UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

FERNANDO SIMÃO E SILVA

Otimização da cobrança pelo uso da água para a gestão da demanda hídrica em cenários de longo prazo

São Carlos
2009

FERNANDO SIMÃO E SILVA

Otimização da cobrança pelo uso da água para a gestão da demanda hídrica em cenários de longo prazo

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação da Escola de Engenharia de São Carlos, departamento de Hidráulica e Saneamento para obtenção do título de Mestre em Hidráulica e Saneamento.

Área de concentração: Hidráulica e Saneamento
Orientador: Prof. Dr. Eduardo Mário Mendiondo

São Carlos
2009

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catalogação na Publicação

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

S586o

Silva, Fernando Simão e
Otimização da cobrança pelo uso da água para a gestão da demanda hídrica em cenários de longo prazo / Fernando Simão e Silva ; orientador Eduardo Mario Mendiondo. -- São Carlos, 2009.

Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009.

1. Elasticidade - custos. 2. Água virtual. 3. Preço unitário. 4. Recursos hídricos. 5. Comitê de bacias. 6. Racionalização. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **FERNANDO SIMÃO E SILVA**

Tese defendida e julgada em 06/11/2009 perante a Comissão Julgadora:

aprovado

Prof. Dr. **EDUARDO MARIO MENDIONDO (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)
Instituição:_____ Assinatura:_____

Prof. Dr.: _____

aprovado

Prof. Titular **LUISA FERNANDA RIBEIRO REIS** Assinatura:_____
Instituição:
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

Profª. Drª. **SILVIA HELENA GALVÃO DE MIRANDA**
(Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)

Prof. Associado **MARCELO ZAIAT**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Hidráulica e Saneamento

Prof. Titular **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão de Pós Graduação da EESC

DEDICATÓRIA

Ao avô José Simão, que nos deixou
durante a trajetória do mestrado e
sempre será lembrado.

RESUMO

SILVA, Fernando S.. **Otimização da cobrança pelo uso da água para a gestão da demanda hídrica em cenários de longo prazo.** 2009. 69 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2009.

A cobrança pelo uso da água é um instrumento de gestão de recursos hídricos previsto na Lei 9433/97, dentre outros objetivos, para incentivar o uso racional da água. Porém, os estudos e simulações feitos tratam a cobrança apenas como instrumento de arrecadação. Este trabalho tem o objetivo de propor preços unitários para a água com base na necessidade de redução da demanda futura na bacia do Tietê-Jacaré. Para isso, apoia-se em cenários de demanda e oferta hídricas para os anos de 2010, 2025 e 2050 elaborados por Macêdo (2005), cujas estimativas de demanda são também melhoradas neste trabalho. Para modelar a relação entre cobrança e demanda, são usados modelos econométricos adaptados de outras bacias, especialmente a do Paraíba do Sul. Tudo isso serve de base para um algoritmo de otimização, usado para propor mudanças na política de cobrança, levando ao atendimento de metas como a redução da escassez dos recursos hídricos no futuro.

Palavras-chave: elasticidade-preço, preço unitário, recursos hídricos, comitê de bacias, racionalização.

ABSTRACT

SILVA, Fernando S. **Water pricing optimization for demand management in long-term scenarios**. 2009. 69 p. Dissertation (MSc) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2009.

Water pricing is a water resources management tool according to Brazilian Law 9433/97 and it serves the purpose of giving incentive to rational use of water, among others. However, studies and simulations treat pricing as a revenue generator mechanism only. This dissertation aims to propose water unit prices based on demand reduction needs in the Tietê-Jacaré basin, Brazil. In order to do it, it uses demand and supply scenarios for 2010, 2025 and 2050 developed by Macêdo (2005), whose estimates are also slightly improved here. Econometric models are used to model the relationship between pricing and demand and they are adapted from other basins, mainly the Paraíba do Sul one. All this serves as base for an optimization algorithm, which is used to propose changes in water pricing policy, leading to the attainment of water stress reduction goals in the future.

Keywords: Price elasticity, unit price, water resources, watershed comitee, rationalization

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
2 OBJETIVOS 14
2.1 Objetivo principal 14
2.2 Objetivos específicos 14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 15
3.1 Metodologia geral de cobrança 16
3.2 Como são estabelecidos os preços? 18
4. METODOLOGIA 46
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 61
6. RECOMENDAÇÕES 65
7 CONCLUSÃO 67
REFERÊNCIAS 70
APÊNDICE 73

1 INTRODUÇÃO

A ideia de cobrar financeiramente pela água bruta pode causar estranheza. Não seria a água uma dádiva da natureza livremente acessível a todos? Sabemos que, na prática, não é assim: a água não está disponível para todos, ela é um bem escasso. Existem regiões onde o volume de água não é suficiente para atender a todas as demandas e outras em que, mesmo que o volume seja suficiente, a qualidade da água não é adequada para todos os usos. A ideia do livre acesso à água não é, portanto, mais do que uma utopia.

Para restringir o acesso à água, precisamos de formas melhores do que a "lei da selva", segundo a qual o direito a determinado recurso é de quem pega primeiro. Para esse fim (restringir o acesso à água), vários países adotam sistemas de gestão de recursos hídricos, cujos instrumentos podem ser divididos em duas categorias: de comando e controle econômicos. Os instrumentos de comando e controle englobam todos os tipos de padrões de lançamento de poluentes, restrições de vazão retirada ou remanescente e prioridades de atendimento (abastecimento humano, por exemplo, tem prioridade sobre abastecimento industrial). Os instrumentos econômicos incluem taxas, subsídios, multas, compensações financeiras e a cobrança, sendo esta última o objeto de estudo deste trabalho.

No Brasil, a Lei Federal n° 9433 de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, prevê a cobrança pelo uso da água como um dos instrumentos de gestão. Segundo o artigo 19, a cobrança tem os objetivos de obter recursos para financiar as intervenções constantes dos planos de recursos hídricos, fornecer ao usuário uma indicação do valor econômico da água e incentivar a racionalização do uso da água. Estabelecer preços que cumpram os dois últimos objetivos exige técnicas muito mais complexas do que para cumprir o primeiro.

Por isso, os estudos de cobrança pelo uso da água têm focalizado, muitas vezes, a gestão da oferta hídrica. Ou seja, procura-se estabelecer o preço da água com base no custo das obras hidráulicas e sanitárias que porventura sejam necessárias na bacia onde a cobrança é aplicada, com o fim de melhorar a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos. Schvartzman *et al*. (2002) fizeram esse tipo de estudo para a bacia do rio Paraopeba (MG). Eles fizeram o balanço entre demandas e disponibilidades atual e futura (1996 e 2006) para a bacia, considerando os critérios de outorga do Estado de Minas Gerais. Em seguida, eles propuseram uma avaliação dos principais indicadores de poluição e alternativas de tratamento e, por fim, levantaram os custos da alternativa adotada para estabelecer os critérios de precificação e cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Este exemplo ilustra como o preço da água tem sido determinado.

Além de estudos como esse, são muito importantes as negociações que ocorrem nos comitês de bacias, condicionando os preços da água ao critério da aceitabilidade. Isso leva ao estabelecimento de preços possivelmente mais baixos que o desejável e também ao estabelecimento gradual da cobrança.

Para um estudo sobre o uso da cobrança pelo uso da água como instrumento de indução ao seu uso racional, foi selecionada a bacia do Tietê-Jacaré. Ela está localizada no Estado de São Paulo e engloba o município de São Carlos, onde foi realizado este trabalho. Nesta bacia, a implementação da cobrança está sendo discutida. Já existe legislação estadual definindo valores máximos e mínimos de preços e coeficientes de cobrança (Lei 12183/2005, Decreto 50667/2006), os quais foram estabelecidos pelos métodos mencionados anteriormente. Como a bacia do Tietê-Jacaré está totalmente inserida no Estado de São Paulo, ela está sujeita a essa legislação.

Para esta bacia, existem cenários futuros de oferta e demanda hídricas elaborados por Macêdo (2005) para os anos de 2010, 2025 e 2050. Esses cenários foram modificados devido

à nova divisão da bacia em sub-bacias (Wendland *et al.* 2007), sendo adotados como dados para gestão pelo Comitê de Bacias Hidrográficas (CBH-TJ). Algumas sub-bacias têm previsão de problemas sérios de escassez de água no futuro próximo. Isso facilita o estabelecimento de metas de redução de estresse hídrico: essa meta é evitar que a demanda hídrica ultrapasse a oferta. Portanto, quantitativamente, os preços propostos devem provocar a redução da demanda hídrica até um valor igual ao da oferta.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo principal

O objetivo geral deste trabalho é prevenir a escassez hídrica através da cobrança pelo uso da água: proposição de preços que levem os usuários a reduzir sua demanda em quantidade determinada.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Obter relação matemática entre as variáveis “demanda por água” e “preço da água” na bacia do Tietê-Jacaré para os diferentes setores usuários;

- Escrever equações para otimização dos preços da água de modo a atender ao objetivo de combate à escassez hídrica, sujeito a diversas restrições;

- Aplicar a metodologia proposta na bacia do Tietê-Jacaré para atender metas de planejamento no horizonte dos cenários de Macêdo (2010, 2025 e 2050).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção aborda as experiências de cobrança pelo uso da água, tanto nacionais quanto internacionais, e os métodos para definição dos preços da água. A seguir, aborda os conceitos complementares ao trabalho.

No item 3.1, é exposta, em linhas gerais, a forma como o valor cobrado de um usuário da água é calculado, mostrando o procedimento comum a todos os países que praticam a cobrança. O item 3.2 expõe metodologias para formação de preço da água, com destaque para:

- a Análise de Custo-Efetividade (ACE), muito útil para determinar o preço do lançamento de poluentes e
- a Regra de Ramsey-Boîteux, que busca a sustentabilidade financeira de monopólios (como costuma ser a gestão da água, pertencente ao Estado), mas cria distorções de distribuição de renda. Portanto, o efeito da metodologia utilizada será o oposto do efeito da aplicação da regra Ramsey.

Os itens 3.3 e 3.4 tratam da experiência internacional e da brasileira. Descrevem brevemente os mecanismos de cobrança e preços que cada local estabeleceu, comparando as experiências em seguida.

Para atingir metas de redução de demanda hídrica, é necessário conhecer a forma como os usuários reagem ao aumento no preço da água. As seções 3.5 a 3.10 tratam da estrutura de demanda dos usuários residenciais, agrícolas e industriais. São abordados: o modelo econométrico exponencial simples para a demanda residencial; o complexo modelo translog usado para a indústria; e a estrutura de demanda agrícola, que ainda não recebe um tratamento econométrico razoavelmente consensual. Comenta-se sobre a cobrança pela poluição hídrica e, no final, são feitos comentários breves sobre o impacto dos preços da água nas finanças dos diferentes grupos de usuários.

Finalmente, a seção 3.11 trata da estimativa dos cenários futuros de demanda e oferta hídrica no contexto do manejo adaptativo de longo prazo (Mendiondo *et al.* 2002).

3.1 Metodologia geral de cobrança

A cobrança pelo uso da água é estipulada de forma diferente dependendo do tipo de uso. Dentre diversas formas de classificar os usos da água sujeitos a cobrança, eles podem ser divididos em quantitativos e qualitativos (Thomas *et al* 2003). Os usos quantitativos são os usos diretos da água, geralmente envolvendo a retirada de determinado volume de um manancial superficial ou subterrâneo (captação) e sua incorporação em produtos, infiltração ou evaporação (consumo). Os usos qualitativos são os indiretos, o que, no caso da água, significa seu uso para assimilação de resíduos das atividades humanas. A forma de cobrança de cada tipo de uso e de cada país também varia, porém, existem semelhanças quanto à metodologia de cálculo dos valores cobrados.

O valor a ser cobrado de um usuário é obtido pelo produto de uma base de cálculo por um preço unitário e por coeficientes (Equação 3.1). Quando existe a cobrança por mais de um tipo de uso da água, os preços cobrados para cada uso são calculados independentemente e somados para gerar o preço final cobrado do usuário. Essa forma de cobrança é usada em vários países e também na bacia do Paraíba do Sul, no sudeste brasileiro (JMR/ENGECORPS 2005).

$$V_i = Q_i \times PU_i \times \prod_{j=1}^{n} K_{ij} \qquad (3.1)$$

sendo i o índice relativo ao tipo de uso (captação, consumo ou poluição) e n o número de coeficientes. As demais variáveis são explicadas nos parágrafos seguintes.

A base de cálculo (Q) é o uso da água devidamente quantificado. Caso se trate de um uso quantitativo (captação ou consumo), em geral, ela será o volume de água captado ou

consumido, expresso em m³. No caso do uso da água para assimilação de resíduos, a base de cálculo pode ser a carga lançada de determinados poluentes, principalmente DBO, ou o volume de água necessário para diluir determinado poluente até uma concentração aceitável.

No entanto, existem propostas variadas para a determinação da base de cálculo. Por exemplo, na proposta de Thomas *et al*. (2003), todos os usos seriam quantificados em termos da escassez de água que a atividade de um usuário causa aos demais, medida sempre em m³. Isto é, segundo essa proposta, supondo que um determinado uso da água fosse acrescentado a um manancial, a vazão disponível para outros usos a montante e/ou a jusante diminuiria em certa quantidade, que é usada como base de cálculo da cobrança. Em outro exemplo, a Alemanha quantifica o lançamento de poluentes em "unidades de nocividade", sendo que uma unidade de nocividade equivale, por exemplo, a 50 Kg de DBO ou 3 Kg de fósforo (Planágua 1997 apud JMR/ENGECORPS 2005), permitindo colocar o lançamento de diferentes poluentes na mesma escala.

A variável seguinte, o preço unitário (*PU*), é expressa em unidade monetária dividida pela unidade da base de cálculo (*Q*). Ele pode variar por tipos de uso e de usuário, sendo que alguns países ainda adotam outras variações, como aquelas relacionadas à estação do ano ou à bacia, cobrando mais nas estações secas e nas bacias com menor disponibilidade hídrica, por exemplo. As metodologias para determinação dos preços unitários serão discutidas na seção 3.2.

Além da variação dos preços unitários, os coeficientes (*K*) podem ser usados para ajustar os valores cobrados a diversas condições. Alguns exemplos de coeficientes aplicados no mundo incluem os de qualidade do corpo receptor (maiores valores para mananciais de melhor qualidade), época do ano, tipo de usuário, tipo de uso. Seus valores, em geral, não são muito distantes de 1. Porém, existem casos de coeficientes que modificam radicalmente o valor cobrado, como o $K_{agropec}$, aplicado na bacia do Paraíba do Sul, que diferencia o preço

unitário da água para os irrigantes e pecuaristas do preço para os demais usuários e tem o valor de 0,05 (Carvalho *et al.* 2006).

3.2 Como são estabelecidos os preços?

Serão comentados aqui os critérios técnicos usados para determinar o preço da água. Para mais detalhes, Aranha (2006) apresenta uma revisão de outros métodos para formação de preço da água em contextos mais específicos (e.g. métodos que funcionam apenas para agricultura irrigada) e expõe suas limitações e aplicabilidade.

É importante lembrar que a negociação com os diferentes grupos de usuários e a pressão exercida por eles, especialmente em países com gestão participativa dos recursos hídricos (como o Brasil), são muito importantes na determinação dos preços. Há casos em que a pressão de um setor faz com que ele pague preços mais baixos, outros em que os preços são muito baixos para garantir a aceitação gradual da cobrança e, ainda, casos em que os preços da água são inteiramente definidos por negociação dentro dos comitês de bacia. A determinação do preço da água no Brasil tem sido feita com pobreza de critérios técnicos.

Uma das formas mais simples de se determinar o preço da água é através do rateio dos custos das intervenções planejadas na bacia. A cobrança da água em vários países e no Brasil tem, dentre seus objetivos, a geração de receita para intervenções de melhoria dos recursos hídricos. O método do rateio de custos consiste em levantar os custos das intervenções planejadas e dividi-lo entre os usuários de forma a arrecadar o montante necessário dentro de determinado prazo. É um método simples e muito utilizado, porém, não leva em conta o objetivo de induzir o usuário da água ao seu uso racional. Exemplos de aplicação desse método podem ser encontrados em Schvartzman *et al*. (2002) e Pereira e Lanna (1998).

3.2.1 Análise de custo-efetividade (ACE)

Cánepa *et al.* (1999) escreveram sobre análise de custo-benefício (ACB) e análise de custo-efetividade (ACE) na cobrança pelo uso de recursos hídricos. Devido a razões que os autores expõem, a ACB é uma técnica bastante questionável para determinar o preço da água e não será abordada neste trabalho. A ACE, no entanto, pode ser usada principalmente para o caso da cobrança pela poluição da água.

Conforme explicam Cánepa *et al.*, a aplicação da ACE para o caso da cobrança por poluição da água necessita de uma curva de custo de abatimento da poluição (Figura 1). Essa curva varia de poluidor para poluidor e é difícil obter muitos pontos da curva para cada atividade poluidora – ou seja, não é fácil saber quanto uma determinada indústria gastaria para tratar 10% de sua poluição, quanto gastaria para tratar 20% etc. Assim, o melhor é construir uma curva "geral" para a bacia. Isso se faz da seguinte forma:

- Obtém-se o custo de tratamento de, por exemplo, 80% da carga orgânica de cada poluidor;
- Organizam-se esses valores por ordem crescente de custo unitário (R$/kgDBO). O custo de remoção da poluição restante (neste exemplo, os últimos 20%) é colocado no final, sendo considerado economicamente proibitivo;
- Constrói-se uma curva tendo a DBO total lançada na bacia (Kg ou %) por unidade de tempo como abscissa e o custo unitário de abatimento, em R$/(kgDBO*tempo), como ordenada.

Quanto mais pontos a curva possuir, mais se aproximará de uma função contínua, como na Figura 1.

