

## DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO À COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA: APLICAÇÃO À BACIA DO RIO DOS SINOS, RS

### **Jaildo Santos Pereira**

Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH/UFRGS - Av. Bento Gonçalves, 9500  
Caixa Postal 15029 - CEP 91501-970 Porto Alegre, RS - Fone (051) 316-6326 - Fax (051) 316-6565  
jaildo@bigfoot.com

### **Antônio Eduardo L. Lanna**

Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH/UFRGS - Av. Bento Gonçalves, 9500  
Caixa Postal 15029 - CEP: 91501-970 Porto Alegre, RS - Fone (051) 316-6670 - Fax (051) 316-6565  
lanna@if.ufrgs.br

### **Eugenio Miguel Cánepa**

Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC  
Rua Washington Luiz 675, Centro - CEP 90010-460 Porto Alegre, RS  
emece@hotmail.net

## **RESUMO**

*Apresenta-se o desenvolvimento de um sistema de apoio à cobrança pelo uso da água, no qual este instrumento é concebido como um problema de rateio de custo. Através de critérios de equidade são estabelecidos os montantes a serem cobrados de cada usuário de água de forma que seja arrecadado o valor a ser investido na bacia hidrográfica. Desenvolveu-se o sistema através de planilhas eletrônicas que o tornam flexível para, por exemplo, testar as opções levantadas por negociações em um Comitê de Bacia Hidrográfica.*

*Seu teste é realizado na simulação da cobrança pelo uso da água na bacia do rio dos Sinos, RS. Foi realizado um conjunto de 5 simulações variando-se o montante arrecadado e a utilização de várias formas de subsídios. Os resultados mostraram que a atividade econômica mais vulnerável à cobrança é a irrigação. É também ressaltada a necessidade da introdução de algum tipo de subsídio, direto ou cruzado, como forma de evitar impactos indesejáveis em alguns setores econômicos ou sociais. Este é o caso, por exemplo, da população rural e da irrigação, que são mais sensíveis à cobrança.*

## **INTRODUÇÃO**

O modelo de produção da sociedade, especialmente dos países em desenvolvimento, apresenta entre outros efeitos deletérios a estimulação de concentração da população e conseqüente concentração das atividades que, potencialmente, apropriam-se do meio ambiente.

Aliado a esse quadro de centralização e de concentração de atividades, a ausência de uma política ambiental que regule o nível de apropriação dos recursos hídricos contribui de maneira decisiva para a ocorrência de grandes desequilíbrios ambientais, com evidentes prejuízos para a sociedade e o bem comum.

Como resultado, as projeções futuras antevêm cenários cada vez mais preocupantes em relação à água. Há a necessidade premente da gestão racional dos recursos hídricos, planejando e controlando seu uso e sua conservação através da implementação de um sistema de gestão de recursos hídricos. A sua operacionalização requer, necessariamente, a obtenção de receitas para fazer face aos custos que se incorre, os quais estão longe de ser desprezíveis. Para tanto a questão pode ser tratada por instrumentos que forneçam recursos financeiros gerados dentro da própria bacia hidrográfica, como a cobrança pelo uso.

Neste contexto é desenvolvido um sistema de apoio à análise de critérios de cobrança pelo uso da água. Ele foi realizado como forma de subsidiar o Estado do Rio Grande do Sul na implementação de seu Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos. O Governo do Estado, através da Secretaria das Obras Públicas, Saneamento, e Habitação, com a intervenção do Conselho de Recursos Hídricos e do Fundo de Investimento em Recursos Hídricos, contratou a consultora Magna Engenharia Ltda. para executar o estudo "Simulação de uma Proposta de Gerenciamento de Recursos Hídricos na bacia do rio dos Sinos". Este estudo teve por objetivo testar e propor alternativas para emprego dos instrumentos de gerenciamento de recursos hídricos com vistas ao atendimento dos vários usuários da água. Alguns

dos principais resultados relacionados ao instrumento de cobrança e ao desenvolvimento do sistema de apoio serão discutidos neste artigo.

## DESCRIÇÃO DA BACIA DO RIO DOS SINOS

O rio dos Sinos deságua no Delta do rio Jacuí, um complexo sistema de braços, confluências e ilhas fluviais de pequeno porte, em frente à cidade de Porto Alegre. Contribui com 3,4 a 5,24% da vazão média global de 1050 m<sup>3</sup>/s do Delta do Jacuí. A bacia tem aproximadamente 3700 km<sup>2</sup>, com um comprimento máximo de talvegue de 190 km. A Figura 1 ilustra a localização da bacia no Estado.

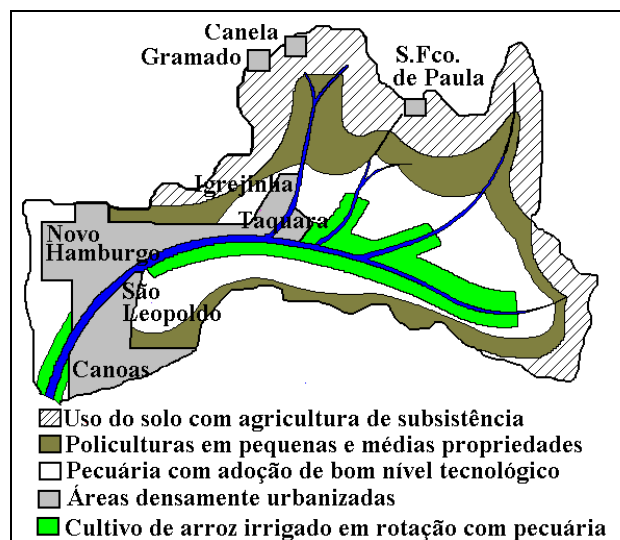


**Figura 1. Localização da bacia do rio dos Sinos.**

A cobertura vegetal da bacia está hoje reduzida a cerca de 10% da área. Nas áreas mais altas predominam atividades industriais baseadas no couro e calçados, além da exploração agrícola minifundiária, exploração de madeira, agricultura arrojada e agropecuária, notadamente avicultura, suinocultura e pecuária leiteira e de corte. Nas zonas mais baixas da bacia predominam outras atividades industriais tais como fábricas de papel, siderúrgica, indústrias têxteis, esmagadora de soja, fábricas de refrigerantes, mobiliário, refinaria de petróleo, indústria de plásticos, metalúrgicas, mineração de basalto, pedra de grês, areia dos leitos de rios e argila das várzeas. Em muitos municípios do vale, além de atividades industriais e agropecuária,

ocorre extração de pedra de grês, de areia do rio, basalto, e argila das várzeas dos rios do Sinos e Paranhana. A Figura 2 ilustra as principais zonas identificadas em decorrência da ocupação da área.

Esta bacia apresentou na última década um crescimento populacional (principalmente urbano) superior ao conjunto do Estado. A urbanização em 1991 era de 91,9%. Os municípios com maior número de habitantes são Canoas, Novo Hamburgo, São Leopoldo e Sapucaia do Sul, com exceção de Canoas, totalmente inseridos na bacia hidrográfica do rio dos Sinos. A densidade demográfica é muito diversificada. Em 1991 São Francisco de Paula e Canoas apresentavam um índice de 5,88 hab/km<sup>2</sup> e 2 467,57 hab/km<sup>2</sup>, respectivamente, ficando a média em 168,87 hab/km<sup>2</sup>.



**Figura 2. Uso do solo na bacia.**

A bacia, com apenas 3,53% do território estadual, gerou em 1992 US\$ 7 949 204 000 de Produto Interno Bruto correspondente a 22,76% do total estadual (FEE, 1995). No ano de 1990, do Valor Adicionado Fiscal Total do Estado 25,06% foi gerado na bacia do rio dos Sinos e destes 36,59% relativos à atividade industrial, 17,64% à comercial, 16,87% à atividade de serviços.

Os municípios de Canoas, Novo Hamburgo, São Leopoldo, Gravataí, Sapucaia do Sul e Esteio são responsáveis por mais de 60% do Valor Adicionado gerado na área. Dentro da atividade industrial predomina a produção de bens de consumo não duráveis, especialmente couro e calçado. A área concentra 28,47% dos estabelecimentos industriais totais, sendo 35,44% de bens de consumo e 23,01% de bens de produção.

No ano de 1985 apenas 4,46% dos estabelecimentos rurais da área usavam irrigação,

abrangendo 2,24% da área do total do Estado. A área concentra 6,93% de matas e florestas do Estado e 3,71% das pastagens.

O uso mais expressivo das terras agrícolas é com pastagens (55,8%). A irrigação é utilizada em apenas 4,6% dos estabelecimentos, atingindo 2,0% da área agrícola. Os municípios que mais utilizam a irrigação são proporcionalmente Santo Antônio da Patrulha, Osório, Canoas, Gravataí e Taquara.

### Aspectos quantitativos

Os principais usuários dos recursos hídricos da bacia foram agrupados em 4 grupos:

1. abastecimento populacional: em virtude da ocupação populacional da bacia, este uso ocorre em toda sua extensão. Os sistemas de abastecimento público estão sob a responsabilidade da Companhia Riograndense de Saneamento-CORSAN, exceto no município de São Leopoldo, que conta com uma autarquia municipal, o Serviço Municipal de Água e Esgoto-SEMAE;
2. abastecimento industrial: é um dos principais usuários da água na bacia, concentrados principalmente nas áreas urbanas, não tanto pelo volume que consomem mas muito mais pela perda da qualidade de água decorrente do lançamento de efluentes, dependendo do processo industrial e do tratamento realizado;
3. irrigação e aquicultura: a irrigação na bacia do rio dos Sinos não é muito expressiva, estando representada basicamente pelo cultivo de arroz irrigado, principalmente no baixo vale (município de Nova Santa Rita) e nos municípios de Taquara, Rolante e Santo Antônio da Patrulha. A aquicultura é incipiente, concentrando-se na sub-bacia do rio Paranhana e nos municípios de Gramado, Canela, Taquara, Gravataí e São Francisco de Paula;
4. criação de animais: principalmente rebanhos bovinos, suínos e ovinos, além de aviários e pocilgas.

A Tabela 1 apresenta de forma resumida os consumos estimados para o ano 2007. Uma conclusão importante que o trabalho citado apresenta é que mesmo considerando a situação projetada para 2007, a bacia do rio dos Sinos não apresenta problemas de ordem quantitativa.

**Tabela 1. Usos futuros totais (2007).**

Atividades	Quantidades	
	m <sup>3</sup> /s	%
Abastecimento doméstico		
Urbano	3,551	54,60
Rural	0,044	0,68
Abast. Industrial	1,460	22,45
Irrigação de Arroz	1,326	20,38
Aquicultura	0,0001	0,00
Dessedentação de animais		
Grande Porte	0,118	1,81
Pequeno Porte	0,005	0,08
Total	6,504	100,00

### Aspectos qualitativos

No mesmo estudo (Magna, 1996a), as principais fontes de poluição da bacia foram agrupadas em 8 classes:

**Efluentes Domésticos Urbanos (EDU)** - esgotos domésticos provenientes das zonas urbanizadas da bacia;

**Efluentes Domésticos Rurais (EDR)** - esgotos domésticos provenientes das zonas rurais da bacia;

**Drenagem Pluvial Urbana (DPU)** - esgoto pluvial, proveniente das zonas urbanizadas da bacia, onde ocorre a mistura das águas da chuva com efluentes industriais, esgotos domésticos e lixívias de lixos;

**Fontes Difusas Rurais (FDR)** - incluem a erosão natural e artificial de pedreiras, saibreiras, matas, reflorestamentos e culturas;

**Resíduos Sólidos Domésticos (RSD)** - lixívias de aterros sanitários e lixões mal acondicionados;

**Efluentes da Atividade Criação de Animais (ACA)** - criação de aves, suínos, ovinos e bovinos;

**Efluentes Industriais Tratados (EIT)** - efluentes de indústrias, os quais já são tratados até o nível secundário por exigência do órgão ambien-

tal estadual, a Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM);

### **Efluentes de Irrigação do Arroz (IRR) -**

As emissões dos principais poluentes identificados, projetadas para o ano 2007, horizonte de projeto adotado para o Plano Estadual de Recursos Hídricos, são apresentadas na Tabela 2. Elas foram obtidas de forma indireta, tendo por base dados da literatura. Nota-se que os esgotos domésticos urbanos estabelecem os maiores lançamentos de coliformes fecais; a atividade de criação animal realiza os maiores lançamentos de DBO, nitrogênio total e fósforo total; as fontes difusas rurais são responsáveis pela maior carga de sólidos totais. Os efluentes industriais por já serem tratados até o nível secundário, apresentam lançamentos significativos apenas para coliformes fecais e sólidos totais.

