 6.17 mostra os benefícios anuais do cenário de referência, do cenário hipotético e a diferença entre eles. Esse último valor é utilizado para construção do fluxo de custos e benefícios.

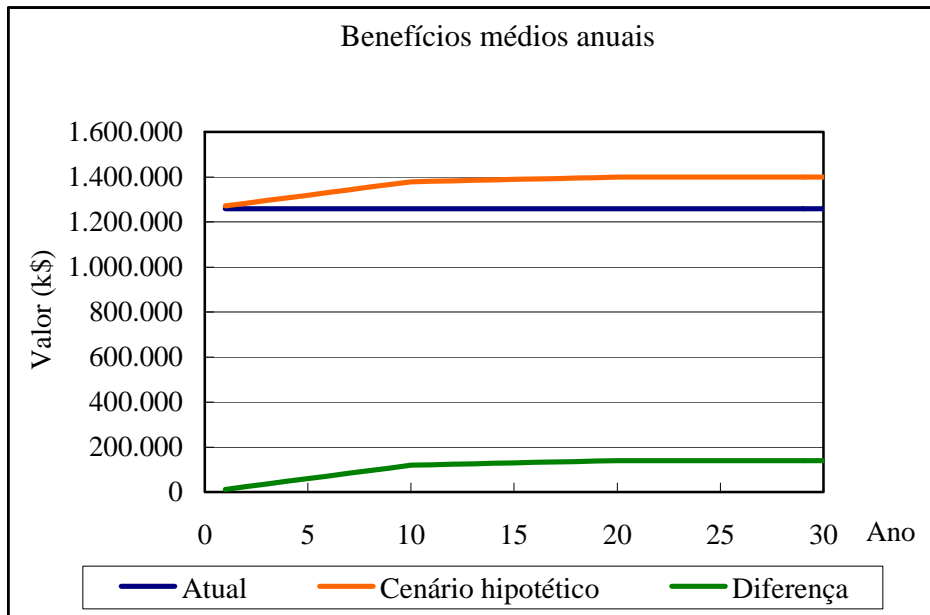


Figura 6.17 - Benefícios médios anuais obtidos por interpolação

A Figura 6.18 mostra a expectativa de benefícios e custos da série analisada.