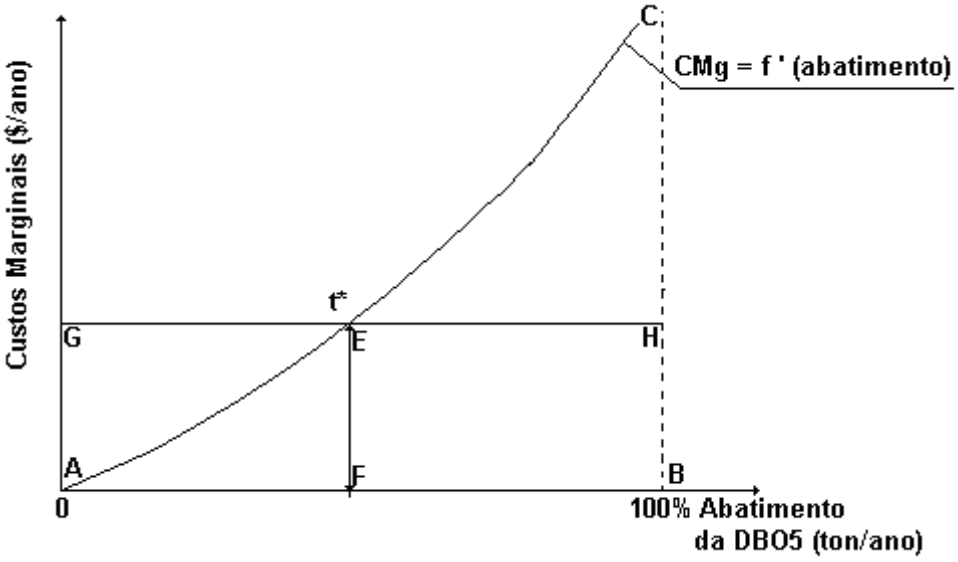

Figura 1: custos marginais de abatimento de DBO (adaptado de Cánepa *et al.*1999)

Ajustando-se a tarifa ao custo marginal t* do nível de abatimento que se deseja atingir (Figura 1), espera-se que os poluidores com custo de abatimento menor que t* invistam em tratamento de efluentes, enquanto os demais preferirão pagar pela poluição lançada. Os gastos com essa alternativa são representados pela área AEF+EHBF (custos de controle mais pagamentos pela poluição) e são claramente menores do que os gastos com abatimento total da poluição (área ACB) e com pagamento de multas sem investimento em controle (área GHBA), sendo também menores que qualquer opção intermediária.

No exemplo da bacia do Rio dos Sinos exposto no artigo de Cánepa *et al.* (1999), podem-se abater 40% da poluição (DBO_5) na bacia através da redução de 80% da carga poluidora da atividade de criação de animais (aquela com menor custo de abatimento). Essa estratégia faria com que a qualidade dos cursos de água da bacia atingisse o nível desejado, através de uma alocação de recursos mais eficiente do que exigindo que cada poluidor reduzisse 40% de sua carga lançada.

Pode-se observar que a ACE é um bom método para determinar o preço dos usos qualitativos da água, mas não dos usos quantitativos. No caso dos qualitativos, é factível

construir curvas de custo de tratamento de poluição. Esse custo é, em outras palavras, o custo de se deixar de usar a água para diluir poluentes – o "custo de não-uso". No caso dos usos quantitativos, o "custo de não-uso" é difícil ou impossível de determinar: qual seria o custo assumido por uma dona de casa ao deixar de usar água (ou usar menos água) em suas atividades? Como seria construída a curva de "abatimento do consumo" de água? Cánepa *et al.* comentam brevemente sobre a questão da valoração dos usos quantitativos, mas, para aplicar a metodologia, é necessário quantificar o lucro que se pode obter através do uso de determinado volume de água. Esse cálculo se aplica principalmente ao setor agrícola, ou seja, podemos saber quanto dinheiro o produtor "perde" ao usar menos água, mas não se aplica ao setor residencial, em que tal uso se reverte não em lucro, mas em benefícios à saúde, conforto etc.

3.2.2 Regra de Ramsey- Boîteux

A Regra de Ramsey-Boîteux ou Regra de Preços Públicos é usada para definir tarifas que levem à eficiência econômica de monopólios buscando a sustentabilidade financeira. Quando uma firma monopolista cobra um preço igual ao custo médio de produção acrescido de uma margem de lucro fixa, ela garante a sustentabilidade financeira, mas não a eficiência econômica, pois qualquer gasto ineficiente (perdas no sistema de abastecimento de água, por exemplo) será repartido entre os consumidores. Porém, se a firma cobrar um preço igual ao custo marginal de produção, os custos fixos não serão cobertos e a firma irá à falência. A Regra Ramsey é uma forma de atribuição de preços que visa a acrescentar uma margem ao custo marginal de modo a buscar a sustentabilidade financeira juntamente com a maximização do bem-estar social (Araújo, 2001).

A diferença entre o preço cobrado e o custo marginal é inversamente proporcional à elasticidade-preço da demanda dos diferentes produtos ou usuários (Equação 3.2 - Araújo,

2001). A lógica dessa equação é que, quanto mais o nível de consumo for preservado, maior será o bem-estar alcançado e mais fácil será sustentar financeiramente a firma prestadora de serviço. Assim, deve-se cobrar menos dos consumidores com maior elasticidade-preço, já que, mediante um aumento de preço, eles reduzirão mais seu consumo, sofrendo assim uma perda maior de bem-estar. Além disso, como os consumidores de menor elasticidade-preço reduzem menos seu consumo, aumentar o preço para eles não implica uma grande redução de receita para a firma.

$$\frac{p_i - CM_i}{CM_i} = \frac{\alpha}{e_{ii}} \qquad (3.2)$$

sendo: p_i o preço do bem ou serviço i, CM_i seu custo marginal no ponto de operação, α um fator de proporcionalidade (menor que 1) e e_{ii} o valor absoluto da elasticidade-preço da demanda do bem ou serviço no mesmo ponto.

Existem sérias controvérsias à aplicação da Regra Ramsey aos bens cujo acesso universal deve ser garantido. Embora haja propostas de formação de preço usando essa regra (e.g. Melo e Jorge Neto 2007, para as tarifas de saneamento) e ela seja aplicada à cobrança pelo uso da água em alguns países (ver seção seguinte), ela tende a criar distorções na distribuição de renda. Os usuários com menor elasticidade-preço são os domésticos e, dentro do sub-grupo dos usuários de baixa renda, a elasticidade-preço é menor ainda (Ribeiro *et al.* 1999). Ou seja, a aplicação da Regra Ramsey faria com que os maiores preços fossem cobrados dos usuários domésticos (em detrimento dos industriais), sendo que eles são o primeiro grupo a quem o acesso à água deve ser garantido. Essa e outras objeções, como a dificuldade de se determinar o custo marginal e as elasticidades-preço, são apontadas pelo estudo de Araújo (2001).

No entanto, é interessante observar que, neste trabalho, a lógica usada será a oposta daquela usada na Regra Ramsey-Boîteux. Esta considera que a diminuição da demanda

significa perda de bem-estar social, mas, no caso do consumo de água, é o contrário: quanto mais água permanecer disponível, maior o bem-estar social, respeitadas as prioridades de atendimento. Portanto, ao invés de atribuir preços que minimizem a queda da demanda de água, este trabalho tem o objetivo de maximizá-la. Ou seja, a tendência será atribuir preços maiores aos usuários de maior elasticidade-preço.

3.3 Experiência internacional de cobrança

A cobrança pelo uso da água pode ser considerada uma experiência recente no mundo. JMR/ENGECORPS (2005), em sua revisão, citam a situação dos países da OCDE (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico) em relação ao tema. Áustria, Finlândia, Grécia, Irlanda e Japão não cobram pelo uso da água. Hungria e Itália cobram apenas pela quantidade, ou seja, não cobram pela poluição lançada nos cursos de água. Bélgica, Canadá, Rep. Tcheca, França, Alemanha, México, Holanda, Espanha e Inglaterra cobram. Portugal tem a cobrança prevista em lei.

Para falar da experiência dos diferentes países em relação à cobrança pelo uso da água, foram usados principalmente os trabalhos de Aranha (2006), JMR/ENGECORPS (2005) e Seroa da Motta (1998). Os dois primeiros também falam da experiência brasileira na bacia do Paraíba do Sul.

A experiência mais antiga de cobrança é a da França (1967), seguida por Holanda (1970), Alemanha (1981), México (1991), Colômbia (1997) e, no Brasil, pelo Estado do Ceará (1997) e pela bacia do Paraíba do Sul no Brasil (2003). Pode-se considerar que as experiências mais bem-sucedidas são as dos três primeiros países, que atingiram parcialmente o objetivo de provocar a racionalização do uso da água por parte dos usuários. Em geral, pode-se dizer que maior atenção foi dada à cobrança pela poluição da água. Houve

insatisfação de alguns grupos de usuários na França e, no México e na Colômbia, a rejeição da cobrança por parte dos usuários levou a altos índices de inadimplência.

A responsabilidade pela determinação dos preços é descentralizada na França, na Holanda e na Alemanha, e centralizada no México. Apenas na França, a gestão é feita por bacia hidrográfica, assim como no Brasil, enquanto os outros países adotam outras formas de divisão territorial na gestão de recursos hídricos.

Os usuários que pagam os preços mais elevados são os industriais ou os residenciais, conforme o país. França, Alemanha e Holanda adotaram o princípio dos preços públicos (ou Regra de Ramsey-Boïteux, explicada no item 3.2) de forma indireta para determinar o valor do preço unitário para cada setor usuário. Assim, na França, como os usuários residenciais possuem demanda menos preço-elástica, os valores cobrados deles são maiores, uma vez que essa é a conseqüência da aplicação da Regra Ramsey. Já no México, que adota critérios diferentes daqueles usados pelos países supracitados, cobra-se mais dos maiores usuários e poluidores, sendo o preço cobrado para o setor industrial maior. Na bacia do Paraíba do Sul, diferentemente dos exemplos citados, não houve diferenciação da cobrança entre os usuários residenciais e industriais: ambos os setores pagam o mesmo valor pelo metro cúbico de água.

Em todos os locais citados no parágrafo anterior, os usuários rurais – irrigantes e pecuaristas – pagam preços menores ou são dispensados da cobrança pelo uso da água. A cobrança sobre a poluição, em geral, não foi aplicada ao setor devido ao fato de a poluição do meio rural ser lançada de forma difusa e, portanto, ser difícil de quantificar individualmente por usuário. Ainda, segundo JMR/ENGECORPS: “Em praticamente todos os países em que a cobrança vigora, o setor agropecuário mostra-se hostil ao instrumento e apresenta uma importante capacidade de mobilização para evitar que o uso agrícola da água seja cobrado. Na maioria dos casos, argumenta-se que a cobrança acarretará em importantes custos adicionais aos usuários agrícolas.”

Os melhores resultados de redução de consumo e poluição ocorreram nos três países europeus citados. A Holanda se destaca por ter elaborado preços visando à geração de receita, mas que, por serem altos e crescentes, acabaram induzindo à diminuição no consumo e no lançamento de poluentes. A Alemanha, ao contrário, possui baixa arrecadação por oferecer descontos generosos a quem investe em mitigação de poluição e por possuir força institucional para fazer valer as normas ambientais. Todos os três (França, Alemanha e Holanda) investem os recursos principalmente em serviços de água e esgoto dos municípios.

3.4 A experiência brasileira

3.4.1 O caso do Ceará

O modelo de cobrança aplicado no Ceará é totalmente voltado para a geração de receitas e operação do sistema de abastecimento de água. Como o estado não tem rios perenes e a maior parte da oferta de água é suprida por reservatórios e barragens (60%), a cobrança levou em conta o custo de transporte da água, a capacidade de pagamento dos usuários e a confiabilidade do sistema (em termos de regularidade do serviço de abastecimento). Há cobrança apenas pela quantidade, não pela qualidade (i.e, lançamento de poluentes), facilitando a aplicação. A receita gerada cobre os custos operacionais da COGERH (Companhia de Gestão de Recursos Hídricos).

A cobrança no Ceará não possui metas relacionadas à indução do uso racional da água e não é deliberada em comitês de bacias como preconiza a Lei 9433/97, a Política Nacional de Recursos Hídricos. No entanto, ajuda a garantir a regularidade do abastecimento da água em uma região de baixa renda onde há um equilíbrio delicado entre oferta e demanda hídrica e, por isso, pode ser considerada um exemplo de solução adequada e bem-sucedida para aquela realidade (JMR/ENGECORPS 2005). Esse modelo não será abordado em mais detalhes neste trabalho porque a realidade da bacia em estudo é bastante diferente da realidade cearense.

3.4.2 As bacias pioneiras

No Brasil, além do Ceará, a cobrança pelo uso da água foi aplicada apenas na bacia do Paraíba do Sul e nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (conjuntamente nestas três últimas, chamadas PCJ), começando nos anos de 2003 e 2006 respectivamente. No triênio 2003-2005, a cobrança foi aplicada de forma simples e em caráter transitório na bacia do Paraíba do Sul. O comitê das bacias PCJ se aproveitou da experiência do comitê da bacia do Paraíba do Sul (CEIVAP), que, por sua vez, partilhou das avaliações do comitê PCJ quando da revisão de sua metodologia (Carvalho *et al.* 2006).

A cobrança aplicada pelo CEIVAP nos primeiros três anos seguiu os critérios de simplicidade, aplicabilidade e aceitabilidade por parte dos usuários. A fórmula para cálculo do valor cobrado é expresso pela Equação 3.3. Como se vê, o uso quantitativo não era cobrado com base na carga poluidora, mas sim na vazão efluente e na eficiência de remoção de DBO. A cobrança incidia não sobre o volume realmente captado, mas sim sobre o outorgado. Tudo isso são imperfeições toleradas em nome da simplicidade do modelo, que foram corrigidas posteriormente (Carvalho *et al.* 2006).

$$VT = (Q_A \times K_0 \times PPU) + (Q_A \times K_1 \times PPU) + [Q_A \times (1 - K_1)(1 - K_2 K_3) PPU] \qquad (3.3)$$

Captação Consumo Diluição de efluentes

Sendo:

VT = valor total da cobrança pelo uso da água

Q_A = vazão captada, de acordo com o volume outorgado

K_0 = coeficiente de captação, definido pelo CEIVAP ($K_0 < 1$). Expressa a idéia de que a captação causa menos impacto na disponibilidade de recursos hídricos do que o consumo.

K_1 = coeficiente de consumo (i.e., proporção da água captada que não é retornada aos corpos hídricos), que varia de acordo com o setor de atividade

K_2 = percentual de efluente tratado

K_3 = nível de eficiência na redução de DBO, que varia de acordo com os equipamentos de controle de poluição adotados pelo usuário

PPU = preço público unitário (R$/m^3), definido pelo CEIVAP. Varia conforme o tipo de uso da água (Tabela 1)

Setor	**PPU (R$/m³)**	**Outros critérios**	**Uso insignificante**
Saneamento e indústria	0,02	-	1 L/s
Agropecuária	0,0005	DBO = 0, exceto suinocultura Impacto<0,5% custo produção	
Aqüicultura	0,0004	Consumo e DBO = 0 Impacto<0,5% custo produção	
Mineração de areia	0,02	Calculo das vazões a partir da produção de areia, da razão de mistura e do teor de umidade	
PCHs	-	0,75% x Energia gerada x TAR	1 MW

Tabela 1 - Valores e critérios de cobrança pelo uso da água na bacia do Paraíba do Sul no triênio 2003-2005 (LABHID 2002 apud Carvalho *et al.* 2006)
Obs: TAR = tarifa anual de referência, fixada pela ANEEL

Na definição dos preços da água, o critério da aceitabilidade por parte dos usuários prevaleceu sobre o de sinalização do valor econômico da água. Apesar de essa estratégia se mostrar contraditória aos objetivos da cobrança, como concordam JMR/ENGECORPS (2005) e Aranha (2006), foi necessária para evitar protestos e inadimplência, que ainda assim aconteceram. Os setores industrial e de energia tiveram participação bastante ativa no processo de discussão das propostas, o que levou à existência de mecanismos de desconto para os setores de saneamento e industrial, bem como a uma forma diferenciada de cobrar

pela água usada nas pequenas centrais hidrelétricas (PCHs). Apesar de ter participado pouco das discussões, o setor rural foi alvo dos menores preços por ser o mais refratário à cobrança e o que sofre maior impacto em seus custos e lucros devido a ela. Além dos impactos sobre os usuários, foi considerado o montante total a ser arrecadado para determinação do preço público unitário, PPU (Carvalho *et al.* 2006). Este último critério corresponde ao método do rateio de custos, descrito na introdução.

Os relatos disponíveis sobre os resultados da cobrança falam sobre o impacto financeiro por tipo de usuário e sobre a aceitação da cobrança. Não foram encontrados dados sobre a eficácia da cobrança no incentivo ao uso racional da água (mas foram encontradas simulações), o que não surpreende devido à experiência ser recente e transitória. JMR/ENGECORPS (2005) relatam: para o setor de abastecimento público, notou-se que a cobrança representou um impacto de 2 a 6% nas despesas de exploração da maioria das companhias de saneamento e foi bem aceita. No setor industrial, pouco menos da metade dos estabelecimentos concordaram com a cobrança, sendo a aprovação maior entre as de grande porte. A indústria de alimentos e bebidas foi a que mais sofreu impacto da cobrança sobre seus custos de produção, mas este não chegou a 0,5%. No setor agrícola, Carvalho *et al.* (2006) relatam o impacto de 0,075% sobre os custos de produção da cultura de arroz (uma das mais sensíveis à cobrança).

Dentre as condições de eficácia e aceitação da cobrança, merece destaque a destinação da verba arrecadada à bacia de origem. No entanto, na bacia do Paraíba do Sul, a Agência Nacional de Águas (ANA) está realizando a cobrança e os recursos foram classificados como altamente contingenciáveis pela Secretaria do Orçamento Federal, o que gera insatisfação entre os usuários e ameaça o sucesso da experiência de cobrança (JMR/ENGECORPS 2005). No novo modelo de cobrança, aprovado em 2006, procurou-se contornar esse problema através do $K_{gestão}$, coeficiente que multiplica o valor total arrecadado na bacia (Equação 3.4).