### **Solução técnica preconizada**

Uma alternativa de tratamento foi considerada sendo denominada "solução técnica preconizada", por se tratar do conjunto de intervenções relacionadas ao tratamento de efluentes que melhor atendiam ao binômio custo-efetividade. Ou seja, as que melhor desempenho teriam em termos de redução da degradação das águas sem entretanto resultarem em custos excessivos (Lanna, Pereira e de Lucca, 1996). Estas soluções, considerando cada fonte de poluição, são apresentadas abaixo.

**Efluentes domésticos urbanos** - a técnica de tratamento que combina remoção de DBO<sub>5</sub>, sólidos em suspensão, nutrientes e coliformes fecais, é constituída por lagoas de estabilização em série; obtém-se a mesma eficiência de sistemas semelhantes, mas com um menor custo, apesar de necessitarem de grande área próximas aos núcleos urbanos, o que pode ser um impeditivo na bacia;

**Efluentes domésticos rurais** - sistema fossa e sumidouro;

**Drenagem pluvial urbana** - tratamento em banhados artificiais. Eles controlam com razoável eficiência DBO, sólidos em suspensão, nitrogênio, fósforo e coliformes. Normalmente, estas drenagens são conduzidas pela gravidade por valos, canalizados ou a céu aberto, diminuindo o custo de

transporte e bombeamento. Necessitam de recalque apenas junto ao sistema de tratamento;

**Fontes difusas rurais** - sistemas de retenção de silte, como lagoas de silte, terraceamento, faixas de revegetação, etc;

**Resíduos sólidos domésticos** - bio-remediação *in loco*;

**Atividade de criação de animais** - no caso de criação intensiva, com animais estabulados em baias, galinheiros, pocilgas, etc., adotaram-se bermas de contenção, seguidas de lagoa anaeróbia e proporcionamento do efluente tratado a banhados naturais ou artificiais. A alta contaminação fecal de animais de grande porte impede o uso econômico de outras formas de tratamento. Para criação extensiva supõe-se não haver necessidade de tratamento;

**Efluentes industriais tratados** - estes efluentes já são tratados a nível secundário; têm, normalmente, alta concentração de sólidos totais, coliformes, nutrientes e, em alguns casos, de metais. Foi proposta a aplicação de tratamento físico-químico. Evidentemente, nas sub-bacias onde houver rede separadora para esgotos domésticos ou valos e canais de coleta da drenagem pluvial, as indústrias entregarão para a municipalidade o efluente tratado para DBO, DQO e sólidos em suspensão;

**Efluentes de irrigação do arroz** - considerou-se que existem dificuldades técnicas e econômicas para tratamento destes efluentes o que determinou que nenhuma solução fosse preconizada.

Supôs-se que estes tratamentos teriam uma eficiência de remoção de:

- DQO: 60 a 70%, adotado 65%;
- DBO: 75 a 90%, adotado 80%;
- sólidos em suspensão: 60 a 70%, adotado 65%;
- nitrogênio total: 20 a 50%, adotado 40%;
- fósforo total: 20 a 50%, adotado 40%;
- coliformes, sem desinfecção: 90 a 95%, adotado 90%.

As soluções foram orçadas aplicando-se curvas de custo ajustadas a amostras formadas com dados de literatura, de projetos no Estado e no país. A Tabela 3 apresenta os custos de investi-

**Tabela 2. Cargas poluidoras potenciais totais anuais em 2007.**

Fontes de poluição	Coli Fecais (NMP/ano)	DBO5 (t/ano)	Nitrogênio total (t/ano)	Fósforo total (t/ano)	Sólidos totais (t/ano)
EDU	<b>1,28 . 10<sup>19</sup></b>	23 791,67	2 330,98	584,25	---
EDR	3,22 . 10 <sup>17</sup>	599,85	58,77	14,73	---
DPU	2,88 . 10 <sup>13</sup>	4 876,17	466,50	57,59	2 486,08
FDR	1,13 . 10 <sup>16</sup>	2 443,59	1 158,91	375,52	<b>77 260,45</b>
RSD	1,26 . 10 <sup>15</sup>	28 030,51	1 648,85	549,62	---
ACA	8,72 . 10 <sup>17</sup>	<b>46 976,11</b>	<b>4 609,20</b>	<b>1 162,39</b>	---
EIT	1,50 . 10 <sup>18</sup>	5 638,39	525,50	62,30	40 088,14
IRR	---	---	79,64	17,18	---
Total	1,55 . 10 <sup>19</sup>	112 356,29	10 878,35	2 823,59	119 834,67

Fonte: Lanna e Pereira (1996). Nota: em negrito, maiores lançamentos de cada parâmetro.

**Tabela 3. Custos de investimento, operação e manutenção e total anual (US\$).**

Fontes de poluição	Custo de Investimento		Custo de O&M anual		Custo anual total	
	US\$	%	US\$	%	US\$	%
EIT	89 783 290	34,68	43 390 285	88,77	55 410 362	66,32
DPU	110 411 871	42,65	4 287 097	8,77	19 068 904	22,82
EDU	40 073 435	15,48	1 187 782	2,43	6 552 765	7,84
FDR	14 722 596	5,69	0	0,00	1 971 043	2,36
EDR	2 372 817	0,92	0	0,00	317 670	0,38
RSD	944 203	0,36	13 338	0,03	139 747	0,17
ACA	599 359	0,23	3 451	0,01	83 693	0,10
IRR	---	---	---	---	---	---
Total	258 907 571	100,00	48 881 954	100,00	83 544 183	100,00

mento, operação e manutenção, e totais anuais, em dólares americanos referidos ao ano 1995 e os percentuais do custo total na mesma coluna. Para efeito de cálculo das anuidades supôs-se o uso de financiamento dos investimentos com período de amortização de 20 anos e taxa de juros de 12% ao ano.

As fontes de poluição foram ordenadas em função dos custos anuais totais. Nota-se que o tratamento de esgotos industriais, já tratados até o nível secundário, responde pelo maior montante de custos totais anuais, seguido pela drenagem pluvial urbana. Ambos resultam em praticamente 90% dos custos totais anuais.

### **BASES CONCEITUAIS PARA A COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA**

Os mecanismos de mercado, em presença de custos de transação, não são capazes de contabilizar os custos sociais que as decisões individuais de cada usuário dos recursos hídricos impõem aos demais. Daí a necessidade de inter-

venção do poder público, através da cobrança pelo uso da água, como forma de racionalizar a utilização desses recursos, como condição suplementar de satisfazer aos usuários competidores, e garantindo assim uma maior eficiência produtiva, elemento essencial para o desenvolvimento econômico integrado das regiões das bacias hidrográficas (Garrido, 1996). Para melhor conceber a adoção deste instrumento de gestão cabe a proposta de classes de uso da água.

### **Os quatro usos da água**

Os quatro usos de água que podem ser cobrados são:

1. uso da água disponível no ambiente (água bruta) como fator de produção ou bem de consumo final;
2. uso de serviços de captação, regularização, transporte, tratamento e distribuição de água (serviço de abastecimento);

3. uso de serviços de coleta, transporte, tratamento e destinação final de esgotos (serviço de esgotamento);
4. uso da água disponível no ambiente como receptor de resíduos.

Os usos 2 e 3 são comumente cobrados pelas companhias de saneamento; o 2 também pelas entidades que gerenciam projetos públicos de irrigação. A oportunidade da cobrança dos usos 1 e 4 tem sido considerada nos processos de modernização dos sistemas de gerenciamento de recursos hídricos e do ambiente realizados no âmbito federal e de alguns Estados brasileiros. Eles já são objeto de cobrança em países que mais evoluíram nessa área, como é o caso da França.

O uso da água disponível no ambiente, ou o uso de sua capacidade de assimilação de resíduos, não se constitui propriamente um bem ou serviço produzido pelo poder público. Porém, além de constituir um patrimônio público, o que justifica-se por sua cobrança, exige do poder público, para que assuma efetivamente o domínio da água em nome da sociedade, o exercício do seu gerenciamento de forma a viabilizar a harmonização entre as intenções de uso e as disponibilidades do meio. Isto se constituiria em um serviço (Lanna, 1995). Em consonância com tal interpretação, a Política Nacional do Meio Ambiente tem como princípio a *"imposição, ao poluidor e ao predador, da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados e, ao usuário, da contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos"* (Lei 6.938 da Política Nacional de Meio Ambiente, art. 4º, VII).

### **Motivações para a cobrança**

Segundo Lanna (1995), existem quatro motivações para a cobrança:

1. financeira: (a) recuperação de investimentos e pagamento de custos operacionais e de manutenção; (b) geração de recursos para a expansão dos serviços;
2. econômica: estímulo ao uso produtivo do recurso;
3. distribuição de renda: transferência de renda de camadas mais privilegiadas economicamente para as menos privilegiadas;
4. equidade social: contribuição pela utilização de recurso ambiental para fins econômicos.

Garrido (1996) chama a atenção para o que se convencionou denominar cobrança e rateio de custos das obras. A cobrança funciona tanto mais como elemento indutor do desenvolvimento, e tem cunho acentuadamente educativo, pois também se presta a sinalizar o usuário na direção do uso racional dos recursos hídricos, ficando portanto clara sua ligação com a motivação 2 (econômica). Quanto ao rateio dos custos decorrentes das obras que se vão realizar, mediante programa aprovado para uma bacia, trata-se de um acordo a ser feito pelos interessados na execução e manutenção dessas obras, em base negociadas por eles mesmos, e portanto, relacionada com a motivação 1 (financeira) e usos 2 e 3.

Finalmente, sob o ponto de vista social, a cobrança pode cumprir duplo papel: 1) agente de distribuição de renda, de acordo com uma sistemática de onerar mais alguns segmentos da sociedade que outros; 2) instrumento pelo qual o usuário de um recurso ambiental, de uso comum de todos, contribui financeiramente em função do uso econômico desse recurso, gerando fundos de investimento a serem idealmente empregados em projetos de interesse social.

### **Referências para a cobrança**

As possíveis referências para a cobrança são:

1. capacidade de pagamento do usuário: método de transferência de renda adotado ao se quantificar a cobrança, tendo por referência a renda do pagante; refere-se à motivação 3 (distribuição de renda);
2. custo do serviço: a referência é o custo de oferta do serviço; refere-se à motivação 1 (a) (recuperação de investimentos e pagamento de custos operacionais e de manutenção);
3. custo marginal ou incremental: a referência é o custo de oferta da última unidade do produto ou serviço; possibilita o financiamento da expansão do serviço, referindo-se portanto à motivação 1 (b) (geração de recursos para a expansão dos serviços);
4. custo de oportunidade: a referência é o valor econômico da água para a sociedade; busca atender à motivação 2 (econômico);
5. custo de mercado: a referência é o preço de mercado livremente formado para a oferta do produto ou serviço; em certos (pouco frequentes) casos de concorrência perfeita atende à motivação 2 (econômico);

6. custo incremental médio: a referência é o custo médio por unidade de serviço (por exemplo, m<sup>3</sup>) acrescentada ao sistema de oferta, na próxima expansão.

## CRITÉRIOS PARA COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA

Serão considerados dois tipos de cobrança: uso 1 (uso da água bruta) e uso 4 (lançamento de efluentes):

Uso 1: os recursos arrecadados deste grupo de usuários serão utilizados para reduzir o pagamento de alguns poluidores que tenham baixa capacidade de pagamento ou mesmo para melhorar a rede de monitoramento da bacia. Uma das justificativas para esta cobrança é que este grupo de usuários se beneficiará da melhor qualidade da água alcançada com a implantação dos tratamentos pagos pelos poluidores (princípio *beneficiário-pagador*);

Uso 4: o principal objetivo da cobrança será gerar recursos para implantar sistemas de tratamento (princípio *poluidor-pagador*).

### Cobrança pela captação de água bruta (uso 1)

A estrutura de cobrança é baseada no volume retirado, no local da captação, do tipo de uso que a água se destina e da estação do ano que ocorre a retirada. A equação é:

$$\$(i,u) = K_i \cdot K_U \cdot K_{EST} \cdot Q(i,u) \cdot \$ \quad (1)$$

onde  $\$(i,u)$  é o valor que será cobrado do usuário  $U$ , que retira a água no trecho  $i$ , US\$;  $K_i$  é o coeficiente para considerar o local onde a água é captada (adimensional);  $K_U$  é o coeficiente para considerar o tipo de uso (adimensional);  $K_{EST}$  é o coeficiente para considerar a estação do ano (adimensional);  $Q(i,u)$  é o volume captado no trecho  $i$ , para o uso  $U$ , (m<sup>3</sup>);  $\$$  é o preço de referência da água (US\$/m<sup>3</sup>).