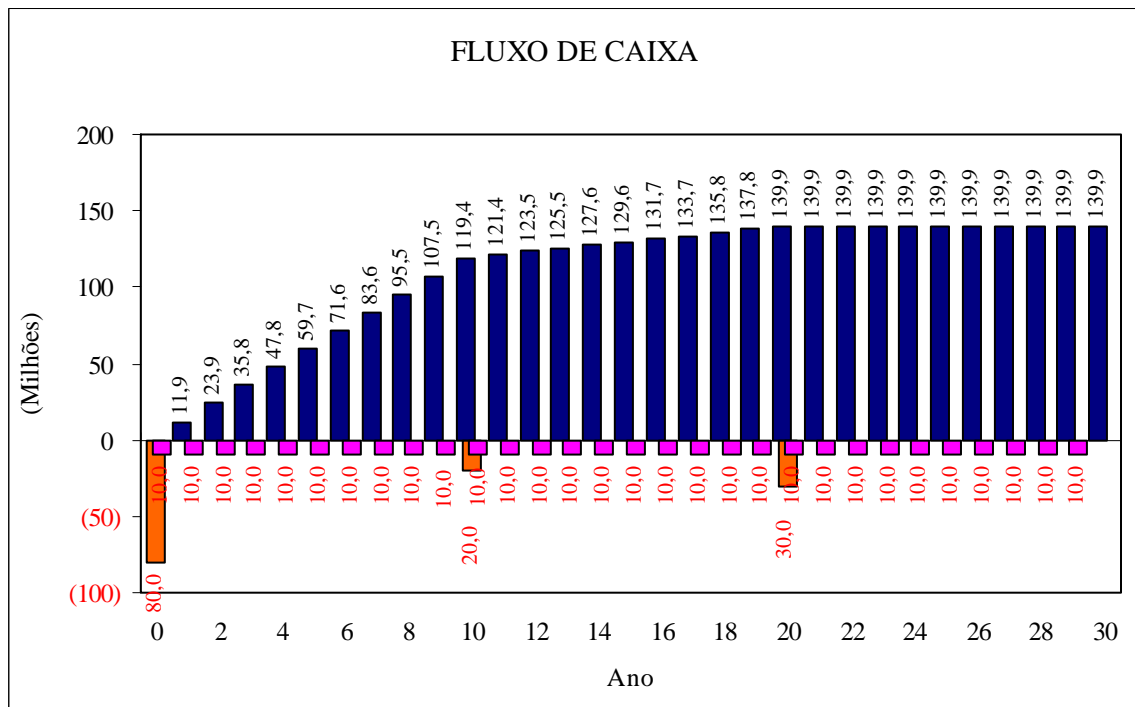


Figura 6.18 - Expectativa de fluxo de caixa para o cenário proposto

Da série de benefícios e custos de investimento, custos anuais e pontuais, calculam-se os indicadores econômicos que podem auxiliar no processo de tomada de decisão, apresentados na Tabela 6.13.

Tabela 6.13 - Dados do plano de investimentos e índices econômicos

Horizonte de projeto	(anos)	25
Custo para implantação do projeto	(\$)	100.000.000
Custos pontuais do programa de investimentos	Ano	10
	Ano	20
Taxa de juros	(%)	12,00%
Custo anual de operação	(\$)	10.000.000
Amortização anual + custo anual de operação	(\$)	29.124.995
Benefício bruto médio anual no cenário atual	(k\$)	1.259.026
Benefício bruto médio anual no cenário 1	(k\$)	1.371.084
Relação benefício/custo		3,68
Relação benefício - custo	(k\$)	82.933.501
Taxa interna de retorno econômico (TIRE)		38,81%
Valor presente líquido (VPL)	(k\$)	455.385

A Figura 6.19 apresenta o gráfico gerado para cálculo do VPL para diferentes taxas de atratividades, e o valor para a taxa escolhida durante a etapa de entrada de dados apresentada na Figura 5.13.

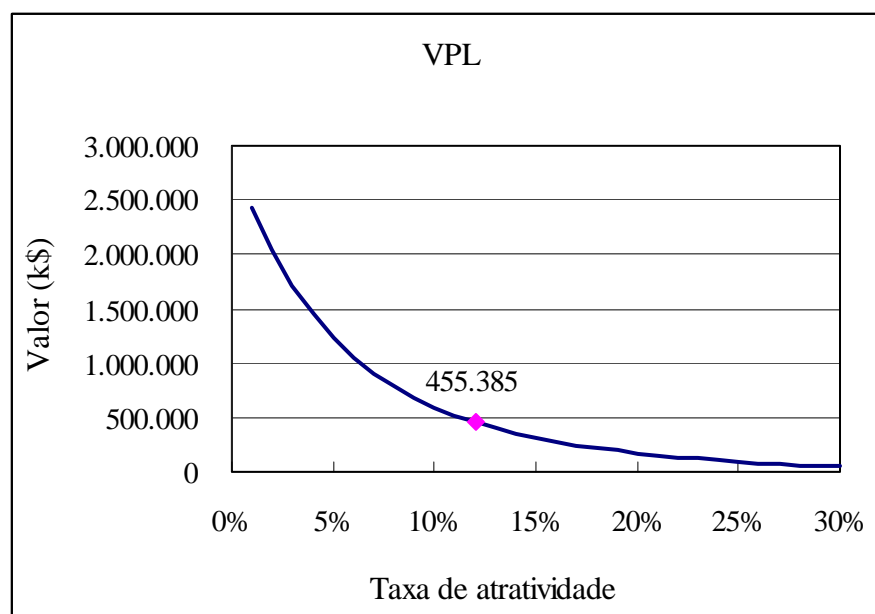


Figura 6.19 - Variação do VPL em função da taxa de atratividade

É importante ressaltar que os resultados numéricos aqui apresentados, para as diferentes simulações efetuadas, não correspondem, necessariamente, a situações reais ou factíveis, haja vista as simplificações adotadas e as hipóteses simplificadoras assumidas.

O que se buscou, em realidade, foi promover uma verificação da pertinência do protótipo, avaliando-se a lógica das simulações.

É evidente que são factíveis as utilizações da abordagem para avaliações de decisões reais, mas a um custo de levantamentos de dados e de análises *ad hoc* que fogem ao escopo e à natureza deste trabalho de pesquisa.

## 7 - CONCLUSÕES

Este estudo procura contribuir na discussão do uso dos instrumentos de gestão de recursos hídricos previstos na Lei 9.433/97, notadamente cobrança, outorga e enquadramento, combinados aos conceitos e limitações da abordagem econômica no trato da gestão e do planejamento, buscando sua compatibilização com a disponibilidade desse recurso na natureza. Diante disso, e das inúmeras incertezas associadas aos processos físicos, disponibilidade de dados e o nível de conhecimento dos sistemas, a gestão dos recursos hídricos procura evitar ou minimizar o surgimento dos cenários de conflito na repartição da água.