Esse coeficiente pode ser igualado a 0 caso o orçamento federal não preveja o retorno das verbas à bacia ou a ANA descumpra contrato celebrado com a AGEVAP (agência de bacias do Paraíba do Sul). Caso contrário, seu valor é igual a 1 (Aranha 2006; Carvalho *et al.* 2006).

$$Valor_{Total} = (Valor_{cap} + Valor_{cons} + Valor_{COrg} + Valor_{PCH} + Valor_{rural} + Valor_{transp}) \times K_{gestão} \quad (3.4)$$

Obs: o termo $Valor_{transp}$ se refere à cobrança pelo volume de água transferido a outras bacias através de transposição. Os demais se referem aos volumes dos seguintes usos: captação, consumo, carga orgânica, pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e rural. $K_{gestão}$ é explicado no parágrafo anterior

O modelo de cobrança das bacias PCJ e o novo modelo da bacia do Paraíba do Sul são quase iguais e são descritos com detalhes por Aranha (2006) e Carvalho *et al.* (2006). A cobrança quantitativa passou a ser baseada tanto no volume consumido como no outorgado, e a cobrança qualitativa passou a ser sobre a carga de DBO. As demais modificações feitas visam aos seguintes objetivos: reduzir o valor cobrado das captações em mananciais mais poluídos; penalizar os usuários que requerem outorga para volumes muito acima do necessário; reduzir o valor cobrado do setor agropecuário. A irrigação era considerada um uso totalmente consuntivo, ou seja, o volume consumido era considerado igual ao volume captado. Como essa não é uma suposição realista, adotou-se um coeficiente de consumo de 0,5 para todas as culturas durante os primeiros dois anos, ou seja, adotou-se a hipótese de que 50% do volume de água usado na irrigação seria absorvido pelas culturas agrícolas, não retornando ao manancial mais próximo como efluente. A exceção foi a cultura de arroz, cujo coeficiente de consumo já foi alterado para 0,04 devido à apresentação de estudo técnico por representantes do setor.

Os novos preços estão na Tabela 2. Para o setor de saneamento, o aumento do valor cobrado foi em média 5,3%. Para as indústrias, foi de 0,1%, devido ao fato de que algumas terão redução dos valores de cobrança, enquanto outras terão um pequeno aumento (Carvalho

et al. 2006). Vale lembrar que as análises dos autores se basearam em uma amostra limitada de indústrias. Para os irrigantes de arroz, os autores relatam aumento de 116%, o que ainda representa um impacto pequeno nos custos de produção (cerca de 0,2%). A razão disso é que a cobrança do setor agropecuário foi a que mais mudou. O valor de $K_{agropec}$ (coeficiente que reduz o valor cobrado do setor) é 0,05. Com a adoção de preços diferentes para captação e consumo (R$ 0,01 e 0,02 respectivamente), notamos que o metro cúbico captado continua com o mesmo preço de antes (RS 0,0005/m³), mas o metro cúbico consumido passou a custar o dobro.

Tipo de uso	**PUB**	**Unidade**	**Valor**
Captação de água bruta	PUB_{cap}	R$/m³	0,01
Consumo de água bruta	PUB_{cons}	R$/m³	0,02
Lançamento de carga orgânica $DBO_{5,20}$	PUB_{DBO}	R$/Kg	0,07

Tabela 2: Novos valores unitários de cobrança adotados na bacia do rio Paraíba do Sul (Carvalho *et al.* 2006)
Obs: PUB = preço unitário básico. Na prática, significa o mesmo que PPU

Tipo de uso	**PUB**	**Unidade**	**Valor**
Captação de água bruta	PUB_{cap}	R$/m³	0,01
Consumo de água bruta	PUB_{cons}	R$/m³	0,02
Lançamento de carga orgânica $DBO_{5,20}$	PUB_{DBO}	R$/Kg	0,10
Transposição de bacia	PUB_{transp}	R$/m³	0,015

Tabela 3: Valores de cobrança adotados nas bacias PCJ (Carvalho *et al.* 2006)

3.5 Comparações com a experiência internacional

1) Assim como na França, o início da implementação da cobrança no Brasil foi marcado pelo gradualismo e pela preocupação com o impacto nas finanças dos usuários.

2) Na determinação dos preços, o critério de recuperação de custos de investimentos prevaleceu sobre o de indução ao uso racional, assim como em vários outros países.

3) O setor agropecuário, assim como em todos os países onde ocorreu a cobrança, pagou os menores preços. No entanto, o setor já foi incluído na cobrança desde o início e sem grandes conflitos, o que é um mérito da experiência brasileira.

4) O enfoque da cobrança no Brasil não é sobre os usos qualitativos como em vários outros países, mas sim sobre todos os usos de maneira semelhante. A experiência cearense valoriza principalmente o uso quantitativo devido às peculiaridades da região.

5) Os países bem sucedidos com a cobrança investiram os recursos arrecadados em tratamento da poluição e melhoria da oferta de água, exatamente como deveria ser feito no Brasil. Porém, o contingenciamento de verbas ameaça tornar a cobrança apenas mais um imposto, colocando em risco sua aceitação por parte dos usuários (JMR/ENGECORPS 2005).

3.5.1 Situação da bacia do Tietê-Jacaré

Na época de elaboração desta dissertação, a bacia do Tietê-Jacaré possuía seu Comitê de Bacias Hidrográficas (CBH), o qual realizava projetos de intervenção para melhoria das condições dos recursos hídricos. O recurso para esses projetos não provinha da cobrança pelo uso da água, cuja implantação estava sendo discutida em uma câmara técnica recém-formada, mas de royalties das usinas hidrelétricas do país. Esses royalties eram recolhidos pelo governo federal e repassados aos estados. No caso de São Paulo, chegavam diretamente ao Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO), que os repassava aos CBHs para a realização dos projetos constantes de seus planos de Bacia.

Cerca de 60% dos recursos utilizados pelo CBH-TJ foram para tratamento de esgotos dos municípios, especialmente os menores, que demandam investimentos pequenos. Uma parte significativa dos recursos era destinada a conservação e recuperação de matas ciliares. Para receber recursos do FEHIDRO, os projetos previstos pelos CBHs devem estar dentro dos Programas de Duração Continuada (PDCs) definidos em legislação. Esses PDCs são amplos, cobrindo as áreas de informação, gestão de recursos hídricos, qualidade da água, proteção dos corpos d'água, racionalização do uso, proteção contra eventos hidrológicos extremos, desenvolvimento tecnológico e capacitação. Porém, existem projetos que não se encaixam nos PDCs, como redes coletoras de esgoto (Passalacqua, comunicação pessoal).

3.6 Estrutura de demanda dos usuários

3.6.1 Elasticidade-preço da demanda

A quantificação da influência do preço sobre a demanda por água é complexa. A água é usada de muitas formas e por todos os setores da economia, logo, sua demanda não muda sempre da mesma forma em função do preço. O parâmetro que relaciona demanda e preço é chamado elasticidade-preço da demanda e é definido pela Equação 3.5.

$$\varepsilon = \frac{\partial D / D}{\partial P / P} \qquad (3.5)$$

Sendo ε a elasticidade-preço, D a quantidade demandada e P o preço do bem. Note que, ao longo de uma curva de demanda (D x P), a elasticidade-preço permanece constante apenas quando a curva segue o modelo exponencial ($Q = a.P^b$), sendo "a" e "b" constantes e "b" correspondendo a E_P. Quando $|E_P| < 1$, dizemos que o bem tem demanda inelástica – ou seja, um aumento de 1% no preço acarretará uma diminuição de menos de 1% na quantidade demandada. Quando $|E_P| > 1$, estamos falando de um bem de demanda elástica. Os bens essenciais e insubstituíveis, em geral, possuem demanda inelástica, como e o caso da água.

3.6.2 Modelos de demanda doméstica

Os modelos de demanda doméstica de água são, usualmente, lineares ou exponenciais, como nas Equações 3.6 e 3.7 (Pedrosa 2001). A demanda é descrita em função do preço da água e de outras variáveis sócio-econômicas e climáticas (JMR/ENGECORPS 2005), tais como renda e estação do ano. É usual considerar o preço de bens complementares e/ou substitutos em estudos econômicos. Porém, para o caso do uso doméstico da água, não existem bens substitutos e os bens complementares são duráveis (e.g. máquinas de lavar) e, por isso, não interferem na estrutura de demanda. Modelos exponenciais podem ser linearizados por meio da aplicação de logaritmos e sua vantagem é que a elasticidade-preço é uniforme ao longo de toda a curva de demanda, sendo representada pelo coeficiente α_0 na Equação 3.7:

$$q = \alpha_0 . P + \alpha_1 . x_1 + \alpha_2 x_2 + ... + \alpha_n x_n \qquad (3.6)$$

$$q = \beta \cdot P^{\alpha_0} \cdot x_1^{\alpha_1} \cdot x_2^{\alpha_2} \cdot ... \cdot x_n^{\alpha_n} \qquad (3.7)$$

sendo α e β coeficientes e x, quaisquer variáveis que o modelo utilize

JMR/ENGECORPS (2005) construíram um modelo exponencial para a demanda municipal de água no Estado de São Paulo (Equação 3.8). Nesse modelo, as únicas variáveis determinantes da demanda são o preço médio da água, a renda média do município e o percentual do volume consumido de água que é medido por hidrômetro. Não há consideração de variáveis climatológicas, que, segundo os próprios autores, podem ser usadas na construção dos modelos de demanda doméstica. A estação do ano pode ter influência no consumo de água e na elasticidade-preço, aumentando no verão devido aos usos menos nobres praticados (e.g. rega de jardins). Alguns estudos norte-americanos encontraram valores diferentes para as duas estações (Ribeiro *et al*. 1999). Porém, como a diferença entre as estações não é tão grande no Brasil como é nos EUA, a influência delas na estrutura de demanda pode não ser tão importante.

$$\ln(D_ÁGUA_i) = \beta_0 + \beta_1 \ln(P_ÁGUA_i) + \beta_2 \ln(RENDA_i) + \beta_3 \ln(HIDROMT_i) + \varepsilon \quad (3.8)$$

sendo:

D_AGUA_i: consumo médio de água no município *i*, em m³;

P_AGUA_i: preço médio do metro cúbico de água no município *i*;

$RENDA_i$: renda média no município *i;*

HIDROMT: razão entre o volume total de água consumido e o volume de água cujo consumo é medido por hidrômetro;

β_j: coeficientes a serem estimados (j = 0, 1, 2, 3);

ε: resíduo da regressão.

Esse modelo foi construído usando dados do IBGE e do Diagnóstico de Serviços de Água e Esgoto para o ano de 2002. Essa publicação, de periodicidade anual, fornece volumes produzidos e valores financeiros operacionais das firmas de saneamento brasileiras que respondem voluntariamente aos questionários. JMR/ENGECORPS (2005) usaram o software Stata para construir o modelo. Usando o mesmo software e com dados mais recentes e numerosos, foi feito um novo modelo com a mesma metodologia de JMR/ENGECORPS, que será descrita no item 4.3.

Existe uma discussão inconclusa a respeito da variável que deve ser usada para indicar o custo da água: preço médio ou preço marginal. O preço médio corresponde ao preço total da conta de água dividido pelo volume total consumido. O preço marginal corresponde ao custo de se consumir um volume adicional de água. Devido à tarifação em blocos de consumo, o preço marginal é crescente com o volume consumido, ou seja, quanto maior o consumo da residência, mais se paga pelo metro cúbico consumido. Assim, o preço marginal e o preço médio não são iguais, sendo que o uso de um ou de outro causa diferença nas estimativas de elasticidade-preço (Pedrosa 2001).

Economicamente, a minimização dos custos deve ser feita levando-se em conta o custo marginal, não o custo médio. Porém, um modelo de demanda por água deve considerar a forma como os usuários percebem a cobrança que lhes é feita. Caso eles não conheçam a estrutura tarifária por blocos de consumo, reagirão ao preço médio da conta de água, ou seja, apenas ajustarão seu consumo total ao preço total cobrado. Caso possuam informação perfeita sobre a conta, reagirão ao preço marginal. Considerando o pequeno impacto da conta de água no orçamento doméstico e a complexidade da estrutura tarifária, parece razoável adotar a estimação de demanda pelo preço médio, o que é feito neste trabalho.

3.7 Modelos de demanda industrial

O modelo econométrico para descrever a demanda industrial de diferentes insumos deve ser flexível o suficiente para retratar a possibilidade de substituição entre eles. Na indústria, o preço de um insumo (e.g. matéria-prima, trabalho, água) afeta a quantidade demandada dos demais. Portanto, é interessante determinar as elasticidades-preço próprias e de substituição[1] dos insumos através de uma função custo, que pode ser obtida com a hipótese de que a indústria está minimizando seus custos ou maximizando seus lucros. Para os objetivos deste estudo, a função custo é mais apropriada é a de minimização de custos devido às razões expostas por JMR/ENGECORPS (2005), a saber: exogeneidade das variáveis preço, possibilidade de considerar economias de escala e restrições econômicas no modelo e possibilidade de derivar as elasticidades-preço sem considerar que o custo da água seja igual a seu preço marginal.

Dos modelos com a flexibilidade requerida para esta análise, a função logarítmica transcendental ou *translog* é a mais popular. Após a estimação de seus parâmetros, é possível calcular a proporção do custo de um insumo em relação ao custo total (*cost share*) e as

[1] Elasticidade-preço própria é a variação de demanda do bem A decorrente do aumento do preço de A. Elasticidade-preço de substituição é a variação de demanda do bem A em decorrência do aumento do preço do bem B. Caso o sinal seja positivo, A e B são substitutos; caso seja negativo, são complementares.

elasticidades-preço, que são altamente dependentes dos cost shares. Isso significa que, segundo esse modelo, as elasticidades-preço variam para cada amostra usada na estimação da curva de demanda, sendo necessário usar algum ponto representativo da média amostral para obter uma elasticidade-preço geral (Greene 2000).

Algumas dificuldades na estimação da demanda de água industrial são apontadas por JMR/ENGECORPS (2005) em sua revisão. A ausência de boas séries de preços da água prejudica a precisão das estimativas. Devido aos múltiplos usos da água dentro de uma indústria, desde uso sanitário até uso direto como matéria-prima, seria importante ter acesso a dados desagregados de consumo. O mesmo vale para água bruta e água recirculada, que deveriam ser consideradas como dois insumos complementares, e para captações diferentes (autônomas e da rede pública), que podem ter destinos diferentes dentro da indústria. O uso do custo médio de alimentação de água como *proxy* para seu preço também provoca limitações, uma vez que isso não permite captar o efeito da tarifação em blocos para as indústrias que captam do sistema de abastecimento público e também porque indústrias procuram minimizar o custo marginal da água.

JMR/ENGECORPS (2005) construíram uma equação de custos no modelo translog para 424 estabelecimentos industriais do Estado de São Paulo (Equação 3.9). Além de todas as limitações expostas acima, o modelo considera o estoque de capital (K) como sendo fixo, ou seja, considera-se que as indústrias não ajustarão seu estoque de capital para se adaptar ao aumento no preço da água, por exemplo, através da compra de novos equipamentos mais econômicos. Isso é válido para uma análise de curto prazo, porém, para um trabalho envolvendo cenários de longo prazo como este, pode se tornar uma limitação séria.

$$\begin{aligned} \ln C = {} & \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \ln(P_i) + \tfrac{1}{2}\alpha \sum_j \sum_i \gamma_{ij} \ln(P_i)\ln(P_j) + \sum_i K \ln(P_i)\ln(K) \\ & + \sum_i \gamma_i Y \ln(P_i)\ln(Y) + \alpha_Y \ln Y + \tfrac{1}{2}\gamma_{YY} \ln(Y^2) + \alpha_K \ln K + \tfrac{1}{2}\gamma_{KK} \ln(K^2) + \mu_1 \end{aligned} \tag{3.9}$$

sendo C o custo total, Y a produção total, K o estoque (fixo) de capital, Pi o preço do insumo i (i,j = trabalho, energia, matéria-prima, água) e αs, βs e γs os parâmetros a serem estimados. μ é um termo estocástico.

Pode-se perceber, pelas equações acima, que a elasticidade-preço de um insumo depende dos preços dos outros insumos, inclusive estoque de capital e, em um modelo que considera economias de escala, como este, da quantidade produzida pela firma. É um modelo que exige um nível de informação elevado.

3.8 Modelos de demanda agrícola

O setor agrícola é provavelmente aquele cuja demanda de água é mais difícil de modelar. O impacto da cobrança pelo uso da água varia grandemente conforme a cultura praticada, principalmente em função do valor agregado da cultura e de sua demanda hídrica (nesta ordem). A curva de demanda agrícola, conforme vários exemplos da literatura (e.g. Viñas *et al.* 1998 apud Ribeiro *et al.* 1999; Gómez-Limón e Berbel 2000 e vários trabalhos citados por JMR/ENGECORPS 2005), é de tipo não-convexo (Figura 2). Ressalta-se que todos os trabalhos mencionados são simulações matemáticas e não modelos econométricos baseados em dados reais. A curva é inelástica para pequenos preços da água, torna-se elástica após um preço-limite e, para preços grandes, volta a ser inelástica. JMR/ENGECORPS (2005) explicam que, quando usada em grandes quantidades, a água chega a ser prejudicial devido à falta de aeração das raízes e, portanto, mesmo com pequenos preços, os agricultores não iriam usar quantidades maiores; para pequenos volumes de irrigação, uma unidade adicional de água resulta em um grande aumento de produção, logo, a irrigação se torna compensadora mesmo para grandes preços. Em meio a essas duas faixas, existem preços que podem levar a uma redução considerável da demanda.

Outra característica da curva de demanda agrícola mostrada na Figura 2 é que sistemas de irrigação mais eficientes levam à inelasticidade da demanda para maiores preços (curva D2). Isso se explica facilmente pelo custo marginal crescente de aumento da eficiência do sistema (JMR/ENGECORPS 2005).

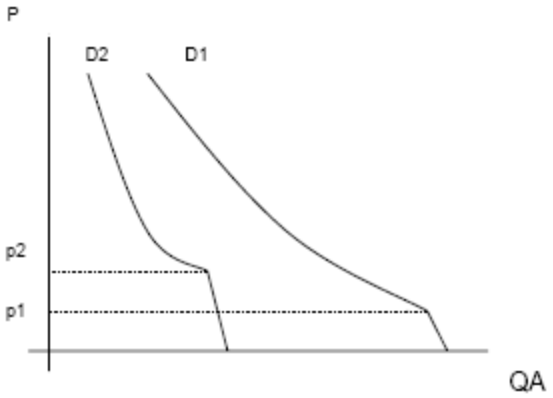

Figura 2: forma esperada das curvas de demanda de irrigação (JMR/ENGECORPS 2005)

É possível simular o efeito de diferentes preços da água através da construção de funções que representam o processo de decisão do agricultor quanto às culturas praticadas e à quantidade de água usada na irrigação. É comum modelar a decisão dos agricultores com base na maximização do lucro como único objetivo, mas Gómez-Limón e Berbel (2000) mostraram que a minimização de risco também devia ser considerada nas áreas da Espanha para as quais construíram um modelo multicriterial. O objetivo de minimização de risco se atinge através da adoção de um padrão de cultivo que não sujeite o agricultor ao risco de grandes perdas financeiras devido à flutuação dos preços dos produtos. O objetivo de minimização de uso de mão-de-obra também foi proposto, mas não foi considerado relevante matematicamente por ser correlacionado ao de maximização de lucro.

