

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

***ANÁLISE DE CRITÉRIOS DE OUTORGA E DE COBRANÇA PELO USO DA  
ÁGUA NA BACIA DO RIO DOS SINOS, RS***

***JAILDO SANTOS PEREIRA***

*Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.*

Porto Alegre, 25 de setembro de 1996.

*Dedico este trabalho à todas as pessoas que ainda resistem na crença de que podem construir um mundo socialmente mais justo, economicamente mais eficiente, ecologicamente mais limpo e principalmente mais humano.*

## APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul sob orientação do Prof. Dr. Antônio Eduardo Leão Lanna.

Desejo agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pela bolsa de estudos concedida.

Ao Prof. Antônio Eduardo Leão Lanna pela orientação e oportunidade de participar no desenvolvimento do estudo *“Simulação de uma proposta de gerenciamento de recursos hídricos da bacia do rio dos Sinos”*.

Ao Prof. e amigo Carlos André Bulhões Mendes, pelo inestimável apoio e estímulo.

Ao Eng. Michel Darzé pelo incentivo e enorme senso de justiça e ao Eng. Carlos Roberto, pelo valioso apoio no momento de escolher este caminho.

A todos professores da Escola Politécnica da UFBA, em especial, Luiz Edmundo (Luizão), Ana Luisa e Sandro, pela dedicação ao ensino.

A grande família porto-alegrense Luís Abílio, Cristiane, Carlos Paixão, Sônia, Cajú, Mônica, Adriano, Gabriel, Alex e aos amigos do 3º andar da CEU, em especial, France, Wellington, Sueli pelo convívio e apoio em todos os momentos.

Aos amigos do IPH pelo companherismo, contribuições e sugestões prestadas durante a realização deste trabalho, em especial, Valmir Pedrosa, Josimar Oliveira, Márcia Ribeiro, Adolfo Vilanueva, Andrea Germano, Mário Mediondo, Fernando Genz e Walter.

Finalmente, um agradecimento especial a Silvana pelo apoio, carinho e dedicação com que me acompanhou durante todo o período deste curso.

## RESUMO

O crescimento populacional desordenado, além de provocar um aumento da demanda tanto no aspecto quantitativo quanto nos tipos de usos, aumenta os riscos de poluição. Como uma primeira consequência os custos de abastecimento dos grandes centros urbanos tendem a aumentar cada vez mais. Com a degradação da qualidade dos mananciais mais próximos, ou as companhias de abastecimento passam a utilizar sistemas de tratamentos cada vez mais complexos e, portanto, mais caro ou transfere suas captações para locais mais afastados, onerando, portanto o transporte.

O presente trabalho apresenta uma proposta de critério de outorga com diversos níveis de prioridades relativas, no qual os usos menos prioritários deverão ser cessados sempre que um de maior prioridade tiver falhas de suprimento. Este critério é baseado na fixação de uma quantidade de falhas de atendimento para cada nível de prioridade, diferentemente do critério mais comum que fixa uma vazão de referência, normalmente função da  $Q_{7,10}$ . Estas duas formas foram comparadas e demonstraram que o sistema proposto apresenta a vantagem econômica e social de permitir o uso mais intenso da água disponível, ao ampliar o valor total da água outorgada. Por outro lado, sua implementação requer um melhor aparelhamento do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Este trabalho utiliza a cobrança pelos usos da água como um problema de rateio de custo. Através de alguns critérios de equidade, são estabelecidos os montantes a ser<sup>em</sup> cobrados de cada usuário de forma que seja no total arrecadado o valor anual a ser investido. O valor que será investido está relacionado com uma proposta de tratamento para as fontes poluidoras denominada “solução técnica preconizada”.

Desenvolveu-se um sistema de apoio à decisão em planilhas eletrônica que tornou o sistema flexível para, por exemplo, testar as opções levantadas por ocasião de uma negociação a nível do Comitê de Bacia. De posse deste sistema de apoio à decisão foram realizadas um conjunto de 5 simulações variando-se o montante arrecadado e a utilização de várias formas de subsídios. Os resultados mostraram que das atividades econômicas, a mais vulnerável à cobrança é a irrigação. Os resultados mostraram também que, para a população rural pagar menos que a urbana, é necessário a aplicação de alguma forma de subsídio.

## ABSTRACT

The uncontrolled populational growth increase the water demand not only in a quantitative sense, but in the types of use and the pollution risks. As a first consequence, the supplying costs in great cities tends to increase. The degradation in quality of nearby sources will oblige companies to use increasinly complex and more expensive water treatment systems, or to transfer the water intakes to further area, increasing the transportation costs.

In this work, a proposal of supplying criteria with relative priority levels is presented, in which less priority uses will cease in case higher priority levels were failing. This criteria is based in setting the number of fails for every priority level, instead if using the well known criteria that fix a reference outflow rate, generally a function of  $Q_{7,10}$ . Both two criteria were compared and it is shown that the proposed system has economic and social advantages for allowing a more intense use of available water, since it increase the total water volume supplied. On the other hand, its implementation demands a more complex Water Resources Management system.

This work use water taxing as a problem of cost sharing. Using equitability criterias, the amount of water to be taxed to each consumer is fixed in such a way that the total income is equal to the annual investment. The value to be invested is related with a proposal of treatment for poluter sources.