O modelo de cobrança adotado prevê a possibilidade de se considerar uma série de fatores de ponderação para ajustar os preços unitários da água a seus atributos de qualidade e confiabilidade, à categoria de uso, ou a razões de estímulo social ou econômico. Estes fatores são:

1. localização da captação: representada pelo parâmetro  $K_i$  e pode ser utilizado, por exemplo, para onerar um usuário que tenha sua captação localizada em um trecho mais crítico;
2. tipo de uso: o parâmetro  $K_U$  permite considerar o nível consuntivo do uso;
3. estação do ano: representado pelo parâmetro  $K_{EST}$ , pode ser utilizado para definir preços diferentes nas estações secas e úmidas.

Estes valores são negociados ou arbitrados.

### Cobrança pelo lançamento de efluentes (uso 4)

A estrutura de cobrança adotada utiliza da seguinte equação:

$$\$(i,u) = \sum_k \{ C_{In}(i,k) \cdot C_{sb}(i,k) \cdot Carga(i,u,k) \cdot \$(u,k) \} \quad (2)$$

$$\$(u,k) = \$_P(k) \cdot \$_F(u) \quad (3)$$

onde  $i$  indica a sub-bacia;  $u$  indica a fonte poluidora (indústria, esgoto doméstico, etc.);  $k$  indica o poluente (fósforo, nitrogênio, etc.);  $\$(i,u)$  é o valor da cobrança anual a ser realizada da fonte de poluição  $u$  localizada no trecho  $i$ ;  $C_{In}(i,k)$  é o coeficiente de inefetividade do parâmetro  $k$  no trecho  $i$ ;  $C_{sb}(i,k)$  é o coeficiente relacionado à sub-bacia  $i$  onde são realizados os lançamentos;  $Carga(i,u,k)$  é a carga do parâmetro  $k$ , produzida pelo poluidor  $u$ , lançada no trecho  $i$ ;  $\$(u,k)$  é o preço básico relacionado ao parâmetro  $k$  lançado pelo poluidor  $u$ ;  $\$_F(u)$  é o coeficiente que permite considerar a importância da fonte de emissão  $u$ ;  $\$_P(k)$  é o componente do preço unitário básico relacionado ao parâmetro  $k$ .

Por este critério de cobrança pode-se atender aos seguintes pré-requisitos:

1. cobrar na proporção da sua própria carga de lançamento;
2. de acordo com os objetivos de despoluição, em sua espacialização na bacia;
3. de forma que seja atingida a arrecadação prevista;
4. na proporção do custo individual de tratamento de cada fonte.

A racionalidade da estrutura tarifária é estabelecer o preço unitário básico em função de dois

parâmetros: um relacionado ao parâmetro de poluição, notado por  $\$P(k)$ , em US\$/carga, e o outro, adimensional, relacionado à fonte de emissão, notado como  $\$F(u)$ . O produto destes preços unitários básicos determinará o preço unitário final por carga de cada parâmetro quando emitida por qualquer fonte. O valor inicial da cobrança pelo parâmetro  $k$  é obtido pela multiplicação do preço unitário final, deste parâmetro, pela respectiva carga emitida, deste mesmo parâmetro. Esta parcela atende o critério 1 da cobrança (proporcionalidade com carga emitida). Este valor é modificado por dois coeficientes, resultando no valor final a ser cobrado à fonte  $u$  na sub-bacia  $i$ , e que fazem com que a estrutura atenda ao critério 2 da cobrança referente à espacialização dos objetivos de despoluição.

O coeficiente de inefetividade, denominado  $C_{in}(i,k)$ , pode ser proporcional por exemplo, ao quanto a concentração do parâmetro  $k$  viola os limites tolerados, no trecho fluvial controlado da sub-bacia  $i$ . Este coeficiente trata de uma medida de inefetividade, que é dado por:

$$C_{in}(i,k) = \frac{Carga(i,k) - Carga^*(i,k)}{Carga^*(i,k)} \quad (4)$$

onde  $C_{in}(i,k)$  é o coeficiente de inefetividade;  $Carga(i,k)$  é a carga observada do parâmetro  $k$  na sub-bacia  $i$ ;  $Carga^*(i,k)$  é a carga do parâmetro  $k$  a ser atingida na sub-bacia  $i$ .

Quando introduzido na fórmula da tarifa, três situações podem ocorrer:

1.  $C_{in}(i,k)$  é nulo: a fonte localizada na sub-bacia  $i$  não pagará nada pelo lançamento do parâmetro  $k$ ;
2.  $C_{in}(i,k)$  é positivo: neste caso a fonte emissora terá seu pagamento aumentado, caracterizando a situação de inefetividade;
3.  $C_{in}(i,k)$  é negativo: a fonte emissora obterá um crédito de "bom comportamento". Nesta situação a fonte emissora terá seu pagamento diminuído deste crédito.

Esta última situação poderia ser considerada incoerente se analisada sob o ponto de vista de que quanto maior for a carga do parâmetro maior será o crédito. Porém, isto pode ser considerado como um estímulo à, por exemplo, atividades que façam maior uso da capacidade de assimilação do parâmetro  $k$ , que ainda não é crítico.

Em locais nos quais a totalidade, ou quase totalidade, dos parâmetros estão dentro da faixa

desejável, pode acontecer da fonte ter uma tarifa total negativa, o que pode não fazer sentido. No entanto, esta situação poderia ser considerada como um estímulo para que as fontes se localizassem nesta região.

Note-se que na situação em que o trecho de rio esteja enquadrado na classe especial da Resolução 20/86 do CONAMA, na qual a carga de lançamento deve ser nula, haverá dificuldade de expressar o coeficiente de inefetividade pela equação dada.

O coeficiente relacionado à sub-bacia onde são realizados os lançamentos ( $C_{sb}(i,k)$ ), poderá introduzir prioridades regionais no que diz respeito a um programa de despoluição. Quanto maior for seu valor, mais caro será cobrado o lançamento na sub-bacia. Outra possibilidade de utilização é fazê-lo proporcional à atenuação natural da carga de lançamento do parâmetro  $k$  na sub-bacia  $i$  até à seção de controle. Neste caso ele seria calculado pelo quociente da concentração encontrada deste mesmo parâmetro no curso de água principal da sub-bacia  $i$ , registrada pela rede de monitoramento, e a carga total de lançamento do parâmetro  $k$  na sub-bacia, estimada indiretamente usando dados da literatura. Por exemplo:

$$C_{sb}(i,k) = \frac{Carga'(i,k)}{Carga(i,k)} \quad (5)$$

onde  $C_{sb}(i,k)$  é o coeficiente relacionado à sub-bacia  $i$  onde são realizados os lançamentos;  $Carga'(i,k)$  é a carga média do parâmetro  $k$  observada na seção de monitoramento da sub-bacia  $i$ ;  $Carga(i,k)$  é a carga total de lançamento do parâmetro  $k$  na sub-bacia  $i$  estimada indiretamente usando dados da literatura.

A diferença entre os dois valores é originada pela composição de dois efeitos: as incorreções derivadas da adoção de estimativas indiretas dos lançamentos e a atenuação natural do poluente que ocorre entre o seu lançamento e a sua detecção na seção de monitoramento

Para aplicação da estrutura de cobrança apresentada bastará o estabelecimento dos preços unitários  $\$P(k)$  e  $\$F(u)$  para cada parâmetro indicador de poluição e fonte de emissão, e aplicação das Equações (2) e (3). Diversas alternativas poderão ser estabelecidas em função dos valores atribuídos aos parâmetros.

Pelo critério 3, o sistema de cobrança deve arrecadar um montante anual igual ao previsto pelo sistema de gerenciamento. A Equação (6) garante o atendimento deste critério.



$$\sum_i \sum_u [\$ (i, u)] = C_T \quad (6)$$

onde  $\$(i, u)$  é o valor da cobrança anual a ser realizado da fonte de poluição  $u$  localizada na sub-bacia  $i$ ;  $C_T$  é o custo total anual a ser arrecadado.

O critério 4 estabelece que cada fonte deverá pagar de acordo com seus custos individuais de tratamento. Isto significa que uma fonte cujo custo de abatimento de determinada carga de poluição é relativamente maior deverá pagar proporcionalmente mais. Para se introduzir isto, adotou-se o conceito de abatimento de referência. Este poderia ser considerado um abatimento de poluição ao qual todas as fontes deveriam eventualmente se submeter, determinado por um critério de equidade qualquer. Um possível critério seria o de que todas as fontes adotariam a melhor tecnologia possível de abatimento, que poderia ser, no caso analisado, a “solução técnica preconizada”. Supõe-se a possibilidade de que negociações entre os decisores, eventualmente reunidos em um comitê de bacia hidrográfica, possam determinar que neste momento não seria adequada a implantação desse abatimento referencial, mas algo menos ambicioso. Neste caso, ocorre o que é denominado por “economia global”, dada pela diferença entre o que a bacia pagaria para adotar o abatimento referencial e o custo de uma outra qualquer, menos ambiciosa em termos de remoção de poluentes. A distribuição desta “economia global” entre as fontes de lançamentos será proporcional ao custo total por fonte, no abatimento referencial. Isto pode ser representado pela Equação (7).

$$E = [C_T - C_R] / C_T \quad (7)$$

onde  $E$  é a fração que a “economia global” representa do custo total;  $C_T$  é o custo total anual a ser arrecadado para adoção do abatimento referencial;  $C_R$  é o custo total anual a ser arrecadado para adoção de outra solução qualquer.

Assim a fonte poluidora  $v$  pagará anualmente o valor relativo ao seu custo no abatimento referencial descontada a fração  $E$ . O valor a ser pago pela fonte  $v$  é dado por:

$$\sum_i \$(i, v) = (1 - E) \cdot \text{Custo}(v) \quad (8)$$

onde  $\$(i, v)$  é o valor da cobrança anual a ser realizado da fonte de poluição  $v$  localizada no trecho  $i$ ;  $E$  é a fração que a “economia global” representa do custo total;  $\text{Custo}(v)$  é o custo do tratamento da

fonte  $v$  no abatimento referencial, descontada a parcela de subsídio direto ou cruzado, se houver.

Por fim, buscou-se, sempre que possível, manter idênticas as proporções entre os preços unitários básicos relacionados aos parâmetros  $\$(P(k))$  e o quão distantes estes parâmetros se encontram da situação desejada. Para representar esta distância pode se utilizar, por exemplo, um valor médio do coeficiente de inefetividade:  $C_{InMédio}(k)$ . A proporção para o parâmetro  $k$  é representada pela Equação (9).

$$P_k = \$P(k) / C_{InMédio}(k) \quad (9)$$

onde  $P_k$  é a proporção entre o preço unitário básico do parâmetro  $k$  e o quão distante este se encontra da situação desejada;  $\$(P(k))$  é o preço unitário básico relacionado ao parâmetro  $k$ ;  $C_{InMédio}(k)$  é o coeficiente de inefetividade médio relacionado ao parâmetro  $k$ .

Para que isto possa ser assegurado utiliza-se um artifício da otimização matemática: cria-se uma variável  $P_{min}$ , limite inferior para estas proporções, ou seja,  $P_{min} \leq P_k$ . O valor de  $P_{min}$  deverá ser maximizado. Por este artifício, sempre que possível, será obtida a igualdade de todos os  $P_k$ . Isto transforma a determinação dos preços unitários básicos  $\$(F(u))$  e  $\$(P(k))$  em um problema de otimização não-linear com a formulação abaixo:

Maximize  $\{ P_{min} \}$   
 $\$(F(u))$  e  $\$(P(k))$

sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_i \sum_u \$(i, u) &= C_T \\ \sum_i \$(i, v) &= (1 - E) \cdot \text{Custo}(v) \\ P_k &= \$P(k) / C_{InMédio}(k) \\ P_{min} &\leq P_k \\ \$F(u) \text{ e } \$P(k) &\geq 0 \end{aligned}$$

Esta formulação será válida mesmo quando não houver “economia global”, ou seja, a solução adotada for igual ao abatimento referencial ( $C_T = C_R$ ) e portanto,  $E = 0$ .

### Desenvolvimento do sistema de apoio

Na simulação de critérios de cobrança que visem a arrecadação do montante equivalente aos custos de tratamentos das fontes poluidoras, muitas hipóteses poderão ser levantadas. Por exemplo, não tratar uma determinada fonte polui-

dora, utilizar subsídios diretos e/ou cruzados, etc., e ainda utilizar-se o valor arrecadado pela cobrança da captação de água bruta para reduzir os custos de alguns poluidores.

A combinação dessas possibilidades resulta em um conjunto bastante diversificado de alternativas que poderão interessar o comitê de bacia por ocasião da negociação prevista na lei. Por estas razões optou-se pela montagem de um modelo programado em planilha eletrônica de cálculo que permitirá aos usuários todas as facilidades já reconhecidas destes “softwares”.