Não foram encontrados estudos sobre a elasticidade-preço da demanda hídrica agrícola no Brasil. Não parece ser razoável utilizar estudos de outros países, pois eles variam entre si, além de variar conforme o tipo de cultura, o preço da água, a metodologia de análise, a

abrangência temporal da mesma, além dos fatores já mencionados. Em sua meta-análise de estudos sobre a elasticidade-preço agrícola, Scheierling *et al.* (2004) encontraram valores que iam da faixa de -0,01 até valores menores que -1 (elásticos).

3.9 A cobrança pela poluição hídrica

A cobrança pela poluição hídrica é digna de ser analisada em mais detalhes, visto que, apesar de ser possível converter um uso qualitativo em uso quantitativo (expressando-o em termos de vazão de diluição), o efeito da cobrança não é o mesmo sobre ambos os usos. No caso do setor de saneamento e abastecimento público, não é viável medir a poluição causada por cada usuário residencial e não é possível que este faça quase nenhuma redução voluntária da sua carga poluidora. A forma de diminuir o lançamento de poluentes de origem doméstica é através do tratamento de esgotos, sendo esta uma medida que não depende da decisão de cidadãos individuais. Porém, quando uma firma de saneamento repassa os custos da cobrança por poluição para a população atendida pelos serviços de coleta de esgoto, ela mesma (a firma) não tem incentivo para realizar o tratamento. O repasse da cobrança pode apenas induzir os usuários domésticos a reduzir seu consumo quantitativo (Santos 2002).

Semelhantemente, a indústria pode fazer pouco para reduzir gradativamente sua carga poluidora, ao contrário do que ocorre com os volumes captado e consumido. Ela pode escolher tratar ou não seus efluentes, mas dificilmente pode decidir “tratar um pouco”. Portanto, embora essa decisão caiba à própria indústria, não é possível imaginar que um pequeno aumento no preço do lançamento de poluentes resultaria em uma pequena diminuição da carga lançada. Isso quer dizer que o efeito dos preços da água sobre o lançamento de poluentes não pode ser medido com o uso do conceito de elasticidade-preço da demanda, que se aplica a variações infinitesimais de preço e demanda.

3.10 Impacto da cobrança sobre os vários usuários

É consenso entre os estudiosos que as tarifas de abastecimento de água pagas pelos residentes brasileiros atualmente têm impacto pequeno nas contas domésticas. Com os preços da água praticados nas bacias do Paraíba do Sul e PCJ, a tarifa não chega a aumentar 10% sobre o usuário final, sinalizando que os preços ainda podem crescer. Ribeiro *et al.* (1999) citam uma situação de racionamento ocorrida na região metropolitana de Recife em janeiro de 1999, quando os preços praticados chegavam a R$8,10/m³. Isso corresponde a 6-8 vezes o preço médio praticado nas cidades brasileiras, indicando que existe disposição a pagar quantias maiores pela água.

O impacto da cobrança sobre os usuários industriais é, em geral, pequeno. Nas simulações de JMR/ENGECORPS (2005) para o estado de São Paulo, estimou-se que um aumento de 20% no custo da água acarretaria um aumento de 0,11% no custo de produção das indústrias em média e 0,28% no setor mais afetado, que é o de alimentos e bebidas. Esses resultados mostram que a cobrança pelo uso da água pode ser aplicada às indústrias com bons resultados sem comprometer sua atividade.

A estrutura de demanda da agricultura irrigada, exposta no item anterior e na Figura Y, torna difícil o uso da cobrança como instrumento indutor de comportamento racional. O setor é o mais atingido em suas finanças pela cobrança pelo uso da água, o que leva a preços menores e até oposições à cobrança como um todo, como a do ex-deputado Junji Abe (Abe 2000). Conforme aumenta o preço da água, o impacto social da cobrança tende a ser considerável antes que sejam atingidos resultados satisfatórios de redução de demanda. Em sua simulação para o caso espanhol, Gómez-Limón e Berbel (2000) estimaram que, até 8PTA/m³, a demanda permaneceria quase inelástica (redução de 9%). Porém, o lucro dos fazendeiros já teria caído 26% e, aumentando a cobrança, o desemprego começaria a crescer também. No entanto, mesmo que isto não reduza consideravelmente a demanda, os autores

sugerem a atribuição de um preço de 2PTA/m³ a fim de sinalizar aos agricultores o valor da água.

3.11 A construção dos cenários de oferta e demanda

Segundo o protocolo de manejo adaptativo sob perspectivas de longo prazo (Mendiondo *et al.*, 2002), a formulação de uma política de recursos hídricos ocorre em três etapas. Na primeira, cenários de referência são usados como base para vários diálogos, levando à formulação de políticas iniciais, metas e restrições. Na segunda etapa, os cenários, metas e limites são usados para a otimização da política, a qual é feita em ciclos de retroalimentação até se tornar aceitável e levar a uma política de curto prazo. Na terceira etapa, as lições aprendidas na execução das políticas de curto prazo são usadas como fonte de conhecimento nas etapas anteriores, alimentando um novo ciclo. Este trabalho de pesquisa é relativo, principalmente, à segunda etapa, que corresponde ao centro do fluxograma da Figura 3. Esta etapa se baseia em cenários de referência já construídos. Como existem incertezas na elaboração desses cenários, é importante que haja pelo menos dois ("pessimista" e "otimista").

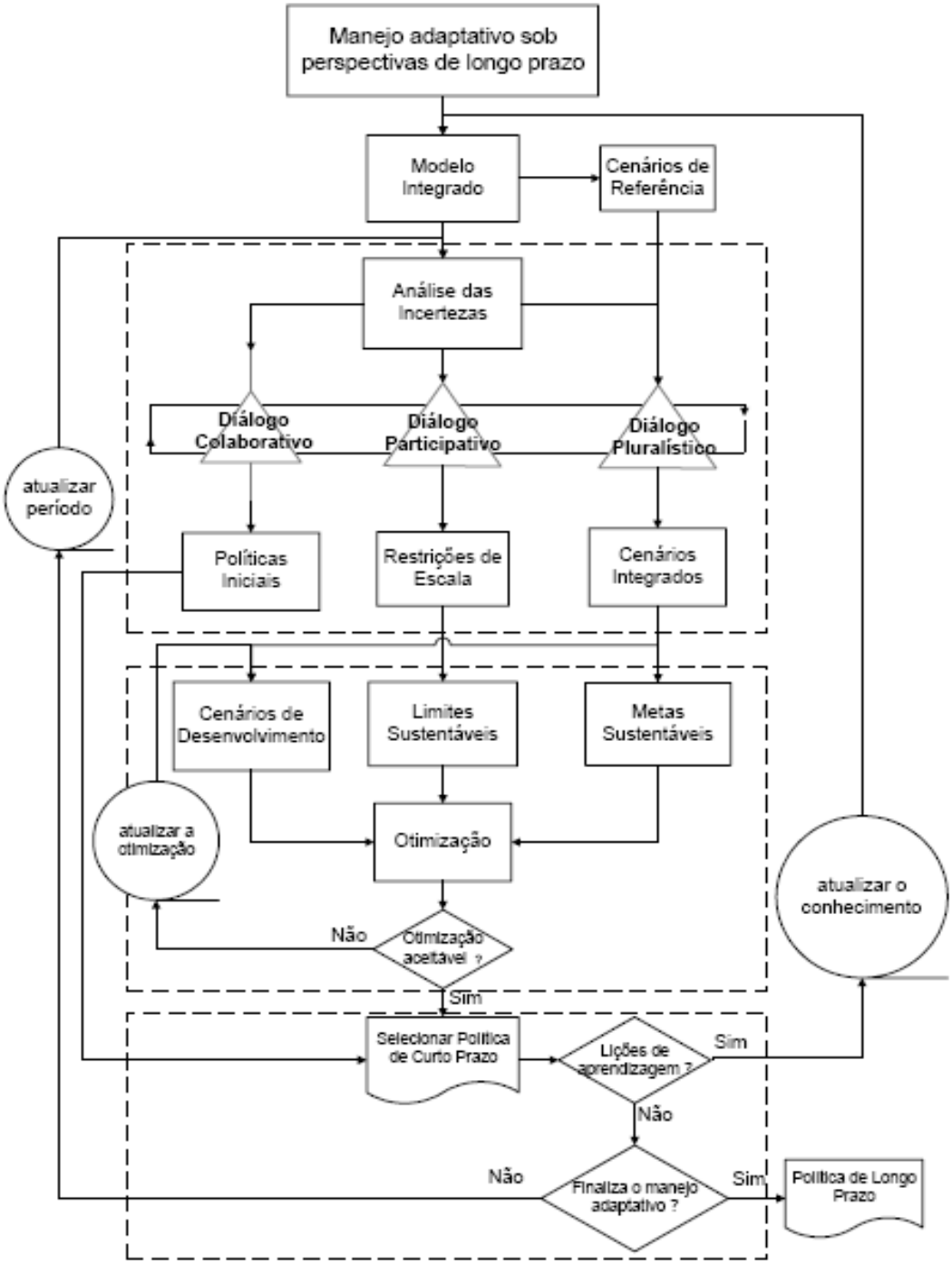

Figura 3 – Protocolo de manejo adaptativo para formulação de políticas de bacias hidrográficas. As áreas de traços mostram módulos de atuação com tomadores de decisão das políticas hídricas (Fonte: Mendiondo *et al.*, 2002).

Os cenários de oferta e demanda hídricas usados neste trabalho foram construídos por Macêdo (2005) para a bacia do Tietê-Jacaré nos anos de 2010, 2025 e 2050. Para cada ano, há um cenário tendencial e um alternativo.

O cenário tendencial é baseado na continuação da evolução presente das variáveis climáticas (oferta) e sócio-econômicas (demanda), enquanto o alternativo é baseado em uma das narrativas elaboradas pelo IPCC (IPCC 2000 *apud* Macêdo 2005). Esses cenários são quatro, segundo a Figura 4. O cenário A1, voltado para a acumulação de bens de consumo e para a globalização, prevê a distribuição de renda e a elevação do padrão de consumo geral, causando maior pressão sobre os recursos hídricos. Dentro do A1, há as vertentes A1F, com ênfase em combustíveis fósseis; A1T, com diminuição gradativa no uso dos mesmos; e A1B, com uso homogêneo de todos os tipos de fonte energética. Macêdo selecionou o A1F como cenário de referência.

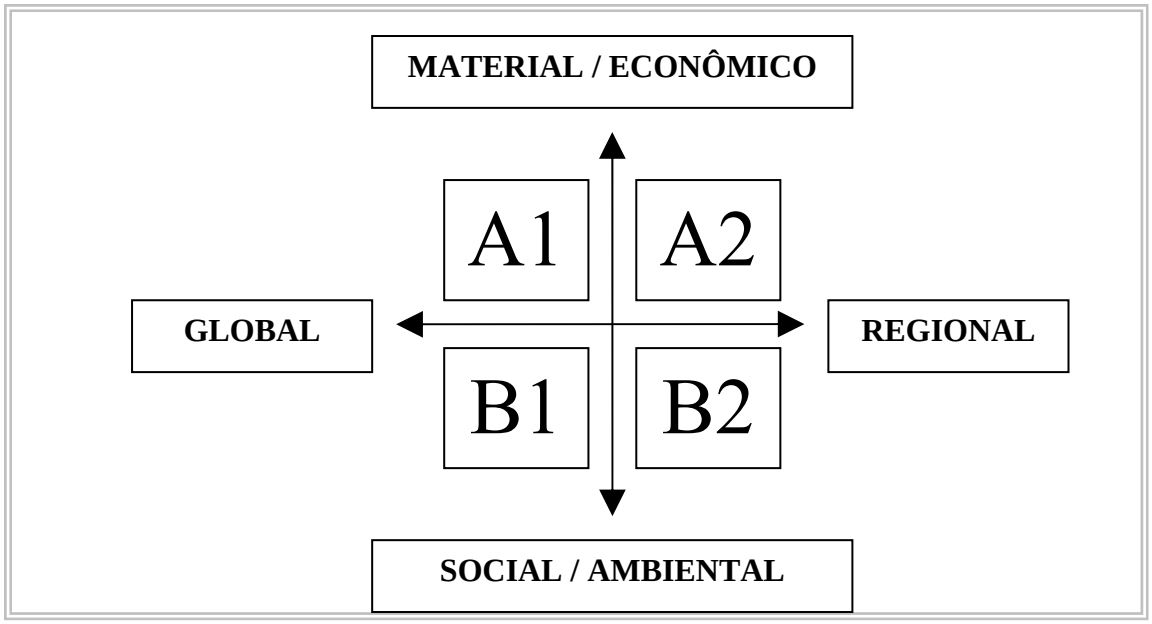

Figura 4: Cenários de referência do IPCC (IPCC 2000 *apud* Macêdo 2005)

Os cenários de oferta de Macêdo se basearam em séries projetadas de precipitação. No caso do cenário alternativo, foi considerado um aumento da temperatura global com base no cenário A1F (3,75ºC de aumento em 2100 em relação a 2000) e a série resultante indica maior

escassez hídrica que a do cenário tendencial. Os valores de lâmina precipitada foram inseridos em modelos de chuva-vazão para a obtenção da oferta hídrica em cada sub-bacia.

Wendland *et al.* (2007) usaram as projeções de precipitação de Macêdo para re-estimar as vazões de escoamento através de uma metodologia de regionalização do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). Tais estimativas, feitas com as equações abaixo, foram incluídas no Plano de Bacias do Tietê-Jacaré.

$$Q_{lp} = (\hat{a} + \hat{b}.\overline{P})A \qquad (3.10a)$$

$$Q_{d,Tr} = X_{Tr}(\hat{A} + \hat{B}.d)Q_{lp} \qquad (3.10b)$$

$$q_{p\%} = \frac{Q_{p\%}}{Q_{lp}} \qquad (3.10c)$$

$$C = \frac{\overline{Q}_{7dias}}{\overline{Q}_{1mês}} \qquad (3.10d)$$

$$Q_{7dias,Tr=10} = X_{Tr}(\hat{A} + \hat{B}.1).C \qquad (3.10e)$$

sendo Q_{lp} a vazão média de longo período (L/s); $\overline{P}$ a precipitação média anual (mm); A a área da bacia (km²); $Q_{d,Tr}$ a vazão mínima de d meses consecutivos para um período de retorno Tr; $Q_{p\%}$ a vazão mínima da curva de permanência; $\overline{Q}_{7dias}$ a vazão média mínima de 7 dias consecutivos para período de retorno de 10 anos; $\hat{a}$, $\hat{b}$, X_{Tr}, $\hat{A}$, $\hat{B}$, $q_{p\%}$ e C os parâmetros estimados pelo DAEE.

A [km^2]	$\overline{P}$ [mm]	$\hat{a}$	$\hat{b}$	$\hat{X}_{Tr=10}$	$\hat{A}$	$\hat{B}$	$\hat{q}_{50\%}$	$\hat{q}_{95\%}$	$\hat{q}_{100\%}$	C
variável	variável	-4,62	0,0098	0,759	0,6141	0,0257	0,874	0,516	0,429	0,85

Tabela 4 - Variáveis e coeficientes de regionalização utilizados na sub-divisão de bacias para o Plano de Bacia da UGHRI-13.

Os cenários de demanda elaborados por Macêdo (2005) apóiam-se em várias suposições, muitas vezes devido à falta de dados. A seguir, estão relacionadas essas suposições agrupadas por setor de demanda:

- Abastecimento público: a carga orgânica (gDBO per capita) do esgoto doméstico foi adotada da literatura, bem como o coeficiente de retorno (quantidade de água consumida que é lançada como esgoto). Para os municípios sem medição de consumo, usou-se o consumo per capita dos municípios da bacia com medição. O consumo da população rural foi adotado como 100L/hab.dia, também por meio da literatura.

- Diluição de esgoto doméstico: considerou-se que a população rural não lança seus esgotos nos rios; que o lançamento se dá de maneira uniformemente distribuída ao longo de um rio fictício, cujo comprimento é equivalente à soma dos comprimentos dos rios da bacia. O coeficiente de reoxigenação ($0{,}38 dia^{-1}$) e a concentração de DBO anterior ao lançamento de efluentes no curso d'água foram adotados segundo recomendações de Von Sperling (1995). A velocidade do fluxo nos rios também foi adotada e o autor não informa a referência.

- Agricultura irrigada: adotou-se a demanda hídrica de 0,327 L/(s.ha) como valor médio anual para todas as culturas; foi considerado que o comportamento sazonal de todas as culturas é igual ao da cana-de-açúcar. O crescimento das áreas cultivadas foi projetado usando o mesmo padrão histórico da evolução populacional (cenário tendencial) e as taxas projetadas de produção agrícola segundo IPCC (2000) para o cenário A1F (cenário alternativo). Considerou-se o uso para irrigação como consuntivo.

- Pecuária: mesmas suposições da agricultura irrigada: uso totalmente consuntivo e crescimento dos rebanhos segundo o padrão de crescimento populacional (apenas no cenário tendencial).

- Indústria e diluição de efluentes industriais: considerou-se que o volume de esgoto produzido é igual ao volume captado (coeficiente de retorno = 1). A evolução da produção

industrial foi projetada com o mesmo padrão de crescimento da população humana no cenário tendencial e em termos da contribuição ao Produto Nacional Bruto segundo narrativa do cenário A1F (IPCC, 2000) para o cenário alternativo.

As demandas (assim como as ofertas) estimadas por Macêdo foram transformadas por Wendland *et al.* (2007) para se adaptar à nova divisão da bacia do Tietê-Jacaré, que era dividida em nove sub-bacias na época de seu trabalho, mas está dividida em seis atualmente. Com pequenas mudanças e correções, essas demandas foram usadas neste trabalho de pesquisa.