A Decision Support System (DSS) was developed using spreadsheet, giving flexibility to them system for example to test options in a Basin Committee discussion. Using this DSS set a five simulations was perfomed varying the total income and the use of different forms of subsidies. From the analis of the results, the economic activity that most vulnerable to taxing is irrigation. The results of this work should that some form of subsidy is necessary to allow smaller taxes to rural population.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS .....	1
1.1 Introdução .....	1
1.2 Objetivos.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1 Generalidades.....	3
2.2 Economia do Bem-Estar.....	5
2.2.1 Imposto de Pigou.....	7
2.2.2 Negociações Coasiana.....	8
2.2.3 Normas Ambientais.....	12
2.2.4 Leilão de Permissão .....	13
2.2.5 Tributação vs. Normatização.....	16
2.3 Bases Conceituais para a Cobrança pelo Uso da Água .....	18
2.3.1 Os Quatro Usos da Água .....	18
2.3.2 Motivações Para a Cobrança.....	19
2.3.3 Referências Para a Cobrança .....	20
2.4. Exemplo Francês de Cobrança pelo Uso da Água .....	22
2.4.1 Cobrança pela Poluição.....	22
2.4.2 Cobrança pela Água Bruta .....	29
2.4.3 Análise da Sistemática Francesa de Cobrança .....	29
2.5 Estudos Sobre a Cobrança no Brasil.....	29
2.6 Outorga dos Direitos do Uso da Água.....	30
3. ÁREA DE ESTUDO.....	33
3.1 Descrição Geral.....	33
3.1.1 Características Hidroclimáticas.....	34
3.1.2 Características Físicas .....	37
3.1.3 Situação Sócio-Econômica.....	39
3.2 Dados Disponíveis.....	43
3.2.1 Aspectos Quantitativos .....	44
3.2.2 Aspectos Qualitativos .....	46

3.2.3 Solução Técnica Preconizada .....	47
4. METODOLOGIA .....	50
4.1 Análise de Critérios para Outorga dos Direitos de Uso da Água .....	50
4.1.1 SAGBAH .....	53
4.2 Critérios para Cobrança Pelo Uso da Água .....	58
4.2.1 Tarifação pela Captação de Água Bruta .....	58
4.2.2 Tarifação pelo Lançamento de Efluentes .....	59
4.2.3 Alocação Ótima dos Recursos .....	65
4.2.4 Sistema de Apoio à Decisão Desenvolvido na Planilha Eletrônica Excel .....	68
5. APLICAÇÃO E RESULTADOS .....	77
5.1 Análise de Critérios para Outorga dos Direitos de Uso da Água .....	77
5.2 Resultado da Análise de Critérios para Outorga dos Direitos de Uso da Água .....	78
5.3 Critérios para Cobrança Pelo Uso da Água .....	82
5.3.1 Tarifação pela Captação de Água Bruta .....	83
5.3.2 Resultado da Tarifação pela Captação de Água Bruta .....	85
5.3.3 Tarifação pelo Lançamento de Efluentes .....	86
5.3.4 Resultado da Tarifação pelo Lançamento de Efluentes .....	92
5.3.5 Análise dos Impactos Econômico-Financeiros .....	95
5.3.6 Alocação Ótima dos Recursos .....	101
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	105
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	107

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Coeficientes de Aglomeração .....	24
Quadro 2.2: Coeficientes de Zona .....	25
Quadro 2.3: Cálculo da Cobrança de Poluição Doméstica .....	25
Quadro 2.4: Quadro de Estimativa Fixa .....	27
Quadro 2.5 - Estimativa da Cobrança de Poluição Aplicável ao Cortume Hipotético na Bacia Sena-Normandia (50 ton/dia de produção no mês crítico) .....	28
Quadro 2.6: Preço da Água Bruta (US\$ /m <sup>3</sup> ) .....	30
Quadro 3.1: Precipitação Pluvial Mensal (mm) - 1931/1960.....	35
Quadro 3.2: Evapotranspiração Média Decendial (mm/10 dias) - 1957/1984.....	36
Quadro 3.3: Temperatura Média Mensal - 1931/1960.....	36
Quadro 3.4: Umidade Relativa do Ar (%) - 1931/1960 .....	37
Quadro 3.5: Municípios Componentes da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos .....	40
Quadro 3.6: Participação Relativa da População Total, Urbana e Rural da Área de Estudo no Total do Estado - RS 1980 e 1991.....	41
Quadro 3.7: Usos Atuais Totais Consuntivos (1995) .....	44
Quadro 3.8: Usos Futuros Totais Consuntivos (2007) .....	44
Quadro 3.9: Cargas Poluidoras Potenciais Totais Anuais em 2007 .....	47
Quadro 3.10: Custos de Investimento, Operação e Manutenção e Total Anual (US\$) .....	49
Quadro 4.1: Relatório de Atendimento às Demandas - Exemplo do Arquivo de Falhas .....	57
Quadro 4.2: Formulação do Problema de Tarifação .....	65
Quadro 4.3: Formulação do Problema de Alocação Ótima dos Recursos .....	68
Quadro 4.4: Entrada de Dados para a Planilha de Cálculo da Tarifa de Captação .....	70
Quadro 4.5: Resultado da Planilha de Cálculo da Tarifa de Captação .....	70
Quadro 4.6: Entrada de Dados para Utilização de Subsídio Direto.....	72
Quadro 4.7: Entrada de Dados para Utilização de Subsídio Cruzado .....	72
Quadro 4.8: Resultado dos Parâmetros $S_F(j)$ e $S_P(k)$ .....	73
Quadro 4.9: Preço Unitário por Fonte Poluidora e por Localização - Exemplo .....	74
Quadro 4.10: Preço Unitário por Tipo de Indústria e por Localização - Exemplo.....	74
Quadro 4.11: Resultado da Alocação Ótima dos Recursos - $K_{i,j}$ .....	75