A Figura 3 ilustra as etapas que foram necessárias para a realização das simulações dos critérios de cobrança. Todas as etapas foram desenvolvidas de forma que a alteração de um componente em uma das etapas implica em uma alteração automática nas demais.

Os resultados das três primeiras etapas ilustradas na Figura 3 já foram descritos no item que descreve a bacia hidrográfica do rio dos Sinos, no início deste artigo. Para as etapas seguintes, buscou-se desenvolver uma estrutura computacional modular para a realização das simulações referentes a cobrança pela captação de água bruta e pelo lançamento de efluentes, a seguir descritos.

### **Cobrança pela captação de água bruta**

O módulo referente a esta etapa é composto por duas planilhas. A primeira permite que o usuário informe os dados gerais da bacia onde será aplicado o critério de cobrança. Esses dados gerais serão utilizados para estimar os volumes consumidos por cada grupo de usuários. Essa planilha contém uma descrição sucinta do modelo tarifário, referente a cobrança pela captação de água bruta.

Na segunda planilha aplica-se o modelo tarifário e para isto o usuário precisa informar os parâmetros utilizados por este modelo. Essa planilha apresenta células, já definidas, que deverão ser preenchidas, conforme ilustra a Tabela 4. O total que cada usuário deverá pagar é obtido de forma automática logo após concluída a etapa de entrada de dados. Os resultados são apresentados na forma tabular, conforme ilustra a Tabela 5.

### **Cobrança pelo lançamento de efluentes**

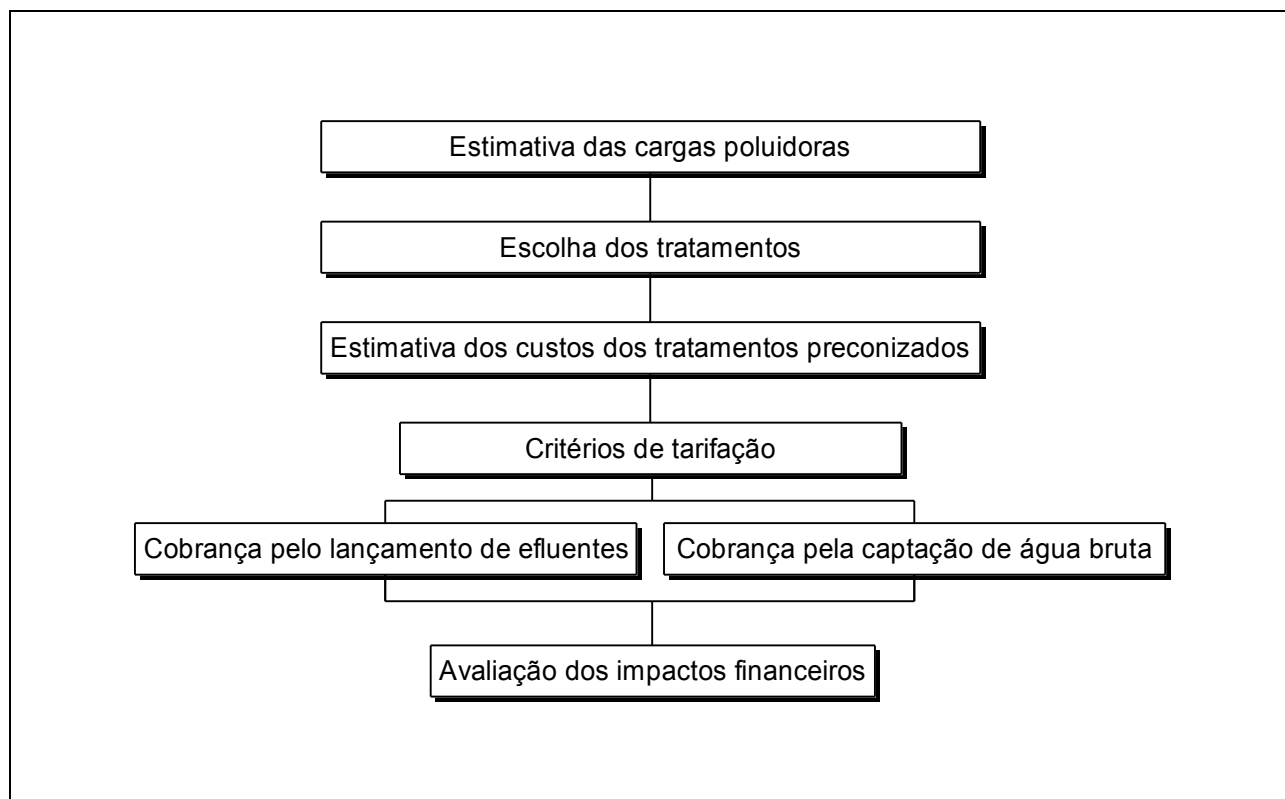
O módulo referente a esta etapa é composto por seis planilhas, assim denominadas: resumo dos custos, padrão, resumo das cargas poluidoras

potenciais, cálculo da tarifa, coeficientes de carga e tarifa por fonte.

1. Resumo dos custos: esta planilha contém o resumo dos custos dos tratamentos preconizados.
2. Padrão: esta planilha contém as estimativas das cargas poluidoras potenciais para cada grupo de poluidor, localizado em cada sub-bacia. Nesta planilha também estão as estimativas do coeficiente de inefetividade  $C_{in}(i,k)$  obtidos a partir da Equação (4).
3. Resumo das cargas poluidoras potenciais: nesta planilha estão, de forma resumida, as cargas potenciais totais produzidas por cada um dos grupos de poluidores localizados na bacia.
4. Cálculo da tarifa: esta planilha é o cérebro do sistema. Ela calcula a tarifa com a aplicação do modelo.
5. Coeficientes de carga: nesta planilha estão os coeficientes que foram utilizados para estimar as cargas poluidoras potenciais anuais geradas por cada grupo de poluidor. Esses coeficientes serão utilizados para estimar a tarifa que cada poluidor deverá pagar.
6. Tarifa por fonte: esta planilha apresenta os resultados finais do modelo tarifário, ou seja, os valores que deverão ser assumidos por cada um dos poluidores da bacia. A entrada dos dados acontece a partir da planilha “cálculo da tarifa” e são classificados em três tipos: 1. parâmetros do modelo; 2. valor investido na bacia; 3. aplicação de subsídios.

Os parâmetros do modelo, conforme explicado no item “*Critérios para cobrança pelo uso da água*”, são coeficiente de inefetividade  $C_{in}(i, k)$ , coeficiente de sub-bacia  $C_{sb}(i, k)$  e a carga gerada por cada poluidor  $Carga(i, u, k)$ . Os coeficientes  $C_{in}(i, k)$  e  $Carga(i, u, k)$  estão na planilha “padrão”. A planilha “cálculo da tarifa” apresenta duas células onde deverão ser introduzidos o total que deverá ser investido na bacia e a parcela deste que se deseja arrecadar do grupo de poluidores denominados “irrigantes”. Esta mesma planilha prevê a utilização de subsídios a partir do preenchimento de células já reservadas para este fim, conforme ilustra a Tabela 6.

Na Tabela 6, a segunda coluna representa o custo para implantar o abatimento referencial, que neste caso é a solução técnica preconizada. A terceira coluna (hachureada) é reservada para a utilização de subsídio direto, situação onde a socie-



**Figura 3. Etapas desenvolvidas para simular os critérios de cobrança.**

**Tabela 4. Entrada de dados para a planilha de cálculo da tarifa de captação.**

Coeficiente de Localização		Coeficiente de Uso		Coeficiente de Estação	
Região	$K_L$	Usuário	$K_U$	Estação	$K_E$
1	1	População Urbana	1	Úmida	1
2	1	População Rural	1	Seca	1
3	1	Irrigação	0,25		
4	1	Dessed. Animais	0,25		
5	1	Indústria	1,5		
6	1				
7	1				
8	1	Custo unitário			
9	1	\$ (US\$/m <sup>3</sup> )			
10	1	0,02			
11	1				
12	1				

**Tabela 5. Resultado da planilha de cálculo da tarifa de captação.**

Região	Total anual arrecadado por tipo de usuário (US\$)				
	Pop. Urbana	Pop. Rural	Irrigação	Des. Animais	Indústria
1					
2					
3					
Total					

**Tabela 6. Entrada de dados para utilização de subsídio direto.**

Poluidor	Custo Total (US\$)	Subsídio Direto (US\$)	Desconto captação de água %	Custo Líquido (US\$)
Efl. Ind.	55 410 362	0.00	0	55 410 362
D. P. Urb.	19 068 904	0.00	0	19 068 904
Pop. Urb.	6 552 765	0.00	0	6 552 765
F. D. Rur.	1 971 043	0.00	0	1 971 043
Pop. Rur.	317 670	0.00	0	317 670
Res. Sl. Dom.	139 747	0.00	0	139 747
Criação Anim.	83 693	0.00	0	83 693
Total	83 544 183	0.00	0	83 544 183

Nota: As colunas hachuradas indicam entrada de dados.

dade assumirá uma fração dos custos do tratamento de uma determinada fonte poluidora. Estas frações devem ser introduzidas nestas células. A quarta coluna (hachuriada) prevê a possibilidade de se utilizar os recursos obtidos com a cobrança pela captação de água bruta para “pagar” uma parte dos custos de uma determinada fonte. Ela representa estes valores em percentuais (0 a 1) e a quinta representa estes valores em dólares americanos. Finalmente, a sexta coluna representa o custo de tratamento de cada fonte descontados os subsídios.

Esta planilha prevê também a possibilidade de uma fonte poluidora assumir uma parte dos custos de uma outra que tenha menor capacidade de pagamento, situação conhecida como subsídio cruzado. A forma de entrada de dados é ilustrada pela Tabela 7.

Os valores, colocados nos cruzamentos das linhas com as colunas, representam frações dos custos de tratamentos das fontes, representadas pelas colunas, que serão assumidas pelas fontes, representadas pelas linhas. Por exemplo, no cruzamento da linha referente a Efluentes Industriais com a coluna referente a Fontes Difusas Rurais, o valor 0,20 indica que as indústrias assumirão 20% dos custos de tratamento das fontes difusas rurais. Esta fração se refere ao denominado custo líquido, ou seja, o custo do abatimento referencial, dado pela solução técnica preconizada, descontadas as parcelas referentes ao subsídio direto e/ou utilização dos recursos obtidos com a cobrança pela captação, representado na Tabela 6.

**Tabela 7. Entrada de dados para utilização de subsídio cruzado.**

Poluidor	Efl. Ind.	D. P. Urb.	Pop. Urb.	F. D. Rur.	Pop. Rur.	Res. Sl. Dom.	Criação Animais
Efl. Ind.	1	0	0	0,20	0	0	0
D. P. Urb.	0	1	0	0	0	0	0
Pop. Urb.	0	0	1	0	0	0	0
F. D. Rur.	0	0	0	0,80	0	0	0
Pop. Rur.	0	0	0	0	1	0	0
Res. Sl. Dom.	0	0	0	0	0	1	0
Criação Animais	0	0	0	0	0	0	1

Para a solução do problema não-linear é acionada a opção de otimização da planilha de cálculo. Necessita-se de aproximadamente 30 segundos para obter os resultados, utilizando-se um microcomputador PC DX4, 100 Mhz. O sistema apresenta os resultados dos parâmetros  $\$F(u)$  e  $\$P(k)$ , variáveis do problema, conforme ilustra a Tabela 8. Com os parâmetros  $\$F(u)$  e  $\$P(k)$  e utilizando-se as Equações (2) e (3) o sistema calcula quanto cada poluidor deverá pagar. Estes resultados são ilustrados nas Tabelas 9 e 10.

**Tabela 8. Resultado dos parâmetros  $\$F(u)$  e  $\$P(k)$ .**

Parâmetro	Unidade	Valor
$\$P$ [CF]	US\$/10 <sup>12</sup> NMP	
$\$P$ [DBO]	US\$/t	
$\$P$ [Nt]	US\$/t	
$\$P$ [Pt]	US\$/t	
$\$P$ [St]	US\$/t	
$\$F$ [1]	Adimensional	
$\$F$ [2]	Adimensional	
$\$F$ [3]	Adimensional	
$\$F$ [4]	Adimensional	
$\$F$ [5]	Adimensional	
$\$F$ [6]	Adimensional	
$\$F$ [7]	Adimensional	
$\$F$ [8]	Adimensional	

## APLICAÇÃO E RESULTADOS

A cobrança tem, nesta aplicação, entre outros objetivos, gerar recursos para cobrir as despesas decorrentes de obras para melhoria da qualidade de água na bacia. Para que isto seja factível é necessário compatibilizar a receita anual que deverá ser obtida com a cobrança, com o montante anual que precisará ser investido na bacia.