4. METODOLOGIA

4.1 Caracterização da bacia em estudo

A bacia em estudo é a do Tietê-Jacaré, no Estado de São Paulo. Ela é uma das 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do Estado, sendo denominada UGRHI 13 segundo a lei n.º 9.034/94. Possui área de drenagem de 11.786,6 Km^2 e 34 municípios têm sua sede na área de abrangência da UGRHI, estando 16 totalmente inseridos nela. Esta UGRHI é definida pelas Bacias Hidrográficas dos rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira e seus respectivos tributários, além de porções de áreas drenadas diretamente para o Rio Tietê, no trecho situado entre as Usinas Hidrelétricas de Ibitinga, a jusante, e de Barra Bonita a montante.

Os municípios de Bauru, Araraquara, São Carlos, Jaú, Lençóis Paulista, Agudos e Barra Bonita se destacam por abrigar 70% da população e 77% da produção de bens e serviços da região. As atividades econômicas são altamente diversificadas, com destaque para a atividade sucro-alcooleira (tanto plantação como processamento de cana). Quanto ao uso da

água, há porções da bacia com predomínio de indústrias, outras com grande uso agrícola e ainda outras que, por sua grande população, têm o abastecimento público como o maior uso.

A UGRHI foi dividida em 9 sub-bacias. Em 2008, essa divisão foi refeita e a nova divisão tem 6 sub-bacias, o que será considerado neste trabalho.

Tabela 4. Descrição do nome e a respectiva área das sub-bacias da UGRHI 13. Fonte: Wendland *et al.* (2007)

Nº		Sub-Bacia - Nova Divisão	Área	
			Km2	%
1		Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu e afluentes do Rio Tietê	4183,47	35,4
	1ª	Trecho com afluentes diretos do Rio Tietê - jusante do Rio Jacaré-Guaçu	95,4	0,8
	1b	Trecho com afluentes diretos do Rio Tietê - montante do Rio Jacaré-Guaçu	22,61	0,2
	1c	Trecho do Rio Jacaré-Guaçu inundado	173,27	1,5
	1d	Trecho do Rio Jacaré-Guaçu corrente	3892,19	33,0
2		Sub-Bacia do Rio Jacaré-Pepira e afluentes diretos do Rio Tietê	2670,28	22,6
	2ª	Trecho do Rio Jacaré-Pepira inundado	129,02	1,1
	2b	Trecho com afluentes diretos do Rio Tietê - montante do Rio Jacaré-Pepira	75,17	0,6
	2c	Trecho do Rio Jacaré-Pepira corrente	2466,09	20,9
3		Sub-Bacia do Rio Jaú-Ribeirão da Ave Maria-Ribeirão do Sapé e afluentes diretos do Rio Tietê	1527,61	12,9
4		Sub-Bacia do Rio Lençóis-Ribeirão dos Patos e afluentes diretos do Rio Tietê	1436,61	12,2
5		Sub-Bacia do Rio Bauru-Ribeirão Grande-Ribeirão Pederneiras e afluentes diretos do Rio Tietê	826,8	7,0
6		Sub-Bacia do Rio Claro-Ribeirão Bonito-Ribeirão do Veado-Ribeirão da Água Limpa e afluentes diretos do Rio Tietê	1159,1	9,8

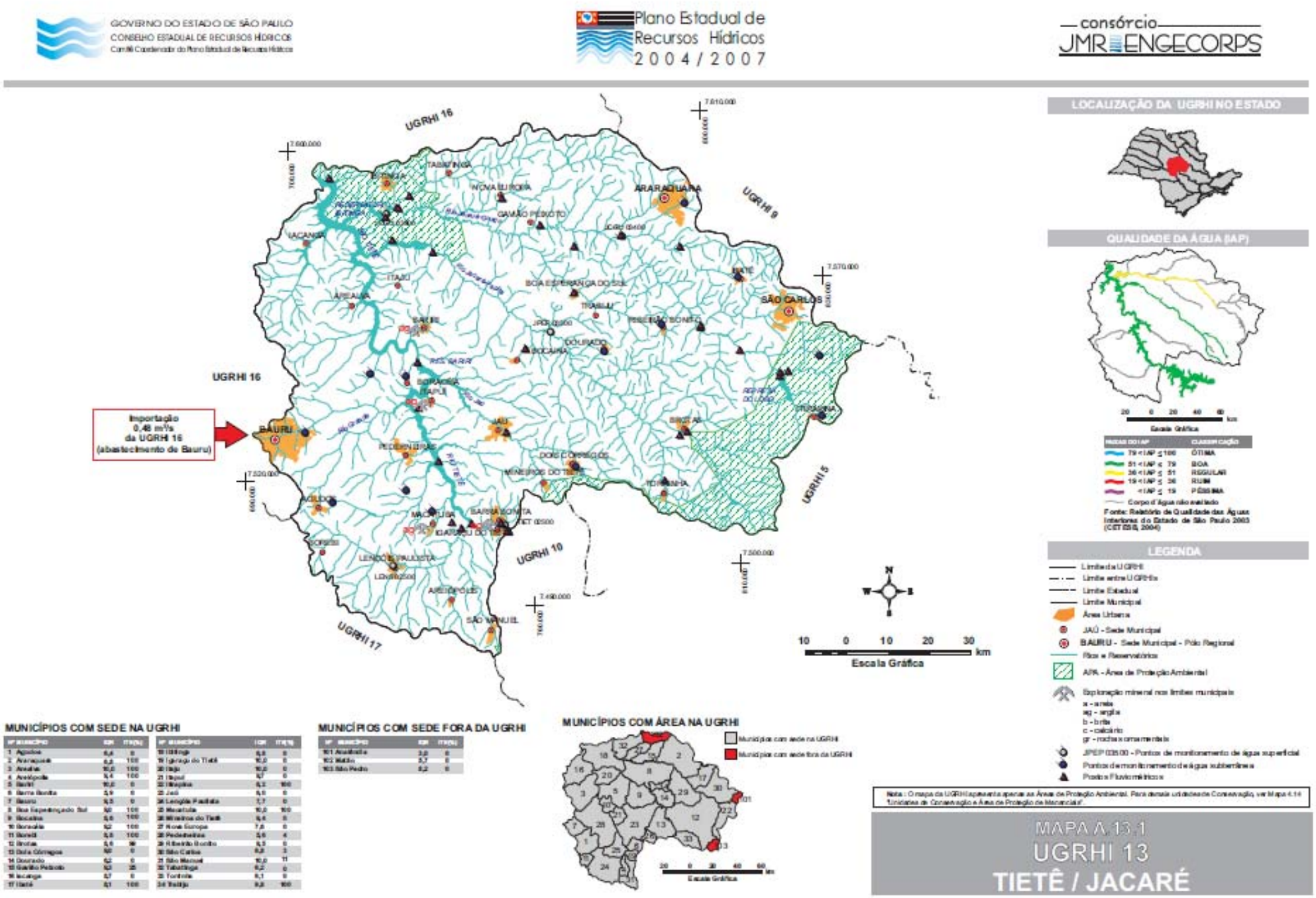

Figura 5: mapa da UGRHI 13 com municípios e hidrografia

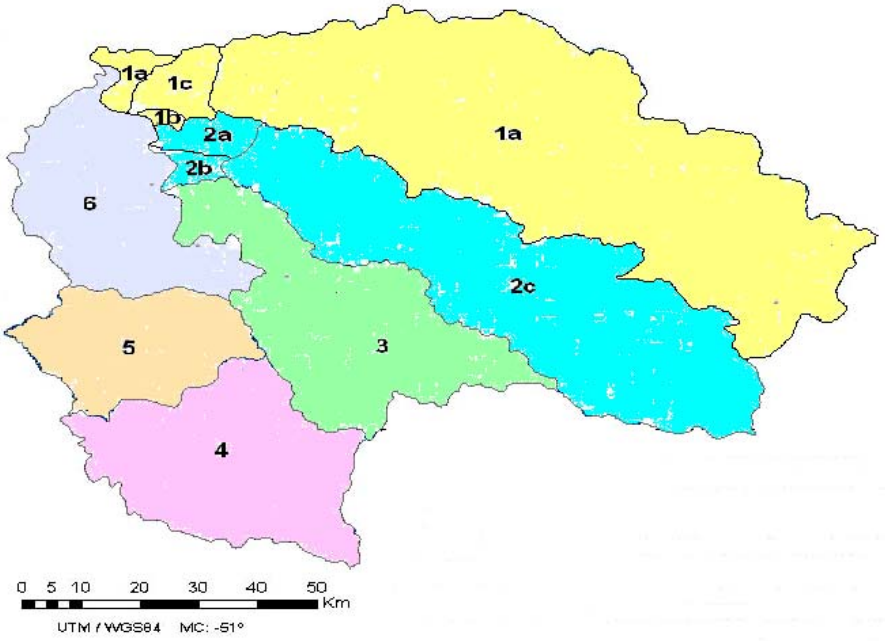

Figura 6: Divisão da UGRHI 13 em sub-bacias

Na nova divisão, as bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jacaré-Guaçu se tornaram, cada uma delas, uma sub-bacia (1 e 2), enquanto as demais são formadas por afluentes do rio Tietê. Os da margem direita compõem a sub-bacia 3 e os da margem esquerda, as bacias 4, 5 e 6. A Tabela 4 apresenta as áreas dessas sub-bacias, bem como a descrição de seus nomes.

As divisões dentro das bacias 1 e 2 não foram consideradas. Ambas são tratadas como uma única região neste trabalho.

Quanto aos cenários futuros de oferta e demanda hídrica para a UGRHI 13 elaborados por Macêdo (2005) e modificados por Wendland *et al.* (2008), seus resultados se encontram no Apêndice A.

4.2 Obtenção das funções de demanda

4.2.1 Modelo de demanda residencial

A função de demanda dos usuários domésticos foi estimada usando a mesma metodologia de JMR/ENGECORPS (2005). Todos dados foram obtidos do Diagnóstico de Serviços de Água e Esgoto para o ano de 2006 (PMSS 2007) e, quando especificado, do IBGE, sendo estas duas as mesmas fontes utilizadas por JMR/ENGECORPS. O modelo foi construído para o Estado de São Paulo inteiro, uma vez que, usando apenas os dados referentes aos municípios da bacia do Tietê-Jacaré, os resultados não apresentaram significância estatística. A Equação 4.1, que é uma reprodução da Equação 3.8, representa a estrutura do modelo.

$$\ln(D_ÁGUA_i) = \beta_0 + \beta_1 \ln(P_ÁGUA_i) + \beta_2 \ln(RENDA_i) + \beta_3 \ln(HIDROMT_i) + \varepsilon$$

(4.1)

Tanto a demanda como o preço da água dependem de volumes de água, pois a unidade deste último é R$/m³. Isso faz com que volumes apareçam dos dois lados da equação, gerando um problema de endogeneidade que pode ser resolvido através da regressão com variáveis instrumentais. Este método consiste no seguinte: a variável endógena (no caso, *P_ÁGUA*) é descrita como função de variáveis que não participam do modelo, as variáveis instrumentais (no caso, *INVEST* e *DTS*, explicadas neste item), através de regressão. A regressão da função de demanda é feita com as variáveis instrumentais no lugar da variável endógena e depois, por substituição de equações, o coeficiente da variável endógena na equação principal é encontrado. No programa estatístico Stata 9.0®, que foi usado para fazer os cálculos dos coeficientes, existe a opção de fazer regressão com variáveis instrumentais em dois estágios, sendo utilizado este método.

A seguir, está a descrição de como foi obtida cada uma das variáveis do modelo. Essa descrição foi transcrita de JMR/ENGECORPS (2005), adaptando-se apenas as datas, uma vez que as fontes dos dados usadas neste trabalho são as mesmas, porém de anos diferentes.

- Quantidade de água (*D_ÁGUA*): consumo médio municipal anual.

$$D_ÁGUA(m^3 / economia / ano) = \frac{vol. \cdot de \cdot água \cdot consumido + vol. \cdot de \cdot esgoto \cdot coletado}{no. \cdot economias \cdot ativas \cdot de \cdot água + esgoto}$$

sendo:

volume de água consumido: volume de água consumido por todos os usuários, compreendendo o volume micromedido e o volume estimado para as ligações desprovidas de aparelho de medição (hidrômetro);

volume de esgoto coletado: volume de esgoto lançado na rede coletora (considerado como sendo 80% do volume de água consumido na área atendida por esgotamento sanitário, segundo recomendação da literatura corrente);

nº. economias ativas de água: quantidade de economias ativas de água que contribuíram para o faturamento (ano de referência: 2006);

nº. economias ativas de esgoto: quantidade de economias ativas de esgoto que contribuíram para o faturamento (ano de referência: 2006).

- Preço da água (*P_ÁGUA*): tarifa média dos serviços de água e esgoto.

$$P_ÁGUA(R\$ / m^3) = \frac{ROD \cdot água + ROD \cdot esgoto}{volume \cdot de \cdot água \cdot faturada + volume \cdot de \cdot esgoto \cdot faturado}$$

sendo:

ROD água: receita operacional direta – água. Valor faturado anual decorrente da prestação do serviço de abastecimento de água, resultante exclusivamente da aplicação das tarifas;

ROD esgoto: receita operacional – esgoto. Valor faturado anual decorrente de prestação de serviços de esgotamento sanitário, resultante exclusivamente da aplicação de tarifas;

volume de água faturado: volume de água total debitado às economias (medidas e não medidas) para fins de faturamento;

volume de esgoto faturado: volume de esgoto lançado na rede coletora, considerado como sendo 80% do volume de água consumido na área atendida por esgotamento sanitário (Von Sperling 1995), debitado às economias para fins de faturamento.

- *HIDROMT*: percentual do volume de água micromedido em relação ao volume total de água consumido.

$$HIDROMT = \frac{volume \cdot de \cdot água \cdot micromedido}{volume \cdot de \cdot água \cdot consumido}$$

sendo:

volume de água micromedido: volume anual de água apurado pelos aparelhos de medição (hidrômetros).

volume de água consumido: volume anual de água consumido por todos os usuários, compreendendo o volume micromedido, o volume estimado para ligações desprovidas de aparelho de medição (hidrômetro) e o volume de água tratada exportado.

- *RENDA*: Como proxy para a renda média dos consumidores de determinado município, foi utilizado o salário médio municipal. Este foi calculado pela razão entre o total de salários e outras remunerações dividido pela população residente no município.

Fonte das informações: Cadastro Central de Empresas IBGE, 2005. Os dados se referem ao dia 31 de dezembro.

$$RENDA = \frac{salários \cdot e \cdot outras \cdot remunerações}{população \cdot residente \cdot no \cdot município}$$

- *INVEST*: valor anual total dos investimentos realizados. Corresponde à soma dos investimentos em abastecimento de água, em esgotamento sanitário e em outros itens, mais as despesas capitalizáveis.

- *DTS*: despesa total com serviços por metro cúbico faturado das companhias de abastecimento de água e esgoto. Calculado pela seguinte fórmula

$$DTS = \frac{despesas \cdot totais \cdot com \cdot os \cdot serviços}{volume \cdot total \cdot faturado \cdot (água + esgoto)}$$

sendo:

despesas totais com os serviços: valor anual do conjunto de despesas realizadas para a prestação dos serviços. Inclui as despesas de exploração, as despesas com juros e encargos do serviço da dívida, as despesas com depreciação, amortização e provisão para devedores duvidosos e as despesas capitalizáveis.

O Apêndice B contém exemplos de resultados fornecidos pelo software Stata®.

4.2.1.1 Expressão para otimização

A fim de ser usada no algoritmo de otimização, a demanda residencial foi expressa apenas como função do preço da água, uma vez que esta é a variável de decisão da otimização e não temos condições de estimar como as outras variáveis se comportarão em cenários futuros. Portanto, foi construída uma equação da demanda de água em função do preço da água, tendo a elasticidade-preço como único parâmetro.

A elasticidade-preço é definida como a razão entre as variações percentuais da demanda e do preço. Porém, como ela é definida em função de uma variação pequena (diferencial) de preço, a equação

$$\varepsilon.\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta D}{D} \quad \text{ou} \quad D - \Delta D = D.(1 - \varepsilon.\frac{\Delta P}{P})$$

só será válida caso $\Delta P/P$ seja da ordem de 1%, o que não é o caso deste trabalho. Uma variação grande de preço deve ser decomposta em variações pequenas. Isso poderia impedir que a demanda fosse descrita diretamente como função do preço final da água, como mostrado abaixo:

$$D_0 - \Delta D_0 = D_1 = D_0.(1 - \varepsilon.\frac{\Delta P_0}{P_0});$$

$$D_2 = D_1.(1 - \varepsilon.\frac{\Delta P_1}{P_1}) = D_0.(1 - \varepsilon.\frac{\Delta P_0}{P_0}).(1 - \varepsilon.\frac{\Delta P_1}{P_1}) \qquad \text{e assim em diante}$$

Caso façamos com que todos os termos $\Delta P/P$ sejam iguais a um valor pequeno qualquer i, podemos dizer que

$$\frac{P_1 - P_0}{P_0} = \frac{\Delta P_0}{P_0} = i = \frac{\Delta P_1}{P_1} = ... = \frac{\Delta P_n}{P_n} \qquad \text{portanto}$$

$$D_n = D_0.(1 - \varepsilon.i)^n \qquad \text{e também}$$

$$P_n = \frac{P_{n-1}}{1-i} = \frac{P_{n-2}}{(1-i)^2} = \frac{P_0}{(1-i)^n} \Rightarrow \frac{P_0}{P_n} = (1-i)^n$$

Chamando P_n simplesmente de P (pois ele é o preço final) e aplicando logaritmo natural dos dois lados da equação, temos:

$$n = \frac{\ln(P_0 / P)}{\ln(1-i)} \qquad \text{e}$$

$$D_{res} = D_{res0}.(1 - \varepsilon.i)^{\frac{\ln(P_0/P)}{\ln(1-i)}} \qquad (4.2)$$

A Equação 4.2, apesar do inconveniente de ser altamente não-linear, permite expressar a demanda residencial diretamente como função do preço final da água (tarifas pré-existentes + cobrança pelo uso da água), o que é muito importante para um algoritmo de otimização. Os termos D_0, ε e P_0 são dados do modelo e o termo i é arbitrário (quanto menor seu valor, mais precisos são os cálculos).