Quadro 5.1: Vazões Outorgáveis para 90%, 80% e 70% de Garantia de Atendimento .....	79
Quadro 5.2: Coeficiente de Uso e Preço Unitário.....	84
Quadro 5.3: Volumes Anual Consumidos por cada Grupo de Usuário .....	85
Quadro 5.4: Total Anual Arrecadado Por Tipo de Usuário e por Região (Us\$).....	85
Quadro 5.5: Total Arrecadado por Tipo de Usuário.....	86
Quadro 5.6: Coeficiente de Inefetividade - $C_{ln}(i,k)$ .....	87
Quadro 5.7: Coeficientes para Cálculos de Cargas Poluidoras Potenciais .....	88
Quadro 5.8: Coeficiente Relacionado à Sub-bacia - $C_{sb}(i,k)$ .....	89
Quadro 5.9: Simulação Realizadas.....	90
Quadro 5.10: Cargas Poluidoras Potenciais Totais por Fonte - 2007 (%).....	91
Quadro 5.11: Parâmetros do Modelo Tarifário - Resultado das Simulações .....	93
Quadro 5.12: Custo Unitário de Lançamento de Efluentes por Fonte Poluidora e Localização (para cada Simulação) .....	94
Quadro 5.13: Consumo per Capita dos Diversos Usos da Água .....	95
Quadro 5.14: Custo Unitário Total pelo Uso da Água (Custo da Captação de Água Bruta + Custo do Lançamento de Efluentes) .....	97
Quadro 5.15: Custos Operacionais por $m^3$ de Água Consumida .....	98
Quadro 5.16: Acréscimo Percentuais nos Custos Operacionais das Indústrias, se Implantada a Cobrança pelos Usos da Água (Captação de Água Bruta e Lançamento de Efluentes) .....	100
Quadro 5.17: Prioridades Regionais: Valores $\beta_K$ .....	103
Quadro 5.18: Resultados das Variáveis $K_{i,j}$ para um Investimento de Us\$ 5 000 000 .....	103
Quadro 5.19: Custo do Tratamento para cada uma das Regiões da Bacia do Rio dos Sinos	104

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Quantidade Ótima de Poluição .....	6
Figura 2.2: Solução Negociada do Problema de Poluição.....	9
Figura 2.3: Demanda dos Certificados de Poluição .....	14
Figura 2.4a: Licenciamento e Cobrança pela Poluição na Ótica Custo-Benefício .....	16
Figura 2.4b: Abatimento da Poluição: Tributação vs. Normatização.....	16
Figura 3.1: Localização da Bacia do Rio dos Sinos.....	33
Figura 3.2: Histograma de Precipitação Média Mensal.....	35
Figura 3.3: Histograma de Evapotranspiração Média Mensal.....	36
Figura 3.4: Geologia da Bacia do Rio dos Sinos .....	39
Figura 3.5: Usos dos Recursos Hídricos na Bacia do Rio dos Sinos - 2007 .....	45
Figura 3.6: Confronto Disponibilidade x Demanda no ano 2007.....	45
Figura 4.1: Topologia da Bacia do Rio dos Sinos.....	51
Figura 4.2: Esquema das Vazões ao Longo do Rio .....	52
Figura 4.3: Esquema da Tática Operacional para Distribuição de Vazões no Propaga Modificado.....	55
Figura 4.4: Etapas Desenvolvidas para Simular os Critérios de Tarifação.....	69
Figura 5.1: Vazões Efluentes na Foz do Rio dos Sinos (Pc-25) Exemplo de ano mais seco ...	81
Figura 5.2: Vazões Efluentes na Foz do Rio dos Sinos (Pc-25) Exemplo de ano mais úmido.	81
Figura 5.3: Sub-bacias contribuintes para cada Trecho do Rio do Sinos.....	83

## APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul sob orientação do Prof. Dr. Antônio Eduardo Leão Lanna.

Desejo agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pela bolsa de estudos concedida.

Ao Prof. Antônio Eduardo Leão Lanna pela orientação e oportunidade de participar no desenvolvimento do estudo *“Simulação de uma proposta de gerenciamento de recursos hídricos da bacia do rio dos Sinos”*.

Ao Prof. e amigo Carlos André Bulhões Mendes, pelo inestimável apoio e estímulo.

Ao Eng. Michel Darzé pelo incentivo e enorme senso de justiça e ao Eng. Carlos Roberto, pelo valioso apoio no momento de escolher este caminho.

A todos professores da Escola Politécnica da UFBA, em especial, Luiz Edmundo (Luizão), Ana Luisa e Sandro, pela dedicação ao ensino.

A grande família porto-alegrense Luís Abílio, Cristiane, Carlos Paixão, Sônia, Cajú, Mônica, Adriano, Gabriel, Alex e aos amigos do 3º andar da CEU, em especial, France, Welligton, Sueli pelo convívio e apoio em todos os momentos.

Aos amigos do IPH pelo companherismo, contribuições e sugestões prestadas durante a realização deste trabalho, em especial, Valmir Pedrosa, Josimar Oliveira, Márcia Ribeiro, Adolfo Vilanueva, Andrea Germano, Mário Mediondo, Fernando Genz e Walter.

Finalmente, um agradecimento especial a Silvana pelo apoio, carinho e dedicação com que me acompanhou durante todo o período deste curso.

## RESUMO

O crescimento populacional desordenado, além de provocar um aumento da demanda tanto no aspecto quantitativo quanto nos tipos de usos, aumenta os riscos de poluição. Como uma primeira consequência os custos de abastecimento dos grandes centros urbanos tendem a aumentar cada vez mais. Com a degradação da qualidade dos mananciais mais próximos, ou as companhias de abastecimento passam a utilizar sistemas de tratamentos cada vez mais complexos e, portanto, mais caro ou transfere suas captações para locais mais afastados, onerando, portanto o transporte.