A implementação dos instrumentos de gestão previstos na política de recursos hídricos se mostra como uma estratégia capaz de dar uma resposta não só a esse desafio, como também, à necessidade de evolução do sistema de gerenciamento.

Assim, é natural que o encaminhamento de tais questões requeira a utilização de técnicas e métodos capazes de auxiliar os profissionais e a sociedade na preparação e na tomada de decisões na gestão da água. Entende-se que os sistemas de apoio a decisões podem auxiliar nessa tarefa, uma vez que se pode analisar um número maior de alternativas, conhecer melhor os problemas e suas possíveis soluções e avaliar de modo mais preciso as conseqüências das decisões.

Visando a contribuir com a formulação de ferramentas de apoio ao processo de tomada de decisões relativas a outorga, cobrança e enquadramento, propôs-se, no âmbito desta pesquisa, o desenvolvimento de interfaces computacionais que possam ser acopladas ao Acquanet e contemplem a análise relativa a esses instrumentos. As proposições apresentadas ao longo do estudo visaram, assim, a permitir a avaliação do impacto financeiro e econômico associados a uma decisão.

A concepção do estudo permitiu avaliar as bases conceituais da avaliação econômica para cobrança pelo uso da água, além do desenvolvimento e da aplicação de um simulador de cobrança. A partir das séries de vazões alocadas pelo Acquanet às demandas apresentadas na rede de fluxo, o sistema pode calcular a receita potencial de um sistema hídrico passível

de cobrança, avaliar os benefícios de cenários de avaliação de outorga ou da implantação de projetos de melhoria ambiental e da qualidade da água.

Foi realizada uma aplicação na bacia da barragem Descoberto, no Distrito Federal. O objetivo da aplicação foi determinar a receita potencial de cobrança na bacia a partir de preços negociados e da determinação de preços ótimos para os diversos usos, além da arrecadação de recursos para viabilizar um plano de investimentos. Avaliaram-se, também, os benefícios econômicos advindos da outorga de água para o abastecimento da cidade de Águas Lindas (GO), com o aumento da capacidade de reservação da barragem, bem como uma decisão associada ao enquadramento do corpo d'água.

A aplicação hipotética feita demonstrou não só a potencialidade da abordagem, como a pertinência de se utilizá-la nas decisões para outorga, cobrança e enquadramento, quer seja sob a ótica do órgão gestor, quer seja sob a ótica de um Comitê de Bacia ou do próprio usuário ou empreendedor. Uma utilização dessa abordagem para uma decisão real requereria o levantamento de uma série de dados e a determinação de uma série de coeficientes, o que seria justificável no caso de bacias em que são importantes os conflitos pelo uso da água.

A alocação da água é tema bastante complexo que, além das questões econômicas, envolve também, questões legais, institucionais, técnicas e sociais, o que leva a considerar que o uso desse SAD sempre deverá estar associado a análises de outra natureza. A escolha da metodologia mais apropriada para estabelecer um valor econômico para a água ou para seu uso é uma tarefa não-trivial, pois, além de requerer um amplo conhecimento de métodos econômicos, demanda o levantamento de uma série de dados, com níveis diferenciados de incerteza, bem como e a adoção de uma série de hipóteses simplificadoras. Entretanto, o recurso a esse tipo de análise levará sempre, ao menos, a um melhor conhecimento do problema e dos interesses em jogo.

Espera-se que o sistema de avaliação de enquadramento possa auxiliar a avaliar a relevância social e a viabilidade econômica de projetos na área de saneamento básico e ambiental, tendo em vista que compete ao gerenciamento dos recursos hídricos propor a implementação dos projetos economicamente viáveis. Os cenários de enquadramento

podem ajudar a avaliar em que momento os projetos se justifiquem economicamente. Por outro lado, os projetos pouco viáveis devem ser reavaliados, para torná-los compatíveis à demanda social, ou até mesmo buscando-se novas tecnologias alternativas que sejam economicamente viáveis.

Os diagramas foram desenvolvidos como insumos para aplicativos para uso conjugado com o Acquanet, permitindo incorporar a avaliação econômica e financeira às análises de decisão referentes aos instrumentos de gestão, mas demandam, entretanto, investimento computacional complementar para desenvolvimento dos aplicativos correspondentes em ambiente amigável. Como recomendação sugere-se, assim, o desenvolvimento dos aplicativos, realizando-se testes sob mais situações.