O preço inicial P_0 foi obtido com dados do Sistema Nacional de Informações em Saneamento (SNIS), usando a média da tarifa de água praticada nos municípios da bacia (PMSS 2007). O preço final foi representado pela soma de P_0 com os preços de captação e consumo, este último multiplicado pelo coeficiente de consumo, que foi adotado como 0,2 porque sua soma com o coeficiente de lançamento de esgoto (0,8), deve ser igual a 1.

Os valores dos parâmetros dessa equação de otimização estão no Apêndice C.

4.2.2 Modelo de demanda industrial

A função de demanda para os usuários industriais foi obtida a partir do trabalho de JMR/ENGECORPS (2005). Como não seria possível obter os dados necessários para se fazer uma nova estimativa do modelo, foi usada a elasticidade-preço encontrada no trabalho referido.

Para fazer os cálculos de otimização usando os cenários futuros, adotaram-se as seguintes hipóteses (ver Equações 3.8 a 3.10b para entender os efeitos dessas hipóteses):

- o preço da água variará apenas em decorrência da cobrança (i.e., os custos de abastecimento não crescerão);
- os preços e quantidades demandadas dos demais insumos, bem como a produtividade e o estoque de capital de cada indústria, não variarão;

- a elasticidade-preço própria da água variará apenas em função da variação do preço da água e da conseqüente variação na participação do custo da água no custo total.

Essas hipóteses conferem um elevado grau de imprecisão ao trabalho, pois não se pode fazer nenhuma dessas afirmações para um horizonte de 40 anos. Porém, a falta de acesso aos dados usados na construção do modelo e a inviabilidade de se fazer previsões sobre variáveis não relacionadas à água tornam necessário adotar tais hipóteses. Espera-se que, com a aplicação da cobrança e com a possibilidade de obter séries de preço e consumo de água maiores, as estimativas de elasticidades e a otimização possam ser refeitas com maior precisão.

A equação que fornece a demanda industrial face à cobrança deve levar em conta a mudança de elasticidade-preço ocasionada pelo aumento do preço da água. Com a adoção de todas as simplificações mencionadas acima, ela assume a seguinte forma:

$$\ln\left(\frac{D_{ind}}{D_{ind0}}\right) = \gamma.\frac{\ln(P)^2 - \ln(P_0)^2}{2} + (a-1).(\ln(P) - \ln(P_0)) + \ln(a + \gamma\ln(P)) - \ln(a + \gamma\ln(P_0)) \quad (4.3)$$

sendo: a e γ parâmetros do modelo econométrico. a representa a união de todos os termos que foram considerados constantes na Equação 3.10.

O valor de P_0 para a indústria foi obtido a partir do trabalho dos autores do modelo econométrico utilizado por JMR/ENGECORPS (Seroa da Motta *et al.* 2006). O valor, de R$1,74/m³, é o da média entre todas as indústrias amostradas, ou seja, corresponde à razão entre gastos totais com água e o volume total de água gasto. Os gastos totais correspondem a captação, tratamento anterior ao uso, reciclagem, tratamento/descarga de efluentes. Neste trabalho, como o uso da água pela indústria é considerado totalmente não-consuntivo, o preço final corresponde à soma de P_0 e do preço de captação.

Os valores dos parâmetros deste modelo estão no Apêndice C.

4.2.3 Função de demanda agrícola

Como foi visto anteriormente, a demanda de água dos irrigantes tende a variar pouco quando o preço da água é baixo e, para preços mais altos, apesar de a demanda diminuir muito, a rentabilidade da produção agrícola e o uso de mão-de-obra podem cair muito. Esse foi o resultado de uma simulação na Espanha e tal situação é passível de ocorrer no Brasil também, como percebemos pela oposição que a cobrança pelo uso da água vem sofrendo no meio agrícola.

Devido a isso e também ao fato de não haver boas estimativas de elasticidade-preço disponíveis para o meio agrícola, poder-se-ia adotar um valor compatível com a porção inelástica da curva de demanda típica e considerá-lo constante. No entanto, outro problema que dificulta a modelagem do comportamento do usuário agrícola é a falta de uma boa estimativa de custo inicial (bombeamento, p. ex.) para a água de irrigação.

Essa variabilidade aliada à falta de valores regionais levou à opção de não incluir o setor agrícola nos cálculos deste trabalho. Acredita-se que ele deve contribuir como todos os outros usuários, mas a definição do preço pode ser, por enquanto, simbólica. Não são raros os países que ainda não solucionaram bem a entrada dos setores rurais na política de cobrança pelo uso da água (Seroa da Motta, 1998), indicando que é razoável deixá-los de lado no começo.

4.2.4 Diluição de efluentes

A influência do preço da água na demanda para diluição de efluentes será tratada por meio da análise de custo-efetividade (ACE), técnica descrita anteriormente. A curva de abatimento marginal da DBO será obtida de diversas fontes (Tabela 4). Não haverá

preocupação em obter valores muito corretos ou detalhados; basta que se encontre, na literatura, uma estimativa de custo unitário de remoção de DBO (R$/Kg) para cada setor industrial presente na bacia do Tietê-Jacaré e para o setor residencial. Não será levada em conta a tecnologia de tratamento e, quando não se dispuser de dados mais detalhados, a eficiência do tratamento será presumida como sendo igual a 80%.

Variável	**Valor**	**Unidade**	**Fonte**
Custo tratamento ind curtume	3,55	R$/m³	Fornari 2007
Custo tratamento ind laticínios	0,75	R$/m³	Nunes Júnior 2002
Custo tratamento ind sucroalcooleira	0,95	R$/m³	Seroa da Motta et al. 2006
Custo tratamento ind bebidas	0,99	R$/m³	Seroa da Motta et al. 2006
Custo tratamento cidades	0,56	R$/m³	JMR/ENGECORPS 2005b
DBO ind curtume	2500	mg/L	Braile e Cavalcanti 1998
DBO ind laticínios	1500	mg/L	Braile e Cavalcanti 1998
DBO ind sucroalcooleira	7000	mg/L	Braile e Cavalcanti 1998
DBO bebidas	1700	mg/L	Braile e Cavalcanti 1998
DBO esgoto doméstico	220	mg/L	Braile e Cavalcanti 1998

Tabela 5 - Valores necessários aos cálculos de otimização. Obs: no caso da indústria sucoalcooleira, foi usado o valor da média amostral de Seroa da Motta et al. (2006), já que não se encontraram valores específicos

Uma vez definido um preço para o lançamento de poluentes (R$/KgDBO), foi adotada a suposição de que os usuários com custo marginal de remoção abaixo dessa taxa tratarão seus efluentes e aqueles com custo marginal superior preferirão pagar a "multa". A partir da nova DBO lançada no curso d'água fictício da bacia (segundo

metodologia de Macêdo 2005), será calculada a vazão demandada para diluir a carga lançada até uma determinada concentração. Assim, a demanda para diluição poderá ser somada às demandas quantitativas. A forma mais correta de fazer este cálculo seria a Equação 4.4.

$$D_{esg} = \frac{Q_{esg}}{n}.(1 + \frac{DBO(P) - DBO_{padrão}}{DBO_{padrão} - DBO_{rio}}).(e^{-Kt} + e^{-2Kt} + ... + e^{-nKt}) \quad (4.4)$$

sendo: n o número de pontos de lançamento; DBO_T a DBO total lançada, definida como a carga total dividida pela vazão de esgoto total da bacia; K é o coeficiente de desoxigenação; t é o tempo de percurso entre dois pontos de lançamento.

No entanto, as demandas para diluição de esgoto haviam sido calculadas para a velha divisão da bacia do Tietê-Jacaré (9 sub-bacias). A transformação das demandas para a nova divisão (6 sub-bacias) foi feita com método de regionalização, o que ocasionou perda das informações necessárias para recalculá-las conforme a Equação 4.5 (n° de pontos de lançamento e parâmetros relativos ao corpo receptor). No entanto, verificou-se experimentalmente que, caso se faça um cálculo mais simples, assumindo que uma redução de x% na DBO lançada na bacia levará a uma redução de x% na vazão de diluição, o erro aumenta com o nível de tratamento, mas permanece abaixo de 1% até um nível de aproximadamente 65% de remoção de DBO. Assim sendo, optou-se pelo cálculo por este método mais simples (Equação 4.5).

$$D_{esg} = D_{esg0} . \frac{DBO(P)}{DBO_0} \quad (4.5)$$

sendo *DBO(P)* e D_{esg} a DBO lançada na bacia, devidamente modificada pela cobrança, e a vazão requerida para sua diluição; D_{esg0} e DBO_0 os valores iniciais (cenários de referência).

Os cálculos para obtenção desta curva estão detalhados no Apêndice D.

4.3 Otimização

O problema de otimização a ser resolvido neste trabalho consiste na minimização da escassez hídrica nas sub-bacias da bacia do Tietê-Jacaré através da cobrança pelo uso da água. Portanto, a função-objetivo é a escassez hídrica nas sub-bacias, ou seja, o próprio balanço hídrico com sinal negativo, como se mostra na Equação 4.6.

Visto que as demandas hídricas foram escritas apenas em função do preço atribuído à água, as variáveis de decisão foram os preços para os diferentes usos e usuários. Todas as demais variáveis que afetam a demanda hídrica dos diferentes setores usuários foram escritas em função do preço da água (e.g a elasticidade-preço da demanda industrial) ou consideradas constantes, como a elasticidade-preço da demanda residencial. Essas variáveis e hipóteses foram explicadas nos itens 4.2.1 a 4.2.4.

Entende-se que apenas os preços da água devem ser usados como variáveis de decisão do modelo porque são as únicas realmente controláveis por gestores que eventualmente utilizem este modelo. Cabe a um comitê de bacias deliberar sobre os preços a serem cobrados sobre a água e não, por exemplo, sobre o preço da energia elétrica (que afetaria a demanda industrial caso variasse). Na aplicação da cobrança pelo uso da água, também se utilizam coeficientes de alteração do valor cobrado (conforme item 3.1) e, se eles tivessem sido considerados neste trabalho, também poderiam ser variáveis de decisão neste problema de otimização.

Objetivo

- Aproximar oferta e demanda hídrica

A demanda hídrica total de uma bacia não deveria superar a oferta, expressa em termos de uma vazão mínima (50% da $Q_{7,10}$). Caso a demanda continue maior que a

oferta, não significa necessariamente que ela não será atendida, pois a oferta hídrica considerada é apenas a vazão de escoamento superficial produzida dentro da própria bacia – ou seja, não é levada em conta a vazão que chega até a bacia pelos cursos d'água a montante. Caso a demanda hídrica de uma sub-bacia permaneça dentro dos limites do escoamento que é produzido dentro dela própria, significa que ela (a sub-bacia) não prejudica a disponibilidade de água para as bacias a jusante. Desse modo, é viável estabelecer metas de demanda hídrica para cada sub-bacia, analisando suas situações separadamente.

Ressalta-se também que parte da demanda é qualitativa, ou seja, caso a demanda total supere a oferta, provavelmente continuará sendo possível atender aos usos quantitativos, mas com o risco de violar o padrão de qualidade dos cursos d'água. Assim, o objetivo a ser buscado na otimização será o de minimizar a diferença entre oferta e demanda de água para cada bacia.

$$\min \sum_{s} D_{s,i} - Of_i \qquad (4.6)$$

sendo $D_{s,i}$ a demanda do setor s (s = res, ind, esg) na sub-bacia i e Of_i a oferta hídrica na sub-bacia i. As demandas são calculadas em função do preço pelas Equações 4.2, 4.3 e 4.5.

Uma vez que a meta é eliminar ou reduzir a escassez hídrica, duas considerações devem ser feitas. Nos cenários em que não há previsão de escassez hídrica, não há objetivo a atingir e, portanto, o preço estipulado inicialmente já é a solução do problema. Em segundo lugar, o valor da Equação 4.6 não será reduzido a menos de 0 (zero), já que o objetivo considerado neste trabalho é apenas garantir que a demanda não supere a oferta, e não fazer com que haja superávit hídrico.

Observa-se que a Equação 4.6 poderia ser escrita de formas diferentes. Por exemplo, seria possível expressar a função objetivo como a razão entre demanda e

oferta, com o objetivo de minimizá-la aproximando-a de 1 (não objetivando torná-la menor que 1). No entanto, essa expressão diferente da função objetivo não alteraria os resultados.

Restrições

- Atendimento às necessidades humanas básicas

O preço da água não pode se tornar alto ao ponto de fazer com que a demanda doméstica fique abaixo das necessidades básicas, pois o abastecimento humano é prioridade absoluta dentre os usos de recursos hídricos. Como valor indicador das necessidades básicas diárias de uma pessoa, será usado o consumo per capita do meio rural, que é de 110L/hab.dia (Macêdo, 2005).

$$D_{res} \geq D_{res-rural} \cdot pop \qquad (4.7)$$

- Impacto sobre os custos de produção industriais

Foi arbitrado um valor máximo de participação (*cost share*) do custo da água nos custos totais das indústrias para se evitar que o modelo pudesse atribuir valores infinitos ao preço da água cobrada desse setor.

- Factibilidade do controle de poluição

Não é possível remover 100% da DBO a ser lançada nos corpos receptores, muito menos valores maiores que 100%. Por isso, foi adotada a restrição de não-negatividade para a demanda hídrica por diluição de poluentes, ou seja, essa demanda deve ser maior ou igual a zero. Porém, foi necessário atribuir mais restrições conforme item 4.3.1.

- Demais restrições de não-negatividade

Todos os preços e demandas hídricas devem ser maiores ou iguais a zero.

4.3.1 O algoritmo de otimização

Foi usado o suplemento Solver do software Microsoft Excel® para resolver o problema de otimização. O Apêndice E mostra um exemplo de tela de aplicação do método. O Solver utiliza o método do gradiente reduzido genérico, que é um algoritmo de busca direta. Como a função objetivo é monotonicamente decrescente (isto é, sempre que o valor de uma das variáveis de decisão aumenta, seu valor diminui), esse método é suficiente para resolver o problema proposto. A aplicação do método foi feita da seguinte forma:

- Todas as demandas hídricas, com exceção da agrícola, foram escritas em função dos respectivos preços com os parâmetros mencionados nas seções anteriores.

- Foi calculada a soma dessas demandas e subtraída da oferta hídrica, na forma da $Q_{7,10}$ (vazão média mínima de sete dias consecutivos com período de retorno de 10 anos).

- Estabeleceram-se equações de restrição aos preços cobrados de cada tipo de uso e usuário. O preço do abastecimento público foi limitado pela demanda mínima de uma pessoa (adotada como a demanda rural de 110L/hab.dia), a da indústria pela participação do custo da água nos custos totais (arbitrado como 1,2%) e o da diluição de efluentes pelo nível máximo factível de remoção de DBO (devido aos ajustes da curva, aproximadamente 76%).

- Demais restrições como as de não-negatividade das demandas e dos preços foram consideradas. Os preços para captação e consumo de água mínimos, tanto para consumo humano quanto uso industrial, foram fixados nos valores praticados na bacia do Paraíba do Sul.

- O balanço hídrico foi colocado como objetivo no Solver® e os preços (captação e consumo industrial e residencial, poluição por DBO) como variáveis e

decisão. Foi feito o procedimento para cada sub-bacia em cada cenário de Macêdo, para cada ano. Caso o valor inicial do balanço hídrico fosse maior que zero, deixavam-se os preços no valor mínimo. Caso fosse menor que zero, era feita uma primeira tentativa de igualá-lo a zero e, caso falhasse, uma tentativa de maximizá-lo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 6 e 7 mostram os resultados da aplicação da técnica de otimização descrita nos itens 4.3 e 4.3.1.

Nota-se que os problemas de escassez hídrica tendem a aumentar com o passar dos anos, levando a preços mais elevados. As sub-bacias com problemas sérios desde o início são quatro das seis, sendo a do Jacaré-Pepira (2) e da margem esquerda jusante do Tietê (6) as que menos sofrem com o problema, chegando a não apresentar previsão de escassez no ano 2050 no pior cenário (CCA+CSEA).

A sub-bacia da margem esquerda do Tietê a montante (4) merece destaque por ser pouco afetada pelo aumento dos preços da água. Isso se deve ao fato de que o uso agrícola responde sozinho por mais da metade do consumo dessa sub-bacia e, como a agricultura e a pecuária não foram consideradas nos cálculos, isso pode ter subestimado a capacidade da cobrança de ajudar a combater o estresse hídrico nessa sub-bacia. Não obstante, conforme já citado, é difícil praticar preços que realmente afetem o comportamento do agricultor sem provocar danos sociais e econômicos ou, pelo menos, atrair oposição.

	Abastecimento			Indústria		
	R$/m³ - variação da demanda			R$/m³ - variação da demanda		
	2010	2025	2050	2010	2025	2050
1. Jacare Guacu	0,014	1,023	4,926	0,010	0,958	3,926
	0,41%	19,95%	45,33%	0,81%	23,82%	54,03%
2. Jacare Pepira	0,014	0,014	1,010	0,010	0,010	0,010
	0,41%	0,41%	19,77%	0,81%	0,81%	0,81%
3.Tiete Direita	0,154	1,010	4,926	0,052	0,010	3,926
	4,19%	19,77%	45,33%	2,06%	0,81%	54,03%
4.Tiete Esq Mont	0,434	4,927	4,926	0,491	3,927	3,926
	10,42%	45,33%	45,33%	14,11%	54,04%	54,03%
5.Tiete Esq Med	3,657	4,927	4,926	1,351	3,927	3,926
	40,28%	45,33%	45,33%	30,28%	54,04%	54,03%
6.Tiete Esq Jus	0,434	0,014	0,014	0,491	0,010	0,010
	10,42%	0,41%	0,41%	14,11%	0,81%	0,81%

	Efluentes			Balanço hídrico		
	R$/KgDBO – variação demanda			m³/s – variação do balanço		
	2010	2025	2050	2010	2025	2050
1. Jacare Guacu	0,000	2,532	2,532	-0,20	0,00	-3,34
	-0,03%	75,88%	75,88%	13,61%	100,00%	79,79%
2. Jacare Pepira	0,000	0,005	2,501	6,27	3,07	0,00
	0,00%	0,00%	43,44%	0,03%	1,20%	100,02%
3.Tiete Direita	0,207	2,530	2,532	0,00	0,00	-0,21
	6,91%	60,02%	75,88%	100,00%	99,88%	96,56%
4.Tiete Esq Mont	0,005	2,532	2,532	0,00	-0,34	-1,40
	-0,03%	75,88%	75,88%	100,00%	72,50%	44,52%
5.Tiete Esq Med	2,530	2,532	2,532	-0,39	-0,53	-1,83
	42,81%	75,88%	75,88%	82,75%	87,02%	72,37%
6.Tiete Esq Jus	0,005	0,005	0,005	3,14	2,69	2,20
	-0,03%	3,35%	0,00%	0,50%	0,46%	1,20%

Tabela 6 – Resultados da otimização para o cenário CSET.
Obs: 1) os resultados de preço de abastecimento público e indústria se referem aos usos quantitativos, devidamente considerados os coeficientes de consumo; 2) O balanço hídrico representa a diferença entre oferta e demanda na sub-bacia. Caso seu valor inicial seja negativo (déficit hídrico), uma variação de 100% indica que ele foi levado a zero por efeito da cobrança.