O presente trabalho apresenta uma proposta de critério de outorga com diversos níveis de prioridades relativas, no qual os usos menos prioritários deverão ser cessados sempre que um de maior prioridade tiver falhas de suprimento. Este critério é baseado na fixação de uma quantidade de falhas de atendimento para cada nível de prioridade, diferentemente do critério mais comum que fixa uma vazão de referência, normalmente função da  $Q_{7,10}$ . Estas duas formas foram comparadas e demonstraram que o sistema proposto apresenta a vantagem econômica e social de permitir o uso mais intenso da água disponível, ao ampliar o valor total da água outorgada. Por outro lado, sua implementação requer um melhor aparelhamento do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Este trabalho utiliza a cobrança pelos usos da água como um problema de rateio de custo. Através de alguns critérios de equidade, são estabelecidos os montantes a ser<sup>em</sup> cobrados de cada usuário de forma que seja no total arrecadado o valor anual a ser investido. O valor que será investido está relacionado com uma proposta de tratamento para as fontes poluidoras denominada “solução técnica preconizada”.

Desenvolveu-se um sistema de apoio à decisão em planilhas eletrônica que tornou o sistema flexível para, por exemplo, testar as opções levantadas por ocasião de uma negociação a nível do Comitê de Bacia. De posse deste sistema de apoio à decisão foram realizadas um conjunto de 5 simulações variando-se o montante arrecadado e a utilização de várias formas de subsídios. Os resultados mostraram que das atividades econômicas, a mais vulnerável à cobrança é a irrigação. Os resultados mostraram também que, para a população rural pagar menos que a urbana, é necessário a aplicação de alguma forma de subsídio.

## ABSTRACT

The uncontrolled populational growth increase the water demand not only in a quantitative sense, but in the types of use and the pollution risks. As a first consequence, the supplying costs in great cities tends to increase. The degradation in quality of nearby sources will oblige companies to use increasinly complex and more expensive water treatment systems, or to transfer the water intakes to further area, increasing the transportation costs.

In this work, a proposal of supplying criteria with relative priority levels is presented, in which less priority uses will cease in case higher priority levels were failing. This criteria is based in setting the number of fails for every priority level, instead if using the well known criteria that fix a reference outflow rate, generally a function of  $Q_{7,10}$ . Both two criteria were compared and it is shown that the proposed system has economic and social advantages for allowing a more intense use of available water, since it increase the total water volume supplied. On the other hand, its implementation demands a more complex Water Resources Management system.

This work use water taxing as a problem of cost sharing. Using equitability criterias, the amount of water to be taxed to each consumer is fixed in such a way that the total income is equal to the annual investment. The value to be invested is related with a proposal of treatment for poluter sources.

A Decision Support System (DSS) was developed using spreadsheet, giving flexibility to them system for example to test options in a Basin Committee discussion. Using this DSS set a five simulations was perfomed varying the total income and the use of different forms of subsidies. From the analis of the results, the economic activity that most vulnerable to taxing is irrigation. The results of this work should that some form of subsidy is necessary to allow smaller taxes to rural population.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS .....	1
1.1 Introdução .....	1
1.2 Objetivos.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1 Generalidades.....	3
2.2 Economia do Bem-Estar.....	5
2.2.1 Imposto de Pigou.....	7
2.2.2 Negociações Coasiana.....	8
2.2.3 Normas Ambientais.....	12
2.2.4 Leilão de Permissão .....	13
2.2.5 Tributação vs. Normatização.....	16
2.3 Bases Conceituais para a Cobrança pelo Uso da Água.....	18
2.3.1 Os Quatro Usos da Água .....	18
2.3.2 Motivações Para a Cobrança.....	19
2.3.3 Referências Para a Cobrança.....	20
2.4. Exemplo Francês de Cobrança pelo Uso da Água.....	22
2.4.1 Cobrança pela Poluição.....	22
2.4.2 Cobrança pela Água Bruta .....	29
2.4.3 Análise da Sistemática Francesa de Cobrança.....	29
2.5 Estudos Sobre a Cobrança no Brasil.....	29
2.6 Outorga dos Direitos do Uso da Água.....	30
3. ÁREA DE ESTUDO .....	33
3.1 Descrição Geral.....	33
3.1.1 Características Hidroclimáticas.....	34
3.1.2 Características Físicas .....	37
3.1.3 Situação Sócio-Econômica.....	39
3.2 Dados Disponíveis.....	43
3.2.1 Aspectos Quantitativos .....	44
3.2.2 Aspectos Qualitativos .....	46