Sugere-se, também, como forma de aprimoramento do sistema de cobrança pelo método dos preços ótimos, utilizar segmentos de reta para determinar a função de demanda, ao invés de aproximá-la por somente um segmento, uma hipótese bastante simplificadora. Da mesma forma, sugere-se a incorporação de outros métodos de determinação de preços que possam ser escolhidos pelo usuário do sistema.

Para a análise de concessão de outorga, além de se executar o balanço hídrico de uma rede levando-se em conta as vazões outorgáveis, usos consuntivos, usos não-consuntivos, vazões de retorno e prioridades de atendimento, sugere-se que o sistema possa estar associado a um banco de dados de outorgas já concedidas, a sistemas de informação geográfica e a estudos de regionalização hidrológica.

Com relação ao enquadramento, sugere-se que, de alguma forma, sejam criados índices que permitam avaliar as taxas de retorno do ponto de vista social, questão que carece de melhor formulação. Além disso, diante da dificuldade de se imputarem valores aos benefícios econômicos advindos da água alocada, sugere-se que seja incorporada uma análise do tipo custo/efetividade, uma vez que, nesse caso, não é necessária a estimativa dos benefícios econômicos.

Recomenda-se, também, para uma utilização do método em um caso real de decisão de alocação de água no Distrito Federal, que sejam realizados estudos mais aprofundados sobre a bacia do lago Descoberto: i) em primeiro lugar, para a determinação mais adequada

de curvas de benefício marginal, em especial, para as vazões remanescentes; ii) em segundo lugar, para avaliação das reais demandas existentes na bacia, uma vez que os dados existentes, com exceção da demanda para abastecimento público, são pouco confiáveis.

Os pontos assinalados são avaliados como essenciais para se promover uma abordagem mais efetiva sob a ótica econômica, das decisões relativas ao uso dos recursos hídricos, o que certamente contribuirá para uma maior eficiência na ação de um setor que se acha ainda em construção no País, e que, muito poderá beneficiar do recurso a sistemas de apoio a decisão que privilegiem o trato analítico das questões e a análise econômica e financeira das opções de alocação de água.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA (2004). Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – PBHSF (2004-2013) – Resumo Executivo, Brasília, Brasil.
- Afonso, R. (2001). *Internalização de Variáveis Ambientais nos Estudos de Inventários de Bacias Hidrográficas*. Dissertação de Mestrado em Economia, Departamento de Economia, Universidade de Brasília, Brasília.
- Azevedo, L. G. T., Porto, R. L. e Zahed, K. F°. (1997). *Modelos de Simulação e de Rede de Fluxo*. In: PORTO, R. L. *et al.*, Técnicas quantitativas para o gerenciamento de Recursos Hídricos, 1ª ed, ABRH-EUFRGS, 165-237.
- Baltar, A. M. (2001). *Sistema de Apoio à Decisão para Avaliação Econômica da Alocação de Recursos Hídricos: Aplicação à Barragem do Rio Descoberto*. Dissertação de Mestrado, Publicação MTARH. DM-032A/2001, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 117p.
- Banco Mundial (2003). *Brazil: Equitable, Competitive & Sustainable – Contributions for Debate*. The World Bank, Washington, E.U.A.
- Barth, F.T. (1987). “Fundamentos para Gestão de Recursos Hídricos”. In: Barth, F.T. *et al.* *Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Nobel/ABRH, São Paulo, Brasil, 1-91.
- Braden, J.B. (2000). “Value of valuation - Introduction”. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 126(6), 299-307.
- Braga, B., Barbosa, P.S.F. e Nakayama, P.T. (1998). “Sistemas de Suporte à Decisão em Recursos Hídricos”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 3(3), 73-95.
- Canali, G.V. (2000). *Water Resources Management Brazilian and European Trends and Approaches*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, Brasil.
- Carramaschi, E.C. (2000). *Análise do Comportamento da Demanda por Água para Irrigação na Região do Córrego da Rocinha no Distrito Federal*. Dissertação de Mestrado, Publicação MTARH. DM-020A/2000, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 98p.
- Carrera-Fernandez, J. (2000). *Estudo de Cobrança pelo Uso da Água na Bacia do Rio Pirapama*. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, Companhia Pernambucana do Meio Ambiente, Recife, Brasil.