	Abastecimento			Indústria		
	R$/m³ - variação			R$/m³ - variação		
	2010	2025	2050	2010	2025	2050
1. Jacare Guacu	3,072	4,926	4,926	3,926	3,926	3,926
	37,30%	45,33%	45,33%	54,03%	54,04%	54,04%
2. Jacare Pepira	0,014	0,014	1,830	0,010	0,010	1,334
	0,41%	0,41%	28,64%	0,81%	0,81%	30,02%
3.Tiete Direita	0,215	2,915	4,926	0,163	1,915	3,926
	5,69%	36,40%	45,33%	5,42%	37,66%	54,04%
4.Tiete Esq Mont	4,926	4,926	4,926	3,926	3,926	3,926
	45,33%	45,33%	45,33%	54,03%	54,04%	54,04%
5.Tiete Esq Med	4,926	4,926	4,926	3,926	3,926	3,926
	45,33%	45,33%	45,33%	54,03%	54,04%	54,04%
6.Tiete Esq Jus	0,014	0,014	0,014	0,010	0,010	0,010
	0,41%	0,41%	0,41%	0,81%	0,81%	0,81%

	Efluentes			Balanço hídrico		
	R$/KgDBO – variação			m³/s – variação		
	2010	2025	2050	2010	2025	2050
1. Jacare Guacu	2,366	2,532	2,532	0,00	-3,67	-9,36
	36,60%	75,88%	75,88%	100,00%	69,02%	52,15%
2. Jacare Pepira	0,005	0,005	2,530	2,95	0,35	0,00
	0,00%	0,00%	58,87%	1,20%	1,20%	99,71%
3.Tiete Direita	1,050	2,532	2,532	0,00	0,00	-1,21
	27,23%	75,88%	75,88%	100,00%	100,00%	77,03%
4.Tiete Esq Mont	2,532	2,532	2,532	-2,12	-4,07	-6,38
	75,88%	75,88%	75,88%	25,77%	19,13%	16,21%
5.Tiete Esq Med	2,532	2,532	2,532	-0,09	-1,28	-2,25
	75,88%	75,88%	75,88%	96,40%	68,25%	57,77%
6.Tiete Esq Jus	0,005	0,005	0,005	2,44	1,63	0,90
	0,00%	0,00%	0,00%	1,20%	1,20%	1,20%

Tabela 7 – Resultados da otimização para o cenário CSEA.

É possível notar também que, devido a fatores numéricos relativos aos parâmetros das funções de demanda, há uma tendência de o algoritmo fazer com que o preço da água para os usuários domésticos seja maior. Ele busca aumentar mais o preço daqueles usuários que diminuirão mais seu consumo, de forma atingir mais facilmente o objetivo de aumentar o balanço hídrico. Embora a elasticidade-preço industrial seja, em geral, maior que a residencial, o fato de a função que a descreve ser logarítmica faz com que ela decresça fortemente com o aumento do preço, tornando a elasticidade-preço residencial maior. Não se sabe dizer se este resultado reflete bem a realidade, pois pode

ser que as indústrias possuam mais formas de se adaptar à necessidade de reduzir o consumo de água do que os usuários residenciais – e, portanto, devam ter maior elasticidade-preço – porém, esta afirmação é discutível, devendo ser investigada e corroborada ou não com dados.

A prática do uso do algoritmo de otimização levou à adoção de outras restrições, como a que limita o preço residencial do metro cúbico ao máximo de um real a mais que o metro cúbico industrial. Notou-se, também, que o preço máximo cobrado da indústria dependia fortemente do percentual máximo estipulado para a participação do custo da água nos custos totais de produção. Tal fato se deve, como mencionado anteriormente, às simplificações que levaram a função *cost share* a depender do logaritmo do preço. Isso fez com que grandes elevações de preço provocassem pequenas mudanças no *cost share* – ou, de forma recíproca, que pequenas mudanças no *cost share* máximo admitido levassem a grandes aumentos do preço máximo. O *cost share* máximo adotado foi de 1,2%, o que permitia preços até cerca de R$3,9/m³, como se pode notar nas Tabelas 6 e 7.

A função de custo de tratamento de efluentes apresentou um bom ajuste, porém, sua inversa (nível de remoção de DBO em função do preço cobrado) apresentou o problema de atingir níveis muito altos de remoção para preços próximos de zero (15,3% para o preço de R$0,005/Kg por exemplo). Desse modo, para sub-bacias com déficit hídrico muito pequeno, seria possível ao algoritmo "resolver" esse déficit apenas com a cobrança pelo lançamento de poluentes e com um preço que, na prática, não teria efeito sobre a demanda. Portanto, foram feitos os seguintes ajustes manuais nos resultados:

- O preço mínimo foi estipulado em R$0,005/Kg de DBO, quantia notavelmente abaixo do custo marginal de tratamento de efluentes de qualquer tipo de indústria.

- Para sub-bacias com déficit hídrico muito pequeno, que pudesse ser "solucionado" apenas com a cobrança de um preço até R$0,005/Kg por lançamento de poluentes (outro valor notoriamente abaixo dos custos marginais de remoção de DBO), era somada ao valor final da demanda de diluição a porcentagem de remoção indicada pelo algoritmo e, em seguida, eram refeitos os cálculos.

- Para sub-bacias sem déficit hídrico, a porcentagem de DBO removida era forçada a ser zero, pois, nessas sub-bacias, nenhuma redução de demanda é buscada pelo algoritmo.

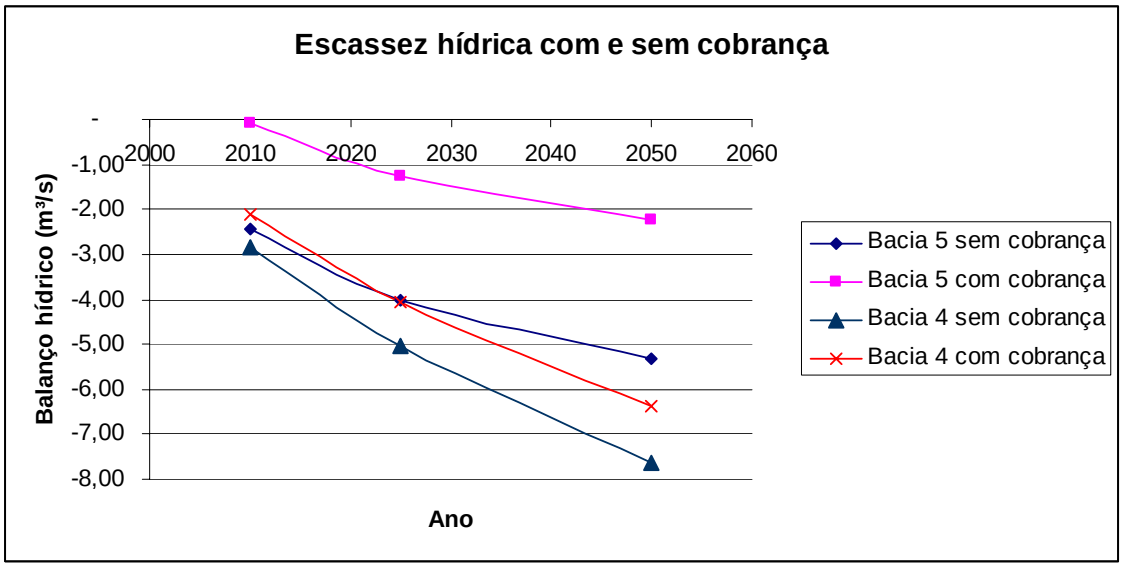

Figura 7: escassez hídrica futura em duas sub-bacias críticas. Os níveis negativos de balanço hídrico significam déficit.

Fica claro que a cobrança pelo uso da água tem potencial para controlar a demanda hídrica na Figura 6, que mostra duas das sub-bacias mais críticas, uma muito afetada pela cobrança (5) e uma pouco afetada por motivos já discutidos (4).

6. RECOMENDAÇÕES

Foram encontradas grandes dificuldades na modelagem do comportamento dos usuários de água face à cobrança devido à falta de dados. A dificuldade encontrada principalmente para os setores agrícola e industrial indica que, para uma boa gestão da

demanda de recursos hídricos, é necessário ampliar os programas de monitoramento e estudo nas bacias ou, pelo menos, formular valores de referência nacionais e/ou regionais. Para o setor residencial, no entanto, as variáveis importantes na modelagem das funções de demanda são monitoradas regularmente, cabendo apenas ampliar o número de municípios abrangidos.

Para o uso agrícola, dados básicos como a área ocupada com cada tipo de cultura agrícola são difíceis de obter, e são essenciais para a modelagem da função de demanda hídrica. É necessário não apenas saber qual o tamanho dessas áreas, mas também as alternativas de uso da terra, visto que um agricultor pode passar a cultivar outros produtos caso perceba maior lucratividade e menor risco na atividade em questão (Gómez-Limón e Berbel 2000). O custo de implantação e operação dos diferentes sistemas de irrigação precisa ser medido e modelado, bem como a função que relaciona a produtividade das diferentes culturas com o volume de água utilizado na irrigação.

Para o setor industrial, é necessário levantar dados sobre várias variáveis, uma vez que o modelo de demanda hídrica é muito complexo. Energia, matéria-prima, mão-de-obra e capital influenciam na demanda por água e as demanda e custos dessas variáveis devem ser melhor conhecidos para vários tipos de indústria. Como é difícil conceber cenários futuros para as demandas e custos de cada uma dessas variáveis, além de não ser fácil o acesso a tais dados por questão de sigilo industrial, é necessário buscar um modelo mais simples para a demanda industrial caso se queira trabalhar com cenários futuros no planejamento de recursos hídricos.

A estimativa de elasticidade-preço costuma ser altamente dependente do preço, uma vez que a função de demanda não se comporta da mesma forma para qualquer faixa de valores. Os cálculos efetuados neste trabalho envolvem preços consideravelmente acima daqueles para os quais as funções de demanda foram

calculadas, uma vez que essas funções foram estimadas em um contexto no qual não havia a cobrança pelo uso da água, senão apenas custos de bombeamento e tratamento. Assim sendo, recomenda-se que as estimativas de elasticidade-preço sejam refeitas periodicamente quando a cobrança pelo uso da água for aplicada e houver dados disponíveis para tal, considerando o monitoramento de variáveis como as que foram mencionadas nesta seção.

Uma possível melhoria para o sistema de otimização desenvolvido aqui é a articulação de preferências entre as variáveis da cobrança (preços). Embora seja possível tratar o combate à escassez hídrica como um problema de objetivo único, o que facilita sua resolução, há várias formas de se atingir um mesmo objetivo, na medida em que se cobra mais de um grupo de usuários do que de outros. Cabe ao comitê de bacias deliberar sobre tal diferenciação de preços, portanto, é interessante construir um sistema de otimização que permita a visualização de várias soluções e forneça ferramentas para se escolher entre elas em um ambiente de discussão.

Vários países e bacias propuseram coeficientes que alteram o valor cobrado, por exemplo, em função do corpo receptor ou do porte do usuário, mas isso não foi analisado aqui. Eventuais distorções na distribuição de preços podem ser corrigidas com o uso de coeficientes, e convém estudar seu uso junto com os preços unitários.

7 CONCLUSÃO

O objetivo geral desta dissertação é prevenir a escassez hídrica através da cobrança pelo uso da água, propondo preços que levem os usuários a reduzir sua demanda em quantidade determinada. Pode-se dizer que esse objetivo foi atingido, porém, são necessárias diversas melhorias, detalhadas segundo os objetivos específicos

nos parágrafos seguintes. Devido às inúmeras incertezas, pode-se dizer que este modelo ainda não está adequado para aplicação prática.

O primeiro objetivo – obter relação matemática entre as variáveis "demanda por água" e "preço da água" na bacia do Tietê-Jacaré para os diferentes setores usuários – foi mais bem atingido para o setor de abastecimento público pela maior abundância de dados. Para o setor industrial, o modelo precisou ser simplificado ao extremo devido à impossibilidade de considerar variáveis como matéria prima, energia, mão de obra e capital, tornando-se distorcido. A curva de abatimento de DBO também foi distorcida e também houve escassez de dados, porém, a maior causa de distorção foi a não adoção de um modelo matemático apropriado. A curva interpolada fornecia grandes porcentagens de remoção de DBO para preços muito baixos de cobrança pelo lançamento de carga orgânica.

O segundo objetivo – escrever equações para otimização dos preços da água de modo a atender ao objetivo de combate à escassez hídrica, sujeito a diversas restrições – foi atendido em parte porque, para que o modelo retorne um resultado razoável, é necessário que haja várias restrições destinadas a refletir as preferências do órgão gestor da bacia (no caso, o Comitê de Bacias). Por exemplo, restrições relativas ao impacto máximo da cobrança sobre os custos industriais ou domésticos e à diferença máxima entre os preços cobrados dos diferentes setores de usuários devem ser cuidadosamente discutidas e incorporadas ao modelo. Neste trabalho, estas restrições foram incorporadas arbitrariamente à medida que se percebeu a necessidade de cada uma delas.

O terceiro objetivo – Aplicar a metodologia proposta na bacia do Tietê-Jacaré para atender metas de planejamento no horizonte dos cenários de Macêdo (2010, 2025 e 2050) – foi atingido quase totalmente, pois algumas bacias permaneceram com previsão de escassez hídrica futura, porém não tão severa como seria sem a cobrança pelo uso da

água. Deve-se ressaltar que, uma vez estabelecidas as curvas de demanda hídrica (relação preço x demanda) e as (in)equações de otimização, não é difícil encontrar, matematicamente, preços que provoquem a redução da demanda a qualquer valor desejado. O maior desafio é estabelecer preços aceitáveis, razoáveis e que não prejudiquem injustamente um grupo de usuários em detrimento de outro. Verificou-se que é possível usar a cobrança como instrumento de gestão da demanda hídrica sem cobrar valores absurdamente elevados em vários casos, mas o julgamento sobre a aceitabilidade dos resultados deve ser feito pelo Comitê de Bacias.

REFERÊNCIAS

ABE, J. (2000) Uso racional e eficiente da água é a melhor forma de participação da agricultura. In: A. C. M. Thame (org). A cobrança pelo uso da água. p. 11-16. São Paulo: IQUAL, Instituto de Qualificação e Editoração LTDA, 2000.

ARANHA, V. A. (2006) Estudo de condições necessárias para a eficácia da cobrança na gestão dos recursos hídricos. Dissertação de mestrado, Programa Gestão Econômica do Meio Ambiente, FACE/UnB, Brasília, 110p+anexos.

ARAÚJO, J. L. R. H. (2001) Modelos de formação de preços na regulação de monopólios. Econômica, vol. 3, n° 1, pp.35-66, jun 2001.

CÁNEPA, E. M.; PEREIRA, J. S. e LANNA, A. E. L. (1999) A política de recursos hídricos e o princípio usuário-pagador (PUP). Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH), Porto Alegre, v.4, no. 1, jan./mar.

CARVALHO, G. B. B; ASCELRAD, M. V; THOMAS, P. T (2006) A cobrança pelo uso da água nas bacias dos rios Paraíba do Sul e PCJ: avaliação e evolução. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo – Anais – 25-29 de novembro de 2007.

DÖLL, P; HAUSCHILD, M; MENDIONDO, E. M; ARAÚJO, J. C (2001) Modeling present and future water use in Piauí and Ceará as a basis for water resources planning. In: T Gaiser, M Krol, H Frischkorn e J C de Araújo (ed). Global Change and Regional Impacts: Water availability and vulnerability of ecosystems and society in the semiarid Northeast of Brazil. p. 239-251. Berlin; Heidelberg; New York; Hong Kong; London; Milan; Paris; Tokyo: Springer, 2003.

GÓMEZ-LIMÓN, J. A. e BERBEL, J. (2000) Multicriteria analysis of derived water demand functions: a Spanish case study. Agricultural Systems 63, p 49-72.

GREENE, W. H. (2000) Econometric Analysis – Fourth Edition . Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, p. 640-643

JMR/ENGECORPS (2005) Regulamentação da Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos – Relatório-Síntese. São Paulo, 227p + anexos.

MACÊDO, R. F. (2005) Proposta metodológica para a análise de cenários de disponibilidade e oferta hídrica, Diss. Mestrado, Programa Eng. Hidráulica e Saneamento, EESC/USP, São Carlos, 181p+anexos.

MACÊDO, R. F. e MENDIONDO, E. M. (2004) Análise multi-objetivo dos cenários de planos diretores para recuperação ambiental em bacias urbanas. Relatório Interno, Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas, EESC/USP.

MELO, J A M; JORGE NETO, P M (2007) Bem-estar social, regulação e eficiência no setor de saneamento básico. XXXV Encontro Nacional de Economia. Anais. Recife, Dez 2007

MENDIONDO, E M; MARTINS, E. S. P. R; BERTONI, J. C (2002) Gestão das incertezas hidrológicas no auxílio às políticas hídricas para o manejo integrado de bacias. XIX Congreso Nacional del Água, Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina – Anales – 13 a 16 de Agosto de 2002

PASSALAQUA, B. (2008) Comunicação pessoal. Membro do Comitê de Bacias do Tietê-Jacaré.

PEDROSA, V. A. (2001) Tarifas nas Empresas de Saneamento. Tese de Doutorado, Programa Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento, IPH/UFRGS, Porto Alegre, 151p.