3.2.3 Solução Técnica Preconizada.....	47
4. METODOLOGIA.....	50
4.1 Análise de Critérios para Outorga dos Direitos de Uso da Água.....	50
4.1.1 SAGBAH.....	53
4.2 Critérios para Cobrança Pelo Uso da Água.....	58
4.2.1 Tarifação pela Captação de Água Bruta.....	58
4.2.2 Tarifação pelo Lançamento de Efluentes.....	59
4.2.3 Alocação Ótima dos Recursos.....	65
4.2.4 Sistema de Apoio à Decisão Desenvolvido na Planilha Eletrônica Excel.....	68
5. APLICAÇÃO E RESULTADOS.....	77
5.1 Análise de Critérios para Outorga dos Direitos de Uso da Água.....	77
5.2 Resultado da Análise de Critérios para Outorga dos Direitos de Uso da Água.....	78
5.3 Critérios para Cobrança Pelo Uso da Água.....	82
5.3.1 Tarifação pela Captação de Água Bruta.....	83
5.3.2 Resultado da Tarifação pela Captação de Água Bruta.....	85
5.3.3 Tarifação pelo Lançamento de Efluentes.....	86
5.3.4 Resultado da Tarifação pelo Lançamento de Efluentes.....	92
5.3.5 Análise dos Impactos Econômico-Financeiros.....	95
5.3.6 Alocação Ótima dos Recursos.....	101
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	105
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Coeficientes de Aglomeração .....	24
Quadro 2.2: Coeficientes de Zona .....	25
Quadro 2.3: Cálculo da Cobrança de Poluição Doméstica .....	25
Quadro 2.4: Quadro de Estimativa Fixa .....	27
Quadro 2.5 - Estimativa da Cobrança de Poluição Aplicável ao Cortume Hipotético na Bacia Sena-Normandia (50 ton/dia de produção no mês crítico) .....	28
Quadro 2.6: Preço da Água Bruta (US\$ /m <sup>3</sup> ) .....	30
Quadro 3.1: Precipitação Pluvial Mensal (mm) - 1931/1960.....	35
Quadro 3.2: Evapotranspiração Média Decendial (mm/10 dias) - 1957/1984.....	36
Quadro 3.3: Temperatura Média Mensal - 1931/1960.....	36
Quadro 3.4: Umidade Relativa do Ar (%) - 1931/1960 .....	37
Quadro 3.5: Municípios Componentes da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos .....	40
Quadro 3.6: Participação Relativa da População Total, Urbana e Rural da Área de Estudo no Total do Estado - RS 1980 e 1991.....	41
Quadro 3.7: Usos Atuais Totais Consuntivos (1995) .....	44
Quadro 3.8: Usos Futuros Totais Consuntivos (2007) .....	44
Quadro 3.9: Cargas Poluidoras Potenciais Totais Anuais em 2007 .....	47
Quadro 3.10: Custos de Investimento, Operação e Manutenção e Total Anual (US\$) .....	49
Quadro 4.1: Relatório de Atendimento às Demandas - Exemplo do Arquivo de Falhas .....	57
Quadro 4.2: Formulação do Problema de Tarifação .....	65
Quadro 4.3: Formulação do Problema de Alocação Ótima dos Recursos .....	68
Quadro 4.4: Entrada de Dados para a Planilha de Cálculo da Tarifa de Captação .....	70
Quadro 4.5: Resultado da Planilha de Cálculo da Tarifa de Captação.....	70
Quadro 4.6: Entrada de Dados para Utilização de Subsídio Direto.....	72
Quadro 4.7: Entrada de Dados para Utilização de Subsídio Cruzado .....	72
Quadro 4.8: Resultado dos Parâmetros $S_F(j)$ e $S_P(k)$ .....	73
Quadro 4.9: Preço Unitário por Fonte Poluidora e por Localização - Exemplo .....	74
Quadro 4.10: Preço Unitário por Tipo de Indústria e por Localização - Exemplo.....	74
Quadro 4.11: Resultado da Alocação Ótima dos Recursos - $K_{i,j}$ .....	75

Quadro 5.1: Vazões Outorgáveis para 90%, 80% e 70% de Garantia de Atendimento .....	79
Quadro 5.2: Coeficiente de Uso e Preço Unitário.....	84
Quadro 5.3: Volumes Anual Consumidos por cada Grupo de Usuário .....	85
Quadro 5.4: Total Anual Arrecadado Por Tipo de Usuário e por Região (Us\$).....	85
Quadro 5.5: Total Arrecadado por Tipo de Usuário.....	86
Quadro 5.6: Coeficiente de Inefetividade - $C_{in}(i,k)$ .....	87
Quadro 5.7: Coeficientes para Cálculos de Cargas Poluidoras Potenciais .....	88
Quadro 5.8: Coeficiente Relacionado à Sub-bacia - $C_{sb}(i,k)$ .....	89
Quadro 5.9: Simulação Realizadas.....	90
Quadro 5.10: Cargas Poluidoras Potenciais Totais por Fonte - 2007 (%).....	91
Quadro 5.11: Parâmetros do Modelo Tarifário - Resultado das Simulações .....	93
Quadro 5.12: Custo Unitário de Lançamento de Efluentes por Fonte Poluidora e Localização (para cada Simulação) .....	94
Quadro 5.13: Consumo per Capita dos Diversos Usos da Água .....	95
Quadro 5.14: Custo Unitário Total pelo Uso da Água (Custo da Captação de Água Bruta + Custo do Lançamento de Efluentes) .....	97
Quadro 5.15: Custos Operacionais por $m^3$ de Água Consumida .....	98
Quadro 5.16: Acréscimo Percentuais nos Custos Operacionais das Indústrias, se Implantada a Cobrança pelos Usos da Água (Captação de Água Bruta e Lançamento de Efluentes) .....	100
Quadro 5.17: Prioridades Regionais: Valores $\beta_K$ .....	103
Quadro 5.18: Resultados das Variáveis $K_{i,j}$ para um Investimento de Us\$ 5 000 000 .....	103
Quadro 5.19: Custo do Tratamento para cada uma das Regiões da Bacia do Rio dos Sinos	104