- Carrera-Fernandez, J. e Garrido, R. (2002). *Economia dos Recursos Hídricos*. Editora da Universidade Federal da Bahia - EDUFBA, Salvador, Brasil.
- Crammond, J.D. (1996). Leasing water rights for instream flow uses: a survey of water transfer policy, practices, and problems in the Pacific Northwest. *Environmental Law*, 26(1), 225-263.
- Colby, B. G. (1990). “Enhancing Instream Flow Benefits in a Era of Water Marketing”. *Water Resources Research*, 26(6), 1113-1120.
- Cordeiro Netto, O. M. (1993). A estimativa de um valor econômico para a água como um dos elementos integrantes de gestão racional dos recursos hídricos. *Anais do X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (ABRH)*, Gramado, Brasil.
- Cosgrove, W. J. e Rijsberman, F. R. (2000). *World Water Vision: Making Water Everybody's Business*. Earthscan Publications. London
- Deacon, R.T. e Kolstad, C.D. (2000). “Valuing Beach Recreation Lost in Environmental Accidents”. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 126(6), 374-381.
- Favoreto, R.S., Pereira Filho, D.L.B., Burmaster, C.L. e Hilu, A.(2003). A Aplicação da Cobrança pelo Uso da água no Estado de São Paulo. *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (ABRH)*, Curitiba, Brasil.
- Garrido, R. (2003). Aspectos Institucionais da Outorga e da Cobrança pelo Uso da Água. *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (ABRH)*, Curitiba, Brasil.
- Hanley, N. e Spash, C. L. (1993). *Cost and Benefit Analysis and the Environment*. Edward Elgar, Inglaterra e EUA, pp. 74-110.
- Hoen, J.P e Krieger, D.J. (2000). “Economic Analysis of Water Service Investments and Tariffs in Cairo, Egypt”. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 126(6), 345-350.
- Howe, C.W. (1982). “ The Impact of Price on Residential Water Demand: Some New Insights”. *Water Resources Research*, 18(4), 713-716.
- Jonhsson, R.M.F. (2003). A Construção do Pacto em Torno da Cobrança pelo Uso da Água na Bacia do Rio Paraíba do Sul. *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (ABRH)*, Curitiba, Brasil.
- Labadie, J.W. (1988). *Program MODSIM: River Basin Network Flow Model for the Microcomputer*. Colorado State University, Colorado, E.U.A.
- Labadie, J. W. (1998) *Reservoir System Optimization Models. In: Decision Support Systems Applied to Water Resources Engineering*, São Paulo, Brasil.

- LABSID (2004). “*Sistema de Suporte a Decisões Aplicado à Gestão e Planejamento de Recursos Hídricos*”. Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Lanna, A.E.L. (2000). “Sistema de Apoio à Decisão para a Outorga e Cobrança pelo Uso da Água”. In: Galvão, C.O., Porto, R.L.L., Azevedo, L.G., Lanna, A.E.L. *Curso de Pós-Graduação Lato Sensu - Especialização em Instrumentos Técnicos, Jurídicos e Institucionais de Suporte ao Gerenciamento de Recursos Hídricos - Módulo 4*. Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Lanna, A.E.L. (2003). “Água Boa Para Todos – Como Obtê-la?”. *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (ABRH)*, Curitiba, Brasil.
- Leeuwestein, J.M. (2000). *Proposição de suporte metodológico para enquadramento de cursos de água*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação MTARH.DM-028A/00, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 201p.
- Loomis, J.B. (1998). “Estimating the Public’s Values for Instream Flow: Economic Techniques and Dollar Values”. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(5), 1007-1013.
- Loomis, J.B. (2000). “Environmental Valuation Techniques in Water Resource Decision Making”. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 126(6), 339-344.
- Loomis, J.B., Koteen, J., Alexander, S.J. (2002). *Evaluating benefits and costs of changes in water quality*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 32 p , Oregon, E.U.A.
- Magna (2003a). Relatório de Reavaliação Hidrológica – Volume I. *Estudos de Concepção e de Viabilidade Técnica e Econômica para Elevação da Crista do Vertedouro da Barragem do Rio Descoberto– 2003*. Magna Engenharia Ltda, Porto Alegre, Brasil.
- Magna (2003b). Levantamentos Topobatemétricos – Texto. Volume II. *Estudos de Concepção e de Viabilidade Técnica e Econômica para Elevação da Crista do Vertedouro da Barragem do Rio Descoberto– 2003*. Magna Engenharia Ltda, Porto Alegre, Brasil.
- Moura, L. A. A. de (2000). *Economia Ambiental: Gestão de Custos e Investimentos*. Editora Juarez de Oliveira, São Paulo, Brasil.
- Mueller, C. C. (2001). “Elementos de Valoração de Custos e Benefícios Ambientais”, in: *Manual de Economia do Meio Ambiente*. ECO-NEPAMA, Brasília, 174-180.