De acordo com o sistema tarifário adotado, a arrecadação anual é função de parâmetros variáveis crescentes com o tempo, população, volume consumido, carga poluidora gerada, etc. No caso de se adotar um valor fixo de tarifa, o crescimento populacional, industrial, etc., indicará um valor arrecadado anualmente também crescente. Porém, para efeito deste estudo, consideraram-se todos os dados referentes aos parâmetros envolvidos no sistema tarifário como aqueles projetados para o ano 2007 e supôs-se que o montante arrecadado anualmente será constante, o que a rigor, não corresponde à realidade. Uma solução mais próxima da realidade requer um conhecimento detalhado do cronograma de implantação das obras e da origem dos recursos, se por exemplo, vai ser obtido por empréstimos ou utilização dos próprios recursos da cobrança. Em qualquer caso, é necessário que seja definido quanto deve ser arrecadado em cada ano e informado ao sistema tarifário que dessa forma definirá os valores da tarifa variável para cada ano.

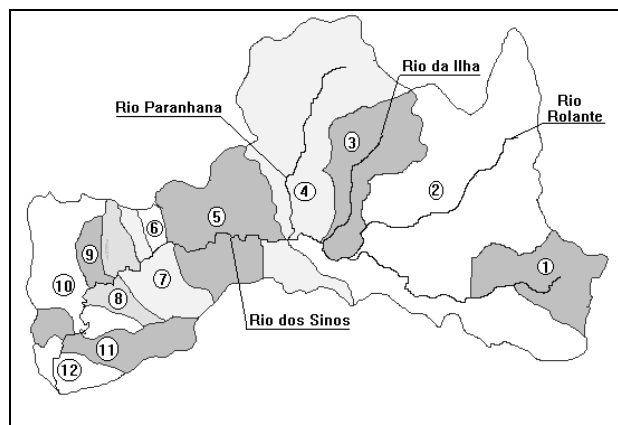
**Tabela 9. Preço unitário por fonte poluidora e por localização - exemplo.**

Zona	Pop. Urbana	D. P. Urbana	Res. Sol. Dom.	Pop. Rural	F. D. Rural	Criação Animais (US\$/cab.ano)		Irrigação
	US\$/hab.ano	US\$/ha.ano	US\$/hab.ano	US\$/hab.ano	US\$/ha.ano	Peq. Por-te	Gde. Por-te	US\$/ha.ano
1	3,395	767,212	0,037	6,289	3,589	0,210	0,006	10,126
2	3,287	879,002	0,061	6,088	4,108	0,222	0,006	16,537
3	5,004	973,680	0,112	9,268	4,545	0,348	0,010	29,284

**Tabela 10. Preço unitário por tipo de indústria e por localização - exemplo.**

Zona	Efluentes Industriais (US\$/m <sup>3</sup> .ano)							
	CPS	B&A	TXT	ALIM	Q/PET	MET	PAPEL	UTIL
1	1,8383	0,1763	0,8250	1,0572	0,4184	0,6771	1,4863	0,7156
2	2,1026	0,2017	0,9351	1,2021	0,4789	0,7748	1,7010	0,8111
3	2,3286	0,2235	1,0548	1,3479	0,5299	0,8572	1,8818	0,9151

A Figura 4 mostra as sub-bacias contribuintes para cada trecho do rio dos Sinos, formando portanto 12 regiões que serão utilizadas para efeito da cobrança.



**Figura 4. Sub-bacias contribuintes para cada trecho do rio do Sinos.**

### Captação de água bruta (uso 1)

A primeira dificuldade surge no momento de decidir qual o preço unitário da água que deve ser cobrado de cada grupo de usuários ou, de outra forma, quanto se deseja arrecadar com a cobrança pela captação de água bruta. A resposta para essas questões virá de um processo de negociação no Comitê de Bacia. Porém, para efeito deste trabalho, procurou-se observar algumas premissas:

1. a tarifa de água captada para abastecimento humano, por assegurar condições sanitárias e ser fator de melhoria da qualidade de vida, deve ser menor que as demais;
2. o valor da tarifa deve considerar a capacidade de pagamento do usuário, de forma a permitir a continuidade de suas atividades na bacia, salvo situação onde o contrário seja desejado.

Considerou-se, para fins de cobrança, que as vazões captadas são constantes ao longo do ano. Como no sistema de cobrança francês, poderia ser o consumo no mês mais seco.

Os valores cobrados deverão ser diferenciados de acordo com as sub-bacias da Figura 1. Porém, considerando que a bacia do rio dos Sinos não apresenta problemas de quantidade de água, optou-se por uma estrutura tarifária simplificada

para o uso 1 onde o preço da água não sofrerá variação espacial nem temporal. Isto torna os parâmetros  $K_i$  e  $K_{EST}$  constantes e iguais à unidade, restando apenas o coeficiente de uso, que multiplicado por um preço básico, informará os custos unitários para cada grupo de usuário. O preço básico adotado foi US\$ 0,02/m<sup>3</sup>. Os coeficientes e os respectivos preços unitários para cada tipo de uso estão apresentados na Tabela 11.

**Tabela 11. Coeficiente de uso e preço unitário.**

Usuário	$K_{USO}$	Preço unitário US\$/m <sup>3</sup>
Pop. Urbana	1	0,020
Pop. Rural	1	0,020
Irrigação	0,25	0,005
Criação Animais	0,25	0,005
Indústria	1,5	0,030

O fato de o preço unitário da água para a irrigação e dessedentação de animais ser menor que o preço unitário para o abastecimento humano (urbano e rural), pode parecer uma contradição com a premissa de que este último tipo de uso deveria ser menor. Porém para estabelecer estes valores considerou-se a capacidade de pagamento dos usuários. A irrigação, dentre os usos de água na bacia do rio dos Sinos é, indubitavelmente, o mais sensível à cobrança.

Os preços unitários apresentados na Tabela 11, com exceção do referente a irrigação e criação de animais, estão de acordo com os utilizados por Conejo (1993) e são bastante próximos dos obtidos por Garrido (1996).

A bacia do rio dos Sinos tem sua disponibilidade hídrica ampliada pela transposição que recebe da bacia do rio Caí, a ela adjacente. Considerou-se que este volume recebido também será cobrado, ou seja, a bacia do rio dos Sinos pagará à bacia do rio Caí pelo volume recebido. O preço unitário desta operação foi adotado como US\$ 0,02/m<sup>3</sup>.

O tipo do modelo tarifário utilizado para cobrança pela captação de água bruta permite conhecer o preço que deverá ser cobrado de cada usuário, a partir da definição dos parâmetros  $K_i$ ,  $K_{EST}$  e  $K_U$ . Para calcular o montante anual que deverá ser arrecadado com a cobrança pela captação de água bruta utilizaram-se os volumes anuais que deverão ser consumidos por cada grupo de usuário, no ano 2007, estimados por Magna (1996a). A Tabela 12 apresenta estes valores e a Tabela 13 apresenta os valores que deverão ser arrecadados

**Tabela 12. Volume anual consumido por cada grupo de usuário.**

Região	Volume anual consumido (m <sup>3</sup> )				
	População Urbana	População Rural	Irrigação	Criação Animais	Indústria
1	612 425	128 422	2 803 428	484 125	26 045
2	1 739 478	255 566	20 718 815	950 489	78 205
3	1 062 554	67 755	14 059 798	217 356	130 606
4	7 114 504	211 152	13 842 010	701 143	481 397
5	15 148 291	230 595	10 660 737	700 177	2 104 963
6	1 908 583	12 584	1 445 553	88 736	605 357
7	15 449 518	87 534	783 474	128 721	3 118 694
8	15 398 858	110 772	163 424	60 840	5 044 014
9	7 280 481	73 078	0	21 473	2 274 746
10	12 939 412	139 412	23 292 644	239 581	16 486 293
11	18 289 310	55 116	38 543 606	157 318	11 276 500
12	12 980 143	13 739	40 902 617	137 770	4 413 486
Total	109 923 557	1 385 725	167 216 107	3 887 727	46 040 305

**Tabela 13. Total anual arrecadado por tipo de usuário e por região (US\$).**

Região	Total anual arrecadado por tipo de usuário (US\$)				
	População Urbana	População Rural	Irrigação	Criação Animais	Indústria
1	12 249	2 568	14 017	2 421	781
2	34 790	5 111	103 594	4 752	2 346
3	21 251	1 355	70 299	1 087	3 918
4	142 290	4 223	69 210	3 506	14 442
5	302 966	4 612	53 304	3 501	63 149
6	38 172	252	7 228	444	18 161
7	308 990	1 751	3 917	644	93 561
8	307 977	2 215	817	304	151 320
9	145 610	1 462	0	107	68 242
10	258 788	2 788	116 463	1 198	494 589
11	365 786	1 102	192 718	787	338 295
12	259 603	275	204 513	689	132 405
Total	2 198 471	27 715	836 081	19 439	1 381 209

em cada uma das 12 regiões que a bacia do rio dos Sinos foi subdividida.

Para estimar os volumes anuais consumidos por cada grupo de usuário considerou-se que os consumos per capita são constantes ao longo do ano. No caso da irrigação, os consumos per capita foram considerados constantes ao longo dos três meses em que esta atividade ocorre (janeiro a março), e portanto, o volume anual se refere ao consumo destes meses. A vazão da transposição do rio Caí para o rio dos Sinos foi estimada, por não se dispor de uma série de medições confiáveis, constituindo mais uma fonte de incerteza.

Considerando a vazão da transposição do rio Caí para o rio dos Sinos constante e igual a 2,55 m<sup>3</sup>/s, resulta em um volume anual de 80.416.800 m<sup>3</sup>. O preço que a bacia do rio dos Sinos deverá pagar para a bacia do rio Caí foi fixa-

do em US\$ 0,02/m<sup>3</sup>, mesmo preço cobrado para o abastecimento humano. Isto resulta em um montante anual de US\$ 1.608.336. Deduzindo este valor do total arrecadado (US\$ 4.462.914) restam US\$ 2.854.578 que poderá ser utilizado para melhorar a rede de monitoramento da bacia, financiar o próprio sistema de cobrança e outorga, ou mesmo para reduzir os custos de tratamentos de algumas fontes poluidoras que tenham pequena capacidade de pagamento, o que será objeto de simulação no próximo item.

#### Lançamento de efluentes (uso 4)

A Tabela 15 apresenta as cargas poluidoras potenciais produzida na bacia em percentuais do total da bacia. A carga de efluentes industriais é

a remanescente após o tratamento secundário. Estas cargas foram estimadas indiretamente por Magna (1996a), utilizando-se dos coeficientes unitários apresentados na Tabela 16.

**Tabela 14. Total arrecadado por tipo de usuário.**

Usuário	US\$	%
Pop. Urbana	2 198 471	49,26
Pop. Rural	27 715	0,62
Irrigação	836 081	18,73
Criação Animais	19 439	0,44
Indústria	1 381 209	30,95
Total	4 462 914	100,00

Os coeficientes de inefetividade  $C_{in}(i,k)$ , apresentados na Tabela 17, foram considerados proporcionais a quanto a concentração do parâmetro  $k$  viola os limites tolerados no trecho fluvial controlado da sub-bacia. Estes limites são os das classes da Resolução 20/86 do CONAMA, que também estão na Tabela 17.

O coeficiente relacionado à sub-bacia onde são realizados os lançamentos ( $C_{sb}(i,k)$ ) foi considerado proporcional à atenuação natural da carga de lançamento do parâmetro  $k$  na sub-bacia  $i$  até à seção de controle. Este parâmetro foi calculado pelo quociente da concentração encontrada deste mesmo parâmetro no curso de água principal da sub-bacia  $i$ , registrada pela rede de monitoramento, e a carga total de lançamento do parâmetro  $k$  na sub-bacia, estimada indiretamente.

Dois efeitos justificam a diferença entre os dois valores: as incorreções derivadas da adoção de estimativas indiretas dos lançamentos e a atenuação natural do poluente que ocorre entre o seu lançamento e a sua detecção na seção de monitoramento. A Tabela 18 apresenta as estimativas para este parâmetro.

O coeficiente de inefetividade está diretamente relacionado com o objetivo de qualidade fixado para a bacia. Este parâmetro permite introduzir prioridades regionais no que diz respeito a um programa de despoluição. O coeficiente  $C_{sb}(i,k)$  está relacionado com a capacidade de atenuação natural do poluente e pode ser utilizado para estimular a utilização ótima desta capacidade. Estes coeficientes juntos permitem introduzir no modelo os objetivos de despoluição, em sua espacialização na bacia, atendendo portanto ao segundo pré-requisito estabelecido para o critério de cobrança.