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Quantidade Ótima de Poluição .....	6
Figura 2.2: Solução Negociada do Problema de Poluição.....	9
Figura 2.3: Demanda dos Certificados de Poluição .....	14
Figura 2.4a: Licenciamento e Cobrança pela Poluição na Ótica Custo-Benefício .....	16
Figura 2.4b: Abatimento da Poluição: Tributação vs. Normatização.....	16
Figura 3.1: Localização da Bacia do Rio dos Sinos.....	33
Figura 3.2: Histograma de Precipitação Média Mensal.....	35
Figura 3.3: Histograma de Evapotranspiração Média Mensal .....	36
Figura 3.4: Geologia da Bacia do Rio dos Sinos .....	39
Figura 3.5: Usos dos Recursos Hídricos na Bacia do Rio dos Sinos - 2007 .....	45
Figura 3.6: Confronto Disponibilidade x Demanda no ano 2007.....	45
Figura 4.1: Topologia da Bacia do Rio dos Sinos.....	51
Figura 4.2: Esquema das Vazões ao Longo do Rio .....	52
Figura 4.3: Esquema da Tática Operacional para Distribuição de Vazões no Propaga Modificado.....	55
Figura 4.4: Etapas Desenvolvidas para Simular os Critérios de Tarifação.....	69
Figura 5.1: Vazões Efluentes na Foz do Rio dos Sinos (Pc-25) Exemplo de ano mais seco ...	81
Figura 5.2: Vazões Efluentes na Foz do Rio dos Sinos (Pc-25) Exemplo de ano mais úmido.	81
Figura 5.3: Sub-bacias contribuintes para cada Trecho do Rio do Sinos .....	83

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>CEEE</b>	Companhia Estadual de Energia Elétrica
<b>CEPAL</b>	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
<b>CNPq</b>	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
<b>CORSAN</b>	Companhia Riograndense de Saneamento
<b>EIA's</b>	Estudos de Impactos Ambientais
<b>FEE</b>	Fundação de Economia e Estatística do Rio Grande do Sul
<b>FEPAM</b>	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
<b>IPAGRO</b>	Instituto de Pesquisas Agronômicas do Governo do Estado do Rio Grande do Sul
<b>IPH</b>	Instituto de Pesquisas Hidráulicas
<b>MODHAC</b>	Modelo Hidrológico Auto-calibrável
<b>NEPA</b>	National Environmental Protection Act
<b>RIMA's</b>	Relatórios de Impactos Ambientais
<b>SAGBAH</b>	Sistema de Apoio ao Gerenciamento de Bacia Hidrográfica
<b>SEMAE</b>	Serviço Municipal de Água e Esgoto de São Leopoldo
<b>SSMA</b>	Secretaria de Saúde e Meio Ambiente do Rio Grande do Sul
<b>UFRGS</b>	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
<b>TVA</b>	Tennessee Valley Authority

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Carga (i,j,k)</b>	carga do parâmetro k, produzida pela fonte de poluição j, localizada na sub-bacia i
<b>Carga*(i,k)</b>	carga do parâmetro k a ser atingida na sub-bacia i
<b>Carga'(i,k)</b>	carga média do parâmetro k observada na seção de monitoramento da sub-bacia i
<b>Carga(i,k)</b>	carga total de lançamento do parâmetro k na sub-bacia i estimada indiretamente usando dados da literatura
<b>CMgS</b>	custo marginal social
<b>CMgP</b>	custo marginal privado
<b>CMg</b>	custo marginal da externalidade (poluição)
<b>C<sub>in</sub>(i,k)</b>	coeficiente de inefetividade do parâmetro k na sub-bacia i
<b>C<sub>sb</sub>(i,k)</b>	coeficiente relacionado à sub-bacia i onde são realizados os lançamentos
<b>C<sub>T</sub></b>	custo total anual a ser arrecadado para adoção da solução técnica preconizada
<b>C<sub>R</sub></b>	custo total anual a ser arrecadado para adoção de outra solução qualquer
<b>C(j)</b>	custo do tratamento da fonte j na solução técnica preconizada, descontada a parcela de subsídio direto ou cruzado, se houver
<b>C(i,j)</b>	custo anual (investimento + O&M) do tratamento da fonte poluidora j, situada na sub-bacia i.
<b>C<sub>lnMédio</sub>(k)</b>	coeficiente de inefetividade médio relacionado ao parâmetro k
<b>CRT<sub>k</sub></b>	carga remanescente total do parâmetro k
<b>CT<sub>k</sub></b>	carga total do parâmetro k
<b>E</b>	fração que a “economia global” representa do custo total
<b>K<sub>i</sub></b>	coeficiente para considerar o local onde a água é captada
<b>K<sub>U</sub></b>	coeficiente para considerar o tipo de uso
<b>K<sub>EST</sub></b>	coeficiente para considerar a estação do ano
<b>K<sub>ij</sub></b>	variável inteira do tipo 1,0 que indica se a fonte j, situada na sub-bacia i, será ou não tratada

$P_k$	proporção entre o preço unitário básico do parâmetro $k$ e o quão distante este se encontra da situação desejada
$pc$	ponto característico utilizado para representar a topologia da bacia
$Q_{i,U}$	volume captado no trecho $i$ , para o uso $U$ , ( $m^3$ )
$Q_{7,10}$	vazão mínima média, com 7 dias consecutivos de duração e tempo de retorno de 10 anos
$T$	o imposto de Pigou
$\alpha_{k,j}$	eficiência de remoção para o parâmetro $k$ , da fonte $j$ , usando o tratamento indicado
$\beta_k$	fator de ponderação para o parâmetro $k$
$S_{i,U}$	valor que será cobrado do usuário $U$ , que retira a água no trecho $i$ ,
$S$	preço da água ( $US\$/m^3$ )
$SF(i,j)$	valor da cobrança anual a ser realizado da fonte de poluição $j$ localizada na sub-bacia $i$ ;
$S_F(j)$	componente do preço unitário básico relacionado à fonte de emissão $j$
$S_P(k)$	componente do preço unitário básico relacionado ao parâmetro $k$

## Capítulo 1

# **Introdução e Objetivos**

---

# **1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS:**

## **1.1 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 considere 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 ao recurso água, e as recomendações apontam para 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.