PEREIRA, J. S. e LANNA, A. E. L. (1998) A cobrança pelo uso da água como um problema de rateio de custo. Simpósio Internacional sobre Gestão de Recursos Hídricos. Anais. Gramado, 1998

PMSS – Programa de Modernização do Setor Saneamento (2007). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2006. – Brasília: MCIDADES.SNSA www.snis.gov.br

RIBEIRO, M. M. R.; LANNA, A. E. L.; PEREIRA, J. S. (1999) Elasticidade-preço da demanda e a cobrança pelo uso da água. XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais. Belo Horizonte, Dez. 1999

SANTOS, M. O. R. M. (2002) O impacto da cobrança pelo uso da água no comportamento do usuário. Tese de Doutorado, Programa Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 231p.

SCHEIERLING, S. M.; LOOMIS, J. B.; YOUNG, R. A. (2004) Irrigation water demand: a meta analysis of price elasticities. American Agricultural Economics Association Annual Meeting. Denver CO, Ago. 2004

SCHVARTZMAN A. S.; NASCIMENTO N. O.; VON SPERLING, M. (2002) Outorga e cobrança pelo uso dos recursos hídricos na bacia do rio Paraopeba, MG. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 7, n° 1, pp.103-122, jan./mar.

SEROA DA MOTTA, R.; THOMAS, A.; REYNAUD, A.; FÉRES, J. G.; (2006). Demanda por água e custo de controle da poluição hídrica em indústrias da bacia do rio Paraíba do Sul. In: XXXIV Encontro Nacional de Economia, 2006, Salvador. Anais do XXXIV Encontro Nacional de Economia ANPEC, 2006

THOMAS, P. T.; MAGALHÃES, P. C. e AZEVEDO, J. P. S. (2003) Proposta de uma metodologia de cobrança pelo uso da água vinculada à escassez. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais. Curitiba, Nov 2003

VON SPERLING, M. (1995). Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos, 2.ª ed., Belo Horizonte – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Geras.

WENDLAND, E. C.; MENDIONDO, E. M.; MACÊDO, R. F. (2007). Balanço hídrico superficial na UGRHI 13 – nova divisão de sub-bacias e dados atualizados. São Carlos, dezembro de 2007.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Ofertas e demandas hídricas futuras segundo os cenários construídos por Macêdo (2005) e modificados por Wendland *et al.* (2008)

Com base nos valores de precipitação regionalizados,calculou-se a oferta hídrica para cada bacia na nova divisão (em 6 sub-bacias) conforme descrito no item 3.11. A Tabela 8 mostra os valores de demanda e oferta ($Q_{7,10}$).

Sub-Bacia	Precipitação Média Anual no Período (mm/ano)			
	Histórico	2005 a 2014	2020 a 2029	2045 a 2054
1	1.437	1.431	1.311	1.270
2	1.438	1.444	1.373	1.369
3	1.428	1.292	1.148	1.101
4	1.299	1.287	1.253	1.241
5	1.445	1.432	1.315	1.271
6	1.351	1.340	1.292	1.282

Tabela 8: Precipitação média nas sub-bacias da UGRHI 13

2010 - CSET

Sub-bacia	Abastecimento Público	Esgotos Domésticos	Irrigação	Pecuária	Indústria	Esgotos Industriais	Oferta
1	3,05	4,38	4,94	0,49	2,52	1,09	16,24
2	0,34	1,58	2,06	0,12	0,08	0,05	10,51
3	1,20	2,65	0,60	0,07	0,38	0,46	5,07
4	0,34	0,39	3,57	0,02	0,47	0,06	4,74
5	1,95	2,44	0,28	0,71	0,00	0,09	3,21
6	0,13	0,26	0,49	0,03	0,01	0,02	4,07
Total	**7,01**	**11,69**	**11,95**	**1,44**	**3,46**	**1,77**	**43,84**

2025 - CSET

Sub-bacia	Abastecimento Público	Esgotos Domésticos	Irrigação	Pecuária	Indústria	Esgotos Industriais	Oferta
1	3,76	5,44	6,21	0,57	3,56	1,64	14,21
2	0,55	2,60	3,14	0,19	0,10	0,08	9,74
3	1,56	3,48	0,76	0,09	0,46	0,59	4,18
4	0,41	0,47	4,25	0,02	0,55	0,07	4,54
5	2,46	3,09	0,35	0,89	0,00	0,12	2,82
6	0,17	0,32	0,60	0,04	0,02	0,02	3,85
Total	**8,90**	**15,40**	**15,32**	**1,80**	**4,68**	**2,52**	**39,34**

2050 - CSET

Sub-bacia	Abastecimento Público	Esgotos Domésticos	Irrigação	Pecuária	Indústria	Esgotos Industriais	Oferta
1	4,96	7,25	8,25	0,69	6,00	2,90	13,51
2	1,04	4,93	5,49	0,36	0,15	0,12	9,69
3	2,26	5,05	1,04	0,13	0,65	0,75	3,89
4	0,52	0,60	5,08	0,03	0,68	0,08	4,47
5	3,32	4,17	0,44	1,20	0,00	0,14	2,67
6	0,24	0,46	0,80	0,06	0,02	0,03	3,80
Total	**12,34**	**22,46**	**21,11**	**2,46**	**7,50**	**4,03**	**38,04**

2010 - CSEA

Sub-bacia	Abastecimento Público	Esgotos Domésticos	Irrigação	Pecuária	Indústria	Esgotos Industriais	Oferta
1	2,62	3,61	7,42	0,82	3,04	1,30	14,39
2	0,26	1,62	2,75	0,16	0,08	0,01	7,82
3	1,01	2,15	0,90	0,10	0,50	0,60	4,43
4	0,29	0,31	5,63	0,03	0,64	0,03	4,07
5	1,66	1,98	0,43	1,08	0,00	0,12	2,84
6	0,11	0,22	0,78	0,05	0,02	0,02	3,65
Total	**5,94**	**9,89**	**17,91**	**2,25**	**4,28**	**2,09**	**37,21**

2025 - CSEA

Sub-bacia	Abastecimento Público	Esgotos Domésticos	Irrigação	Pecuária	Indústria	Esgotos Industriais	Oferta
1	3,03	4,16	9,13	1,05	4,29	1,75	11,56
2	0,30	1,99	3,38	0,20	0,10	0,03	6,35
3	1,17	2,48	1,11	0,13	0,70	0,81	3,22
4	0,33	0,36	6,92	0,03	0,90	0,06	3,59
5	1,92	2,30	0,52	1,38	0,00	0,17	2,28
6	0,13	0,25	0,97	0,07	0,02	0,03	3,10
Total	**6,88**	**11,55**	**22,03**	**2,87**	**6,02**	**2,86**	**30,09**

2050 - CSEA

Sub-bacia	Abastecimento Público	Esgotos Domésticos	Irrigação	Pecuária	Indústria	Esgotos Industriais	Oferta
1	3,35	4,65	11,14	1,22	6,06	2,47	9,33
2	0,33	2,16	4,12	0,24	0,11	0,05	5,57
3	1,29	2,73	1,35	0,15	0,99	1,15	2,39
4	0,37	0,41	8,45	0,04	1,27	0,10	3,01
5	2,12	2,55	0,64	1,60	0,01	0,24	1,82
6	0,15	0,27	1,18	0,08	0,03	0,04	2,64
Total	**7,61**	**12,77**	**26,88**	**3,32**	**8,47**	**4,05**	**24,77**

Tabela 9: Valores de oferta e demanda hídrica nos cenários futuros para a UGRHI 13, segundo Macêdo (2005) e Wendland *et al.* (2008). Valores em m³/s.

APÊNDICE B – Resultados do software Stata

Regressão para o estado de São Paulo inteiro (449 amostras)

```
. ivreg d_gua hidromt  renda (p_gua = invest dts)

Instrumental variables (2SLS) regression

      Source |       SS       df       MS              Number of obs =     449
-------------+------------------------------           F(  3,   445) =  103.50
       Model |  9.72186672     3  3.24062224           Prob > F      =  0.0000
    Residual |  14.9158708   445  .033518811           R-squared     =  0.3946
-------------+------------------------------           Adj R-squared =  0.3905
       Total |  24.6377376   448   .05499495           Root MSE      =  .18308

------------------------------------------------------------------------------
      d_gua |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
      p_gua |  -.3917756   .0357498   -10.96   0.000    -.4620351   -.3215162
    hidromt |  -.0543372   .0282115    -1.93   0.055    -.1097815    .0011072
      renda |  -.1177051   .0110193   -10.68   0.000    -.1393614   -.0960488
      _cons |   6.097971   .1424488    42.81   0.000     5.818015    6.377927
------------------------------------------------------------------------------
Instrumented:  p_gua
Instruments:   hidromt renda invest dts
```

Regressão para a UGRHI 13 (16 amostras)

```
. ivreg d_gua hidromt  renda (p_gua = invest dts)

Instrumental variables (2SLS) regression

      Source |       SS       df       MS              Number of obs =      16
-------------+------------------------------           F(  3,    12) =    1.25
       Model |  .163676907     3  .054558969           Prob > F      =  0.3349
    Residual |  .550032074    12  .045836006           R-squared     =  0.2293
-------------+------------------------------           Adj R-squared =  0.0367
       Total |   .71370898    15  .047580599           Root MSE      =  .21409

------------------------------------------------------------------------------
      d_gua |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
      p_gua |   .0228173   .2166136     0.11   0.918    -.4491432    .4947778
    hidromt |  -.9140941    .596124    -1.53   0.151    -2.212937    .3847484
      renda |   .0817234   .1083078     0.75   0.465    -.1542591    .3177059
      _cons |   8.702183    3.02809     2.87   0.014     2.104542    15.29982
------------------------------------------------------------------------------
Instrumented:  p_gua
Instruments:   hidromt renda invest DTS
```

APÊNDICE C – Valores de parâmetros usados nas curvas de demanda

Os valores de parâmetros usados nas curvas de demanda obtidas nos itens 4.2.1 e 4.2.2 são mostrados na tabela seguinte.

Variável	Nome	Valor	Unid.	Fonte
P_0	Preço inicial da água para usuários **residenciais**	1,33	R$/m³	PMSS (2007)
ε	Elasticidade-preço da demanda residencial	-0,39	-	Calculado (item 4.2.1)
i	(ver item 4.2.1.1)	0,0001	-	Arbitrário
K_{cons}	Coeficiente de consumo de água residencial	0,2	adim	Von Sperling (1995)
P_0	Custo inicial da água para usuários **industriais**	1,74	R$/m³	Seroa da Motta *et al.* (2006)
γ	Parâmetro do modelo de demanda industrial	0,0033		Seroa da Motta *et al.* (2006)
a	União das variáveis e parâmetros considerados constantes no modelo de demanda industrial	0,006276	-	Calculado com base em γ e na elasticidade-preço obtida por Seroa da Motta *et al.* (2006)
K_{cons}	Coeficiente de consumo de água para o setor industrial	0	adim	Macêdo (2005)

APÊNDICE D – Obtenção da curva de abatimento de DBO na bacia

Através da Tabela 5, chegamos aos valores de custo marginal de remoção de DBO mostrados na Tabela 10. A carga orgânica lançada na bacia foi obtida de Macêdo (2005).

Variável	**Valor (R$/Kg)**	**Carga lançada na bacia (tDBO/ano)**	**Percentual de carga acumulado**
Custo remoção ind sucroalcooleira	0,136	11414,94	29,76
Custo remoção ind laticínios	0,50	268,63	30,46
Custo remoção ind bebidas	0,58	830,68	32,62
Custo remoção ind têxtil	0,98	565,38	34,10
Custo remoção ind curtume	1,42	110,02	34,39
Custo remoção cidades	2,55	25168,27	100,00

Tabela 10 – Custo marginal de remoção de DBO e carga orgânica lançada na bacia por setor industrial/doméstico.

Os valores de custo de remoção de DBO devem ser posicionados em ordem crescente, conforme já foi feito na Tabela 10. A seguir, deve-se construir uma curva em que constam os custos marginais de remoção de DBO de cada setor e o respectivo percentual de remoção acumulado para a bacia. Como se admite que a máxima remoção factível de DBO é 80%, os valores de remoção acumulada na bacia são iguais a 80% do percentual acumulado exposto na Tabela 10.

Ou seja, a curva de remoção deve ser construída com os seguintes valores:

% remoção	0	23,81	24,37	26,10	27,28	27,51	80,00
R$/Kg	0	0,136	0,50	0,58	0,98	1,42	2,55

Tabela 11: Valores de custo marginal de remoção de DBO e de porcentagem de remoção acumulada de DBO na bacia. Esses valores foram usados na construção da curva da Figura 8.

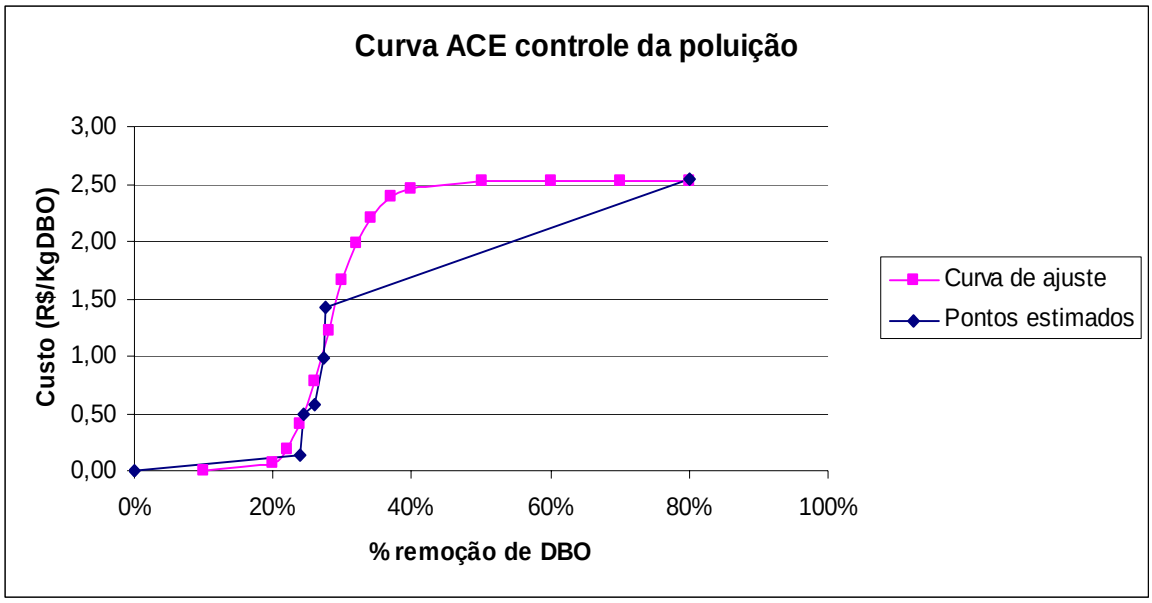

Figura 8: Curva de abatimento de carga orgânica para a bacia do Tietê-Jacaré.

Deve-se notar que, teoricamente, essa curva poderia assumir qualquer formato. Por exemplo, se o custo marginal de remoção de DBO para o esgoto doméstico fosse o menor de todos ou se a contribuição da indústria sucroalcooleira fosse maior, a curva teria um trecho inicial quase horizontal muito mais extenso, ultrapassando os cerca de 20% de remoção como na Figura 8. Devido a isso, optou-se por selecionar o tipo de curva a ser interpolado por inspeção visual.

Os pontos usados na construção da curva sugerem uma forma em "S" (dois trechos razoavelmente horizontais no início e no fim com uma ascensão rápida entre eles), dada pela Equação B.1. Pode-se observar que esse formato é adequado, pois, de acordo com a hipótese adotada, uma vez que o preço da poluição atingisse o custo marginal de remoção de poluição para determinado setor usuário, este setor passaria a tratar seus efluentes "de uma vez". Desse modo, por exemplo, todo o setor

sucroalcooleiro todo o setor sucroalcooleiro trataria seus efluentes uma vez que o preço da poluição chegasse próximo aos R$2,55/Kg, sendo que este setor é responsável por mais de 50% da DBO lançada na bacia. Assim, o fato de a curva interpolada apresentar praticamente o mesmo custo para valores de remoção de 40 a 80% faz sentido e indica a existência de um bom ajuste

$$Custo = \frac{a}{1 + b.\%remoção^{c}} \qquad \text{(B.1)}$$

$$\min \sum (Custo_{dado} - Custo_{calculado})^2 \qquad \text{(B.2)}$$

sendo *a*, *b* e *c* os parâmetros estimados pelo método dos mínimos quadrados (Equação B.2). Na Equação B.2, o $Custo_{dado}$ se refere ao custo marginal de tratamento de cada setor dado pela Tabela 11, incluindo o ponto (0,0). $Custo_{calculado}$ é o valor dado pela aplicação dos percentuais de remoção de DBO da Tabela 11 na Equação B.1. Ou seja, calcularam-se os valores de a, b e c que minimizassem a soma dos quadrados da diferença entre os pontos dados e seus pontos correspondentes na curva de interpolação. Os valores obtidos foram:

$a = 2{,}532$; $b = 2{,}54.10^{-6}$; $c = -10{,}168$.

APÊNDICE E – Exemplo de aplicação do algoritmo de otimização no Excel®

bacia	Abastecimento Público	Esgotos Domésticos	Irrigação	Pecuária	Indústria	Esgotos Industriais	Oferta
4	0,41	0,47	4,25	0,02	0,55	0,07	4,539004883

Bacia 4

Demandas (m³/s)	Inicial	Final	Variação %
Abastecimento público	0,41	0,223749	45,3%
Indústrias	0,55	0,250972	54,0%
Agricultura e pecuária	4,27	4,27	0,0%
Diluição de esgotos	0,54	0,13	75,9%
Balanço hídrico	- 1,23	-0,34	72,5%

Preços (R$/m³)			
Captação abastecimento	4,921676135	Consumo abastecimento	0,020000089
Captação indústrias	3,925676153	Consumo indústrias	0,02
Captação rural	0	Consumo rural	0
Lançamento de esgotos **(R$/KgDBO)**	2,53E+00		

Restrições

Impacto econômico agricultura	
Meta: <	0,005
Agricultura	
Pecuária	

Lançamento esgotos	
Máxima redução factível:	80%

Primazia do abastecimento sobre indústria	
Preço abast <= Preço ind +	1,00
Preço abast - Preço ind =	1,00

Garantia do abastecimento público				
Meta (demanda mínima)	110,00	L/(hab.dia)	#REF!	m³/s
Impacto econômico indústria				
Meta: <	1,20%			
Valor	1,20%			