O primeiro pré-requisito estabelecido para o critério de cobrança (proporção da sua própria carga de lançamento) é atendido diretamente pela

própria estrutura tarifária restando, portanto, o atendimento aos critérios 3 e 4 que dizem respeito ao atingimento da arrecadação prevista e a arrecadação por fonte proporcional aos seus respectivos custos de tratamento que serão objetos das simulações a seguir.

Os custos de tratamento de cada uma das fontes poluidoras foram considerados aqueles estimados por Magna (1996b) para a solução técnica preconizada apresentada na Tabela 3. No caso da irrigação, devido a dificuldades técnicas e econômicas para tratamento destes efluentes, nenhuma solução foi preconizada e, portanto, não existe nenhum custo decorrente deste tratamento, o que anula a cobrança para este grupo se for atendido o quarto pré-requisito do sistema de cobrança (arrecadação por fonte proporcional aos seus respectivos custos de tratamento). Entretanto, considerando que a cobrança, além de ter como objetivo redistribuir os custos dos investimentos de modo mais equitativo, tem também o papel de gerenciar a demanda, estimulando o uso mais eficiente da água, atribuiu-se aos irrigantes uma parcela dos custos que serão investidos na bacia. Este valor deverá ser determinado através de negociação a nível de Comitê de Bacia e será uma variável de entrada do problema.

As variáveis seguintes, também resultados de negociação, são:

1. quanto se deseja investir anualmente na bacia;
2. haverá ou não utilização de subsídio cruzado;
3. haverá algum tipo de subsídio direto;
4. quanto dos recursos obtidos com a cobrança pela captação de água bruta será utilizado para reduzir os custos de tratamentos e de quais fontes.

No que se refere aos itens 3 e 4 das variáveis descritas acima, para efeito de aplicação prática, ambas se referem a formas de subsídios diretos. A única implicação do uso de uma ou de outra é que sobrarão mais ou menos dos recursos, obtidos com a cobrança pelo uso da água bruta, para serem investidos na bacia.

## Análise prévia dos dados

Confrontando os dados apresentados na Tabela 15 com a Tabela 3, pode-se verificar que os efluentes industriais contribuem com 9,68%, 5,02%, 4,83%, 2,21% e 33,45% de toda carga de coliformes fecais, DBO, nitrogênio total, fósforo e



**Tabela 15. Cargas poluidoras potenciais totais por fonte - 2007 (%).**

Fonte Poluidora	Coliforme Fecal NMP/ano	DBO t/ano	Nitrogênio t/ano	Fósforo t/ano	Sólidos T t/ano
Efl. Ind.*	9,684	5,018	4,831	2,206	33,453
D. P. Urb.	0,000	4,340	4,288	2,040	2,075
Pop. Urb.	82,515	21,175	21,428	20,692	
F. D. Rur.	0,073	2,175	10,653	13,299	64,473
Pop. Rur.	2,080	0,534	0,540	0,522	
Res. Sl. Dom.	0,008	24,948	15,157	19,465	
Criação Animais	5,640	41,810	42,370	41,167	
Irrigação			0,732	0,609	
Total	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000

\* refere-se à carga remanescente de efluentes industriais, após o tratamento a nível secundário.

**Tabela 16. Coeficientes para cálculos de cargas poluidoras potenciais (fonte: MAGNA, 1996a).**

Usos / parâmetros	Coliformes fecais NMP/C.ano	D. B. O. t/C.ano	Nitrôgenio t/C.ano	Fósforo t/C.ano	Sólidos totais t/C.ano
População urbana (hab.)	8,47E+12	0,0158	0,0015	0,0004	NP
População rural (hab.)	8,47E+12	0,0158	0,0015	0,0004	NP
Drenagem pluvial urbana (ha)	1,50E+09	0,2540	0,0243	0,0030	0,1295
Fontes difusas rurais (ha)	2,51E+10	0,0054	0,0026	0,0008	0,1720
Resíduos sólidos domésticos (ha)	8,40E+08	0,0186	0,0011	0,0004	NP
Dessedentação de animais (cab.)					
Grande porte	2,63E+12	0,1518	0,0149	0,0038	NP
Pequeno porte	8,76E+10	0,0020	0,0002	0,0000	NP
Atividades industriais (mg/l)					
Couros, peles e similares	1,00E+07	210,0	3,3	2,0	1775,0
Bebidas e álcool	1,00E+06	350,0	10,0	1,0	170,0
Têxtil	8,00E+07	22,0	27,5	1,2	750,0
Produtos alimentares	7,00E+07	260,0	30,0	5,0	981,0
Química e petroquímica	1,00E+04	145,6	27,5	1,1	405,0
Metalúrgicas e siderúrgicas	1,00E+04	10,0	2,6	0,6	656,0
Papel celulose e papel papelão	1,00E+04	250,0	10,0	1,2	1440,0
Utilidade pública	7,00E+07	300,0	30,0	1,0	650,0

sólidos totais, respectivamente, gerada na bacia, e 34,68%, 88,77% e 66,32% dos custos de investimento, O&M e total anual, respectivamente. Assim pode ser interessante para a sociedade, antes de submeter os efluentes industriais a um tratamento avançado, tratar as fontes poluidoras que ainda não utiliza nenhum tipo de tratamento. A drenagem pluvial urbana contribui com 4,34%, 4,29%, 2,04% e 2,08% de toda carga de DBO, nitrogênio total, fósforo e sólidos totais, respectivamente, gerada na bacia e 42,65%, 8,77% e 22,82% dos custos de investimento, O&M e total anual, respectivamente. O custo total anual dos efluentes industriais somado ao da drenagem pluvial urbana, representa aproximadamente 90% do montante anual que

precisa ser investido na bacia para que todas as fontes sejam tratadas.

Contrastando com as fontes anteriores, está a atividade de Criação Animal que produz 41,81% da DBO, 42,37% do Fósforo total e 41,17% do Nitrogênio total, mas cujo custo total de tratamento é de apenas 0,1% da solução técnica preconizada.

Estes valores permitem a constatação de que o custo de tratamento é proporcional à carga tratada e ao abatimento almejado, mas depende também do tipo de efluente, da dispersão espacial das atividades que o produzem e do nível de tratamento já implementado. Neste último caso, é sabido que os custos marginais de abatimento da poluição são crescentes, o que torna mais caro

**Tabela 17. Coeficiente de inefetividade -  $C_{in}(i,k)$ .**

Sub-Bacia	Trecho do Rio	Cenário (Classe) <sup>1</sup>	Coli Fecal	$C_{in}(i,k) \Rightarrow$ Coef. de inefetividade			
				DBO <sub>5</sub>	Nitrogênio total	Fósforo total	Sólidos totais
1	Nascente - SI 11	2	304,9	9,0	2,4	227,4	7,7
2	SI 11- SI 10	2	121,0	4,5	0,9	157,4	4,2
3	SI 10 - SI 9	2	138,0	4,5	0,8	252,3	4,1
4	SI 9 - SI 8	2	262,9	5,5	1,0	247,7	4,2
5	SI 8 - SI 7	2	309,6	6,2	1,2	253,0	3,9
6	SI 7 - SI 6	2	322,3	6,4	1,3	256,1	3,9
7	SI 6 - SI 5	2	459,6	7,6	1,5	283,4	4,3
8	SI 5 - SI 4	2	935,2	8,9	1,8	312,0	4,7
9	SI 4 - SI 3	3	262,8	4,1	1,6	318,0	4,7
10	SI 3 - SI 2	3	283,1	4,8	1,9	539,3	5,7
11	SI 2 - SI 1	3	275,5	5,2	2,2	542,0	5,8
12	SI 1 - Foz	3	276,3	5,6	2,5	555,8	5,8
		Média	329,3	6,0	1,6	328,7	4,9

<sup>1</sup> Classe segundo a resolução 20/86 do CONAMA.

**Tabela 18. Coeficiente relacionado à sub-bacia -  $C_{sb}(i,k)$ .**

Sub-bacia	Coliforme Fecal	DBO <sub>5</sub>	Nitrogênio Total	Fósforo Total	Sólidos Total
1	0,1155	0,0613	0,4087	0,2391	4,7024
2	0,1115	0,1021	0,6406	0,4826	5,3811
3	0,1694	0,1264	0,7005	2,3403	5,9528
4	0,1778	0,1136	0,6567	0,5288	5,2156
5	0,0711	0,0928	0,6489	0,5142	6,2693
6	0,0931	0,0981	0,6521	0,5393	5,6256
7	0,1063	0,1026	0,6468	0,5590	5,7708
8	0,3831	0,1265	0,8111	0,7438	6,1460
9	0,2635	0,1499	0,9336	0,8453	6,3845
10	0,1381	0,1711	1,1212	4,2377	5,9074
11	0,0430	0,1282	1,0197	0,7233	5,4887
12	0,0381	0,1174	0,9398	0,6696	5,3427
Média	0,1425	0,1158	0,7650	1,0353	5,6822

tratamentos mais avançados, como no caso dos efluentes industriais neste exemplo. Portanto, a eficiência econômica do controle da poluição em uma bacia é obtida tratando-se inicialmente as fontes cujos custos marginais de abatimento são mais baixos.

Processando os dados apresentados previamente, Cánepa, Pereira e Lanna (1999) apresentaram a Tabela 19 em que os custos marginais de abatimento da poluição da DBO, nesta bacia, foram estimados em uma primeira aproximação. Também neste trabalho é apresentada a Figura 5, onde os custos marginais de tratamento são dispostos ordenadamente.

Neste ponto, é preciso ter bem clara uma premissa implícita na confecção desta curva: na

realidade, ela ordena, por custo crescente, o abatimento dos primeiros 80% de DBO de cada setor, supondo que o custo adicional dos 20% restantes é proibitivo para o respectivo setor, podendo, pois, ser "jogado" para o fim da curva (custos "infinitos"). Esta suposição não é absolutamente realística, mas sua remoção, no momento, além de impossível - pela inexistência de dados sobre custos de abatimento em níveis superiores a 80% da DBO - não alteraria o raciocínio e as principais conclusões do presente exercício.

Um programa de abatimento economicamente eficiente sob o ponto de vista global iniciaria o tratamento pelas fontes mais baratas, de acordo com a ordenação da Figura 5. Isto significa que para a sociedade como um todo seria eficiente,

**Tabela 19. Custos de abatimento de DBO<sub>5</sub> na bacia do rio dos Sinos.**

Fonte	DBO <sub>5</sub> abatida (ton/ano)	Valor do investimento (10 <sup>3</sup> US\$)	Custo anual equivalente (10 <sup>3</sup> US\$/ano)	Custo anual de O&M (10 <sup>3</sup> US\$/ano)	Custo anual total (10 <sup>3</sup> US\$/ano)	Custo marginal por setor (US\$/ano)	Ordem crescente de custo marginal
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)=(4)+(5)	(7)=(6)/(2)	(8)
ACA	30 400	600	101	4	105	3	(1)
RSD	16 400	670	113	13	126	8	(2)
EDU	14 000	40 000	6 747	1 188	7 935	567	(3)
DPU	3 200	110 000	18 560	4 287	22 847	7 140	(6)
EIT	2 400	90 000	15 180	43 390	58 570	24 404	(7)
FDR	1 600	15 000	2 530	0	2 530	1 581	(5)
EDR	800	3.800	641	0	641	801	(4)
Total	68.800	260.070	43.872	48.882	92.754		

Obs.: Discrepâncias de cifras devem-se a arredondamentos em quantidades e valores.

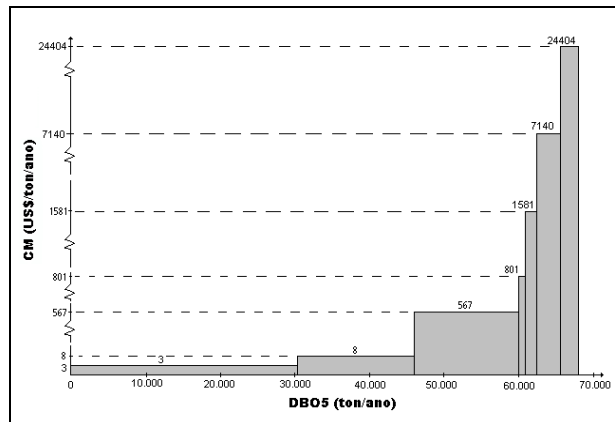
antes de submeter os efluentes industriais a um tratamento avançado, tratar as fontes poluidoras com custo marginal mais baixo. Caso este tratamento seja financiado pela cobrança pelo uso da água, isto não significa que a indústria não pagaria pelos seus lançamentos. A interpretação correta é que ela, em vez de abater sua poluição, que é caro, abateria o que lhe for exigido, tratando uma fonte com custos menores.

processamento seria mais direto, entrando-se com o abatimento desejado na abscissa e então determinando-se as fontes a serem tratadas.