O gerenciamento dos recursos hídricos impõe dois níveis centrais de problemas: por um lado, tem-se a gestão da oferta d'água, que consiste em ações que vislumbram a maior disponibilidade do recurso água, tanto em qualidade quanto em quantidade; e por outro, as atividades relacionadas à gestão da demanda, onde se procura racionalizar e disciplinar o uso, visto que esse é um recurso cada vez mais escasso.

O operacionalização destes dois enfoques 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, ou externamente, no caso de financiamentos estaduais e federais, ou de empréstimos internacionais.

## **1.2 Objetivos:**

O primeiro objetivo deste trabalho é testar um critério de outorga dos direitos dos usos da água que busque a utilização da vazão excedente através do estabelecimento de diversos níveis de prioridades relativas, no qual os usos menos prioritários deverão ser cessados sempre que um de maior prioridade tiver falhas de suprimento.

O segundo objetivo é utilizar a cobrança pelos usos da água como um problema de rateio de custo. Para isso é necessário desenvolver um modelo tarifário que, a partir de alguns critérios de equidade, estabeleça os montantes que serão pagos por cada usuário de forma que seja no total arrecadado o valor anual que se deseja investir na bacia. Este valor que se deseja investir na bacia está relacionado com os custos de tratamentos das fontes poluidoras.

O terceiro objetivo é desenvolver um sistema de apoio à decisão utilizando planilha eletrônica que permita aos usuários, de forma rápida, testar as opções levantadas por ocasião de uma negociação, por exemplo, a nível de Comitê de Bacia.

## **Capítulo 2**

# **Revisão Bibliográfica**

---

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:

### 2.1 Generalidades:

Já no fim do século XIX e início do XX, os EUA começaram a experimentar problemas ambientais, especialmente os relacionados com os usos múltiplos da água. As primeiras tentativas de resolver tais conflitos deram-se vias tribunais com o desenvolvimento de duas doutrinas jurídicas: os direitos ribeirinhos, baseados na máxima de que “a liberdade de cada um acaba onde começa a do vizinho” e os direitos de apropriação, baseados na máxima de que “quem chega primeiro tem prioridade”. No entanto, a excessiva demora dos pleitos judiciais e o caráter pontual das decisões precisou de apenas duas ou três décadas para evidenciar a insuficiência e até ineficácia deste sistema.

Nas décadas de 30 e 40 acontece a primeira tentativa de tratamento sistêmico, vide o exemplo do *Tennessee Authority Valley* (TVA), também nos EUA. As críticas a esta alternativa se dirigem ao fato de dedicar quase exclusiva atenção aos aspectos quantitativos e do fomento ao crescimento econômico (LANNA, 1993).

A década de 50 assiste a explosão de crescimento dos países desenvolvidos e com isto a questão da poluição dos recursos hídricos se agrava tremendamente e a ela se soma o problema da crescente poluição do ar. Diante disso, os EUA ingressam na chamada Política de regulamentação ou de mandato e controle (*command and control policy*). Esta política, calcada exclusivamente nos “padrões de emissão”, procura impor limitações às emissões dos agentes econômicos via coeficiente de emissão (micrograma de poluente por kg de produto, por exemplo), bem como determinar para esses agentes qual a tecnologia de abatimento que devem usar para atingir os padrões. A política de regulamentação, embora mais eficaz do que a disputa em tribunais, também tem apresentado problemas de ineficiência (CÁNEPA, 1995). Esta política, dado sua ampla utilização, será apresentada com mais detalhes no desenvolvimento deste trabalho.

No final dos anos 60 e início da década de 70, a questão ambiental e a mobilização ambientalista têm grande destaque. Em 1969 nos EUA, o congresso norte-americano aprova National Environmental Protection Act (NEPA). Segundo CÁNEPA (1995), esta lei é um

verdadeiro marco na história da gestão ambiental pelo Estado, não tanto pelo que é mais conhecida (instituição dos Estudos de Impactos Ambientais - EIAs e respectivos Relatórios de Impactos Ambientais - RIMAs como instrumentos orientadores na tomada de decisão e gestão ambiental), mas, sim pelo estabelecimento do Conselho da Qualidade Ambiental, órgão diretamente ligado ao poder Executivo e encarregado de elaborar anualmente, para o Presidente dos EUA, o relatório a ser enviado ao congresso sobre o estado do meio ambiente em todo território nacional, especialmente as grandes áreas metropolitanas.

Em 1964 a França aprova sua lei referente à propriedade, repartição e luta contra poluição (BURSZTYN e OLIVEIRA, 1982). Atualmente esta lei é saudada por especialistas internacionais em recursos hídricos e economistas ambientais como um dos instrumentos mais abrangentes e eficientes em matérias de gerenciamento de recursos hídricos (MAGNA, 1996a).

Os instrumentos regulatórios se revelaram insuficientes para sustar a degradação crescente da natureza. Por esta razão, em vários países surgiu a necessidade de complementar o enfoque normativo com o emprego de instrumentos econômicos (Tarquínio, 1994). Em 1972, a OCDE, (Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico), adotou o princípio *poluidor-pagador* como base para o estabelecimento de políticas ambientais nos países membros. Este princípio é a base para o enfoque econômico da política ambiental (BURSZTYN e OLIVEIRA, 1982).

A discussão em torno da prevenção contra a degradação ambiental, em que a água comparece através de dois níveis de abordagem, o qualitativo e quantitativo, se divide essencialmente, em duas correntes:

- o dos chamados ecodesenvolvimentistas - consideram a poluição como um subproduto do padrão de desenvolvimento vigente;
- os seguidores de Pigou - enquadram o problema da contaminação do meio ambiente como decorrência de uma falha dos mecanismos de ajuste do mercado.