- Nandalal, K. D. W., Simonovic, S. P. (2002). “*State-of-the-Art Report on Systems Analysis Methods for Resolution of Conflicts in Water Resources Management*”. Division of Water Science, UNESCO.
- Nieswiadomy, M.L. (1992). “Estimating Urban Residential Water Demand: Effects of Price Structure, Conservation, and Education”. *Water Resources Research*, 28(3), 609-615.
- Nogueira, J. M., Medeiros, M. A. A. de, e Arruda, F. S. T. (2000). Valoração Econômica do Meio Ambiente: Ciência ou Empirismo. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*, 17(2), 81-115.
- Pires, V.A.C. (2004). *Metodologia para definição de gestão estratégica de reservatórios de usos múltiplos: o caso do lago Paranoá, no Distrito Federal*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 203p.
- Porto, R. L. L., e Castro, H. L. (2003). Avaliação da Disponibilidade Hídrica para Abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo com o Uso de um Sistema de Suporte a Decisões. *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (ABRH)*, Curitiba, Brasil.
- Porto, R. L. L., Rêgo, M., Azevedo, L. G. T., e Baltar, A. M. (2003). “*Sistemas de Suporte à Decisão para a Outorga de Direitos de Uso da Água no Brasil*”. Série Água Brasil, volume 2, Banco Mundial, Brasília, Brasil.
- Porto, R. L. L., e Souza Filho, F. A. (2005a). Economia do Meio Ambiente e o Impacto a Terceiros. *Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (ABRH)*, João Pessoa, Brasil.
- Porto, R. L. L., e Souza Filho, F. A. (2005b). A justiça alocativa e critérios de avaliação dos mecanismos de alocação. *Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (ABRH)*, João Pessoa, Brasil.
- Porto, R. L. L. e Souza Filho, F. A. (2005c). Modelo de Alocação Comando e Controle (MACC) Utilizando Teoria dos Jogos – Uma Proposta. *Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (ABRH)*, João Pessoa, Brasil.
- Roberto, A. N., Porto, R. L. L., Zahed, K. F. (1997). Sistema de Suporte a Decisões para Análise de Cheias em Bacias Complexas. *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (ABRH)*, Vitória, Brasil.

- Roberto, A. N. e Porto, R. L. L. (1999). Alocação da Água entre Múltiplos Usos em uma Bacia Hidrográfica. *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (ABRH)*, Belo Horizonte, Brasil.
- Roberto, A. N. (2002). *Modelos de Redes de Fluxo Para Alocação da Água Entre Múltiplos Usos em Uma Bacia Hidrográfica*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 105p.
- Seroa da Motta, R. (1998). *Utilização de Critérios Econômicos para a Valorização da Água no Brasil*. Serviço Público Estadual, Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Rio de Janeiro, Brasil.
- Seroa da Motta, R. e Mendes, F. E. (2001). Instrumentos Econômicos na Gestão Ambiental: Aspectos Teóricos e de Implementação. In: Romeiro, A. R., Reydon, B. P., Leonardi, M. L. A. *Economia do Meio Ambiente: Teoria, Políticas e a Gestão de Espaços Regionais*. Instituto de Economia da UNICAMP, 3ª edição, Campinas, Brasil.
- Shabman, L. e Stephenson, K. (2000). “Environmental Valuation and Its Economic Critics”. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 126(6), 382-388.
- Vaughan, W.J., Russel, C.S., Rodríguez, D.J., Darling, A.H., (2000). “Cost-Benefit Analysis Based on Referendum CV: Dealing with Uncertainty”. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 126(6), 351-357.
- Vieira Junior, A., Porto, R. L. L., Schardong, A., Roberto, A. N., Lisboa Neto, H., Oliveira, C. P. M. (2003). Sistema de Alocação de Água em Bacias Complexas pelo Método dos Pontos Interiores. *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (ABRH)*, Curitiba, Brasil.
- Yeh, W. (1985), Reservoir Management and Operations Models: A State-of-the-Art Review. *Water Resources Research*, 21(12), 1797-1818.
- Young, R.A. (1996). *Measuring Economic Benefits for Water Investments and Policies*. World Bank technical paper N° 338. The World Bank, Washington DC, E.U.A..