### Simulações realizadas

Cinco simulações serão apresentadas, identificadas na Tabela 20. Todas buscam soluções custo-efetivas com custos fixos. Dois valores de custo fixo são adotados. Para efeitos meramente referenciais, supôs-se que em algumas simulações seria promovida uma arrecadação suficiente para implantação da solução técnica preconizada, com tratamento de todas as fontes. Nas demais a arrecadação seria suficiente para implantação de tratamento em todas as fontes, exceto a da indústria (tratamento avançado) e a drenagem pluvial urbana. Note-se, mais uma vez, que isto não significa necessariamente que, em um ou outro caso, as fontes cujos custos são referenciados seriam tratadas. Em qualquer caso, haveria necessidade de ser construída a curva de custo marginal de abatimento, estendida para abranger os restantes 20% de abatimento (o que não foi incluído no exemplo da Tabela 19 e da Figura 5). Com esta curva, seriam definidas as fontes que deveriam ser tratadas, e com que nível de redução.

O sistema de apoio à cobrança foi aplicado em cada caso, sendo os resultados apresentados na Tabela 21. Na análise de resultados, sumarizada na Tabela 22, admitiu-se que a população urbana assumirá os custos rateados para a poluição derivada dos esgotos domésticos urbanos, da drenagem pluvial urbana e dos resíduos sólidos domésticos. A população rural assumirá apenas os custos de tratamento de sua própria poluição, sendo os custos referentes ao tratamento das fontes



**Figura 5. Custo marginal de abatimento da DBO na bacia do rio dos Sinos.**

Duas abordagens custo-efetivas poderiam ser adotadas: 1) a de custo fixo, em que se define previamente o custo a ser investido e se maximiza o abatimento da poluição; 2) a de efetividade fixa, em que se define o nível de abatimento e se minimiza o custo para tanto.

No primeiro caso, a solução custo-efetiva seria obtida integrando-se a curva da Figura 5, da esquerda para a direita, até que fosse obtido o custo a ser investido. O abatimento resultante da DBO seria obtido na abscissa. No segundo caso, o

**Tabela 20. Simulações realizadas.**

Simulação	Valor Investido (US\$)	Subsídio Cruzado	Subsídio Direto	Contribuição da Irrigação (US\$)	Observação
1	83 544 183	————	————	————	Todas as fontes serão tratadas
2	83 544 183	————	F. D. Rur. e Pop. Rur.	10 000	Todas as fontes serão tratadas
3	9 064 917	————	————	————	Idem, exceto Efl. Ind. e D. P. Urb.
4	9 064 917	————	F. D. Rur. e Pop. Rur.	10 000	Idem, exceto Efl. Ind. e D. P. Urb.
5	9 064 917	Efl. Ind. subsidia F. D. Rur. e Pop. Rur.	————	10 000	Idem, exceto Efl. Ind. e D. P. Urb.

**Tabela 21. Parâmetros do modelo tarifário - resultado das simulações.**

	Parâmetros do modelo de cobrança para cada simulação				
	1	2	3	4	5
\$P[CF] *	4 225,39	47 379,13	458,47	23 722,47	23 689,57
\$P[DBO] (US\$/t)	77,25	866,22	8,38	433,26	433,11
\$P[Nt] (US\$/t)	20,58	230,81	2,23	115,45	115,41
\$P[Pt] (US\$/t)	4 218,31	47 365,50	457,71	23 658,10	23 682,75
\$P[St] (US\$/t)	63,03	707,02	6,84	353,51	353,51
\$F[Efl. Ind.]	1,11E-04	9,87E-06	1,11E-04	2,14E-06	2,22E-06
\$F[D. P. Urb.]	1,64E-01	1,46E-02	1,64E-01	3,18E-03	3,17E-03
\$F[Pop. Urb.]	1,59E-06	1,41E-07	1,59E-06	3,06E-08	3,06E-08
\$F[F. D. Rur.]	8,41E-04	9,82E-06	8,42E-04	1,05E-06	9,76E-07
\$F[Pop. Rur.]	4,04E-06	3,65E-08	4,04E-06	1,33E-08	1,33E-08
\$F[Res. Sol. Dom.]	9,07E-05	8,08E-06	9,08E-05	1,75E-06	1,75E-06
\$F[Des. de Anim.]	6,70E-07	5,97E-08	6,70E-07	1,29E-08	1,30E-08
\$F[Irrigação]	0,00E+00	2,12E-05	0,00E+00	4,24E-05	4,24E-05

\* (US\$/1x10<sup>12</sup> NMP)

difusas rurais, assumidos pelos proprietários das áreas.

Observando-se na Tabela 22 as parcelas que deverão ser assumidas pela população urbana, verifica-se que os preços relativos a drenagem pluvial urbana estão em US\$/ha. Para compatibilizar com os demais, que estão US\$/hab, multiplicaram-se as áreas urbanas de cada uma das 12 regiões em que foi subdividida a bacia do rio dos Sinos pelo seu respectivo custo estimado da cobrança e dividiu-se este resultado pelo conjunto das populações urbanas destas mesmas regiões. Após compatibilizadas as unidades, estas parcelas foram somadas e estão apresentadas na linha hachureada, representando o valor que a população urbana deverá pagar.

Os valores dos parâmetros  $C_{in}(i,k)$  e  $C_{sb}(i,k)$ , utilizados pelo modelo de cobrança, variam espacialmente na bacia, fazendo com que exista um conjunto diferente de preços que serão cobra-

dos do mesmo poluidor, dependendo de sua localização na bacia. Porém, para efeito de avaliação dos impactos gerados por esta cobrança, serão considerados apenas os valores extremos que deverão ser cobrados de cada grupo poluidor. Estes valores estão identificados na Tabela 22 como "max" e "min", representando respectivamente os maiores e menores valores.

O modelo de cobrança adotado considera que cada grupo de poluidores deverá contribuir com o custo alocado no rateio, descontado das parcelas de subsídios diretos ou cruzados, se houver.

A irrigação não entrou no rateio. Admitiu-se porém que esta fonte contribuirá com US\$ 10.000/ano (segunda, quarta e quinta simulação) não existindo nenhuma razão especial para justificar a adoção deste número, a não ser estar adequado à sua capacidade de pagamento.

**Tabela 22. Preço unitário de lançamento de efluentes por fonte poluidora e localização (para cada simulação).**

Fonte Poluidora	Unidade	1		2		3		4		5	
		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Pop. urb.	US\$/hab.ano	20,33	0,60	20,33	0,60	2,21	0,06	2,20	0,06	2,20	0,06
D. P. urb.	US\$/ha.ano	4 841,93	200,49	4 842,3	200,41	525,56	21,76	524,72	21,73	524,90	21,72
Res. Sl. Dom.	US\$/hab.ano	0,33	0,02	0,33	0,02	0,04	0,00	0,04	0,002	0,04	0,002
Pop. rur.	US\$/hab.ano	51,82	1,53	5,25	0,15	5,62	0,17	0,96	0,03	0,96	0,03
F. D. Rur.	US\$/ha.ano	32,92	1,64	4,31	0,21	3,57	0,18	0,21	0,01	0,21	0,01
Criação Anim.											
Gde. Porte	US\$/cab.ano	2,670	0,082	2,67	0,08	0,29	0,009	0,29	0,01	0,29	0,01
Peq. Porte	US\$/cab.ano	0,089	0,003	0,09	0,00	0,01	0,000	0,01	0,0003	0,01	0,0003
Irrigação	US\$/ha.ano			10,29	0,24			10,29	0,24	10,29	0,24
Pop. urbana <sup>1</sup>	US\$/hab.ano	43,92	2,84	43,90	2,84	4,77	0,31	4,76	0,31	4,76	0,31
Efl. Industrial											
CPS	US\$/m <sup>3</sup>	1,68	0,05	1,68	0,05	0,18	0,01	0,18	0,01	0,19	0,01
B&A	US\$/m <sup>3</sup>	0,17	0,01	0,17	0,01	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00
TXT	US\$/m <sup>3</sup>	13,41	0,39	13,41	0,39	1,46	0,04	1,45	0,04	1,51	0,04
ALIM	US\$/m <sup>3</sup>	11,73	0,35	11,73	0,35	1,27	0,04	1,27	0,04	1,32	0,04
Q/PET	US\$/m <sup>3</sup>	0,002	2,0x10 <sup>-4</sup>	0,002	2,0x10 <sup>-4</sup>	2,0x10 <sup>-4</sup>	0,000	2,0x10 <sup>-4</sup>	2,0x10 <sup>-5</sup>	2,0x10 <sup>-5</sup>	2,0x10 <sup>-5</sup>
MET	US\$/m <sup>3</sup>	0,002	2,0x10 <sup>-4</sup>	0,002	2,0x10 <sup>-4</sup>	2,0x10 <sup>-4</sup>	0,000	2,0x10 <sup>-4</sup>	2,0x10 <sup>-5</sup>	2,0x10 <sup>-5</sup>	2,0x10 <sup>-5</sup>
PAPEL	US\$/m <sup>3</sup>	0,002	3,0x10 <sup>-4</sup>	0,002	3,0x10 <sup>-4</sup>	2,0x10 <sup>-4</sup>	0,000	2,0x10 <sup>-4</sup>	4,0x10 <sup>-5</sup>	2,0x10 <sup>-4</sup>	4,0x10 <sup>-5</sup>
UTIL	US\$/m <sup>3</sup>	11,73	0,35	11,73	0,35	1,27	0,040	1,27	0,04	1,32	0,04

CPS = Couros, Peles e Similares; B&A = Bebidas e Álcool; TXT = Têxtil; ALIM = Produtos Alimentares; Q/PET = Química e Petroquímica; MET = Metalúrgicas/Siderúrgicas; PAPEL = Celulose, Papel e Papelão; UTIL = Utilidade Pública. <sup>1</sup> Pop. Urbana assumindo seus custos mais Res. Sol. Dom. e D. P. Urb.

### **Análise dos impactos econômico-financeiros**

O passo inicial para avaliar os possíveis impactos da cobrança pelos usos da água nos diversos usuários localizados na bacia do rio dos Sinos é efetuar a soma das parcelas dos custos referentes à captação de água bruta e ao lançamento de efluentes. A primeira parcela deste custo está referenciada ao volume consumido por cada grupo de usuário e a segunda à quantidade de poluentes gerados, o que indica que uma conversão de unidade será necessária para compatibilizá-las. A opção adotada foi estimar os volumes anuais consumidos por cada usuário e calcular o custo unitário anual que cada um desses terá com a captação de água bruta. Esses volumes foram estimados com os coeficientes apresentados na Tabela 23 e são os mesmos utilizados por Magna (1996a) para estimar os consumos na bacia do rio dos Sinos.

A Tabela 11 apresentou os preços unitários da captação de água bruta para cada um dos tipos de usos considerados. Estes preços aplicados à terceira coluna da Tabela 23 (volume anual consumido por cada usuário), informa o preço anual que cada usuário deverá pagar. Este preço será acrescido da parcela referente a cobrança pelo

lançamento de efluentes, apresentados na Tabela 22, para cada uma das simulações testadas. No caso das atividades industriais o preço total é uma soma simples entre os apresentados na Tabela 22 e aqueles apresentados na Tabela 11. O preço unitário anual total que cada usuário deverá pagar está apresentado na Tabela 24.

Para avaliação do impacto da cobrança, pesquisaram-se as principais atividades econômicas usuárias da água na bacia. Seus custos operacionais e o consumo de água foram estimados, permitindo estabelecer o quociente custo operacional/m<sup>3</sup> de água consumida, de acordo com a Tabela 25. Esta fração permite a avaliação, de forma indireta, do impacto da cobrança sobre a atividade, através do incremento dos custos operacionais resultantes.

Analisando-se a Tabela 25, verifica-se que a irrigação é a atividade mais vulnerável à cobrança pois apresenta o menor quociente. Isto significa que mesmo um pequeno valor de cobrança poderá ser representativo na composição dos custos finais de operação desta atividade. No ramo industrial a indústria de papel e celulose é a que apresenta maior sensibilidade relativa à cobrança.

**População rural e urbana** - A população rural tem custo unitário menor do que a urbana

**Tabela 23. Consumo per capita dos diversos usos da água.**

Usuário	Consumo per capita	Volume (m <sup>3</sup> /ano)	Cobrança captação
População Urbana	200 l/ha,dia	73,00	1,460 US\$/hab,ano
População Rural	100 l/ha,dia	36,50	0,730 US\$/hab,ano
Dessed. de Animais			
Grande Porte			
Bovinos/Suínos	34,5 l/cab,dia	12,59	0,063 US\$/cab,ano
Peq. Porte			
Aves	0,35 l/cab,dia	0,13	0,001 US\$/cab,ano
Ovinos	4,5 l/cab,dia	1,64	0,008 US\$/cab,ano
Irrigação (Jan-Mar)	1,5 l/s,ha	11 664,00	58,320 US\$/ha,ano

**Tabela 24. Preço unitário total pelo uso da água (custo da captação de água bruta + custo do lançamento de efluentes).**

Fonte	Unidade	1		2		3		4		5	
		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Criação. Anim.											
Peq. Porte											
Aves	US\$/cab.ano	0,090	0,003	0,090	0,003	0,010	0,001	0,010	0,001	0,010	0,001
Ovinos	US\$/cab.ano	0,097	0,011	0,097	0,011	0,018	0,009	0,018	0,009	0,018	0,009
Gde. Porte											
Bovinos/Suínos	US\$/cab.ano	2,733	0,145	2,733	0,145	0,353	0,072	0,352	0,072	0,352	0,072
Irrigação	US\$/ha.ano	58,320	58,320	68,613	58,565	58,320	58,320	68,613	58,565	68,613	58,565
Pop. Urbana <sup>1</sup>	US\$/hab.ano	45,38	4,30	45,36	4,30	6,23	1,77	6,22	1,77	6,22	1,77
Pop. Rural	US\$/hab.ano	52,55	2,26	5,98	0,88	6,35	0,90	1,69	0,76	1,69	0,76
Efl. Industrial											
CPS	US\$/m <sup>3</sup>	1,707	0,080	1,707	0,080	0,212	0,035	0,212	0,035	0,219	0,036
B&A	US\$/m <sup>3</sup>	0,198	0,035	0,198	0,035	0,048	0,031	0,048	0,031	0,049	0,031
TXT	US\$/m <sup>3</sup>	13,441	0,425	13,440	0,425	1,486	0,073	1,484	0,073	1,539	0,074
ALIM	US\$/m <sup>3</sup>	11,765	0,376	11,764	0,376	1,304	0,068	1,302	0,068	1,351	0,069
Q/PET	US\$/m <sup>3</sup>	0,032	0,030	0,032	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
MET	US\$/m <sup>3</sup>	0,032	0,030	0,032	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
PAPEL	US\$/m <sup>3</sup>	0,032	0,030	0,032	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
UTIL	US\$/m <sup>3</sup>	11,765	0,375	11,764	0,375	1,304	0,067	1,302	0,067	1,350	0,069

CPS = Couros, Peles e Similares; B&A = Bebidas e Álcool; TXT = Têxtil; ALIM = Produtos Alimentares; Q/PET = Química e Petroquímica; MET = Metalúrgicas/Siderúrgicas; PAPEL = Celulose, Papel e Papelão; UTIL = Utilidade Pública.<sup>1</sup> Pop. Urbana assume seus custos mais Res. Sol. Dom. e D. P. Urb.

apenas nas simulações onde seus custos são reduzidos por algum tipo de subsídio (simulação 2, 4 e 5). Na segunda simulação utilizou-se dos recursos obtidos com a cobrança pela captação de água bruta para pagar 90% dos custos referentes ao tratamento da poluição gerada pela população rural (subsídio direto). Na quarta e quinta simulação houve aplicação de subsídio direto e cruzado (indústria assume custos da população rural) respectivamente.

Devido à discrepância na distribuição da renda, uma avaliação da extensão dos impactos econômico-financeiros que a cobrança pelo uso da água provocaria na população requer uma melhor divisão por faixa de renda e uma avaliação indivi-

dualizada em cada uma dessas faixas, o que está fora do alcance deste trabalho. Assim mesmo destaca-se que os valores obtidos na primeira simulação estão visivelmente longe de ter aplicabilidade prática, tanto para a população urbana (US\$ 45,38 hab/ano) quanto para a população rural (US\$ 52,55 hab/ano).

**Atividade agropecuária de dessedentação de animais** - Os animais de pequeno porte foram agrupados em dois subgrupos: aves e ovinos. Para os primeiros, os valores obtidos estão no intervalo US\$ 0,090 cab/ano e US\$ 0,003 cab/ano, na primeira e segunda simulação; e

**Tabela 25. Custos operacionais por m<sup>3</sup> de água consumida.**

Atividade	Custo operacional US\$ /m <sup>3</sup>
AGRICULTURA	
Arroz irrigado	0,07
INDÚSTRIA	
Metal mecânica	
Metalurgia	344,78
Equipamentos de refrigeração	1200,00
Setor de couros	
Curtumes	59,97
Beneficiamento de couros	49,66
Fabricação de calçados	2800,00
Frigoríficos	
Abate de bovinos	145,36
Abate de suínos	139,58
Abate de aves	
Processo manual	61,35
Processo mecanizado	124,00
Papel e celulose	5,47
Têxtil	63,21
Alimentos	235,75
Bebidas não alcoólicas	262,29
Setor de química	
Química fina	1284,00
Tintas	213,77
Outros	36,62

US\$ 0,010 cab/ano e US\$ 0,001 cab/ano nas demais. Para estas mesmas simulações, os valores obtidos para ovinos estão no intervalo US\$ 2,73 cab/ano US\$ 0,145 cab/ano e US\$ 0,353 cab/ano US\$ 0,072 cab/ano.

**Efluentes industriais** - Este é o grupo de poluidores com maior capacidade de pagamento, conforme pode ser verificado na Tabela 25. A Tabela 26 apresenta os acréscimos percentuais que cada atividade industrial terá, caso seja aplicada a cobrança pelo lançamento de efluentes e captação de água bruta conforme as simulações efetuadas.

Em termos percentuais, as indústrias têxteis são as que sofrerão maiores acréscimos em seus custos operacionais, caso seja implementada a cobrança de acordo com qualquer uma das simulações executadas. Estes percentuais são de no máximo 21%, no caso das simulações 1 e 2, e no máximo aproximadamente 2,4% nas demais.

**Irrigação** - Considerando-se que a irrigação ocorrerá durante três meses, utilizando uma vazão de 1,5 l/s.ha, e portanto, consumindo 11.664 m<sup>3</sup>/ha. ano, seu custo operacional será de US\$ 816,48

ha/ano (US\$ 0,07/m<sup>3</sup>). Na simulação para a cobrança pela captação de água bruta fixou-se o preço da água para este grupo de usuário em US\$ 0,005/m<sup>3</sup> o que resulta em US\$ 58,32 ha/ano, ou seja, representando um acréscimo percentual nos seus custos operacionais de 7,14%. Na cobrança pelo lançamento de efluentes admitiu-se que este grupo de poluidores contribuirá, para este fim, com US\$ 10.000/ano o que resulta em uma cobrança de, no máximo, US\$ 10,29 ha/ano. A cobrança pelo lançamento de efluentes aplicada a este grupo representa um acréscimo nos seus custos operacionais de 1,26%. No total, a cobrança pelo uso da água representa um acréscimo de 8,40% nos custos operacionais dos irrigantes, o que pode ser considerado alto.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O sistema de apoio à cobrança pelo uso da água mostrou-se eficiente para orientar as análises realizadas. Todas as tabelas de resultados apresentadas são automaticamente geradas na planilha.

**Tabela 26. Acréscimos percentuais nos custos operacionais das indústrias, se implantada a cobrança pelos usos da água (captação de água bruta e lançamento de efluentes).**

Fonte poluidora	Custo operac. US\$ / m <sup>3</sup>	1		2		3		4		5	
		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
CPS											
Benef. de couros	46,66	3,657	0,172	3,656	0,172	0,454	0,076	0,454	0,076	0,469	0,076
Curtumes	59,97	2,846	0,133	2,846	0,133	0,354	0,059	0,353	0,059	0,365	0,059
Fábrica de calçados	2 800,00	0,061	0,003	0,061	0,003	0,008	0,001	0,008	0,001	0,008	0,001
B&A											
	262,29	0,075	0,013	0,075	0,013	0,018	0,012	0,018	0,012	0,019	0,012
TXT											
	63,21	21,262	0,672	21,262	0,672	2,351	0,115	2,347	0,115	2,435	0,118
ALIM											
	235,75	4,990	0,160	4,990	0,159	0,553	0,029	0,552	0,029	0,573	0,029
Q/PET											
Química fina	1 284,00	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Tintas	213,77	0,002	0,014	0,015	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
Outros	36,62	0,087	0,082	0,087	0,082	0,083	0,082	0,083	0,082	0,083	0,082
MET											
Metalurgia	344,78	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
Equip. de refrigeração	1 200,00	0,003	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
PAPEL											
	5,47	0,587	0,555	0,587	0,555	0,553	0,549	0,553	0,549	0,553	0,549

Não existiu a preocupação de aprofundar questões de ordem microeconômica, relacionadas à retração dos usos de água induzidos pela cobrança. Para avaliar os impactos da cobrança nas atividades econômicas utilizou-se de uma medida indireta: relação custo operacional por m<sup>3</sup> de água consumida. Entretanto recomenda-se que tal avaliação seja feita em relação aos benefícios líquidos o que evitará distorções nestas avaliações.

No caso da população, devido às discrepâncias na distribuição de renda, recomenda-se que a análise dos impactos da cobrança seja realizada baseada numa divisão da população por faixa de renda.

Finalmente, recomenda-se uma análise mais aprofundada dos impactos econômico-financeiros considerando, de forma adicional à cobrança proposta neste trabalho, os valores cobrados pelas companhias de saneamento (aproximadamente US\$ 1,00/m<sup>3</sup> para abastecimento e 80% deste valor para lançamento dos esgotos na rede pública).

## AGRADECIMENTOS

Os autores participam da rede de pesquisa sobre Instrumentos de Gestão das Águas, financiada pelo programa FINEP/RECOP/REHIDRO. O primeiro autor foi bolsista do CNPq durante o mestrado que permitiu a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- CÂNEPA, E. M., PEREIRA, J. S., LANNA, A. E. (1999). A Política de Recursos Hídricos e o Princípio Usuário-Pagador (PUP), ABRH-RBRH (nesta edição).
- CONEJO, J. G. L. (1993). A outorga de usos da água como instrumento de gerenciamento dos recursos hídricos. *Revista de Administração Pública*, Rio de Janeiro, v27, p28-62, abr./jun.
- FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA (1995). *Censo sócio-econômico dos municí-*



pios do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

GARRIDO, R. J. S. (1996). A importância da cobrança pelo uso da água como instrumento de gestão. In: *Notas para debate no Seminário Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - Seção Ceará*. Fortaleza: ABES.

LANNA, A. E. (1995). Cobrança pelo uso da água. In: *Simulação de uma proposta de gerenciamento dos recursos hídricos da bacia do rio dos Sinos, RS: Relatório interno*. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. 36f.

LANNA, A. E., PEREIRA, J. S., DE LUCCA, S. J. (1996). Simulação de uma proposta de gerenciamento de recursos hídricos na bacia do rio dos Sinos. In: *Simpósio Ítalo-brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, 3, 1996, Gramado. Anais*. [S. l.] ABES: ANDIS. v1, p79.

MAGNA ENGENHARIA LTDA (1996a). Estudos de alternativas para alcançar cenários estipulados. In: *Simulação de uma proposta de gerenciamento dos recursos hídricos na bacia do rio dos Sinos, RS: Relatório*. Porto Alegre. v1.

MAGNA ENGENHARIA LTDA (1996b). Impactos econômicos e financeiros. In: *Simulação de uma proposta de gerenciamento dos recursos hídricos na bacia do rio dos Sinos, RS: Relatório*. Porto Alegre. v3.

**Development of a Decision Support System to Water Use Taxation: Application to the River Sinos Basin, RS**

**ABSTRACT**

*The development of a Decision Support System for water use taxation is presented. This instrument is conceived as a cost allocation problem. Through equity criteria, the amount of payment for each water use is computed, in such a way that financial resources for river basin investments are obtained. The system was developed using a spreadsheet to make it flexible to test alternatives decisions negotiated in a River Basin Committee, for instance.*

*It is tested in a simulation of water uses taxation in the River Sinos basin, RS. A set of 5 simulations was done, varying the amount of money to be obtained and using several alternative types of subsidies. The results showed that irrigation is the use most vulnerable to water taxation. The need to use some kind of subsidies, direct or crossed, to avoid unwilling impacts in some economic or social sectors was also emphasized. This is the case of rural population and irrigation, for instance, which are more sensitive to taxes.*