A corrente de pensamento dos chamados ecodesenvolvimentistas, de inspiração cepalina e de organismos internacionais ligados às Nações Unidas, procura analisar a questão da poluição como produto do padrão de desenvolvimento adotado. Nota-se, portanto, uma

divergência entre as duas escolas, pois os ecodesenvolvimentistas consideram que os problemas ambientais não se resumem à questão da poluição, não podendo, daí, ser resolvidos apenas via mercados. Eles são antes, problemas que remetem o tratamento ao campo do planejamento econômico. Esta corrente sugere a ação sobre três pontos que ensejam a harmonização entre objetivos econômicos, sociais e ambientais:

- a estrutura de consumo e produção;
- a distribuição espacial das atividades produtivas;
- a gestão propriamente dita do meio ambiente.

A corrente dos seguidores de Pigou, também conhecida como economia do bem-estar, considera a degradação ambiental como um caso particular do “fracasso do mercado”. Isto significa que o “ambiente” tende a não ser usado de forma ótima (PEARCE, 1985).

Segundo GARRIDO (1996), a maioria dos economistas, incluídos os brasileiros, segue a linha de pensamento de Pigou, em razão de, não apenas ser a mais antiga, mas principalmente pelo fato de não questionar o paradigma neoclássico das forças de mercado como ferramenta essencial para resolver o problema da degradação ambiental.

## **2.2 Economia do Bem-Estar**

Esta corrente entende que os danos causados se devem aos custos não considerados no processo produtivo. Se uma indústria utiliza insumos que são comprados de terceiros, deve pagar para tê-los, o que não ocorre com alguns recursos naturais como o ar e a água. Ao utilizá-los, direta ou indiretamente, a indústria não paga, mas gera danos aos recursos e à sociedade, pois um rio que recebe despejos industriais pode não ter mais condições próprias para o lazer, o abastecimento, etc. Há o uso e o correspondente custo social não incorrido pelo usuário. Esta situação é denominada externalidade ou deseconomia.

PEARCE e TURNER (1990), assinalam que duas condições devem ser satisfeitas para que exista externalidade:

- 1 - a atividade de um agente causa perda de bem-estar a outros;
- 2 - esta perda de bem-estar não é compensada.

O enfoque econômico dos problemas ambientais considera a poluição como um custo externo e busca identificar o nível dos custos que será um ótimo de Pareto. Invariavelmente, este nível não será zero, de modo que se justifica alguma quantidade de poluição. A figura 2.1 apresenta a essência do enfoque de custo-benefício.

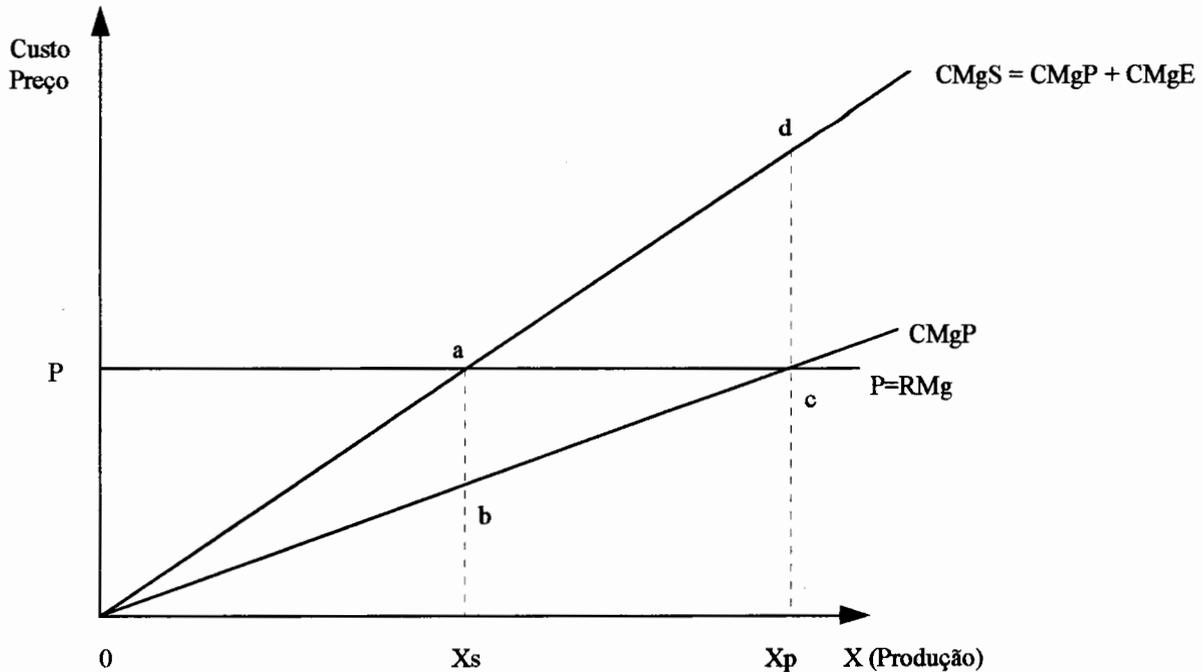


Figura 2.1: Quantidade Ótima de Poluição

Fonte: PEARCE (1985)

A curva CMgP representa os custos marginais privados que difere dos custos marginais sociais (CMgS) por uma quantidade igual aos custos marginais externos (CMgE), ou seja, os custos marginais da poluição.

Os benefícios privados são maximizados no nível de produção onde o preço do produto é igual ao custo marginal privado ( $P = CMgP$ ). Na figura 2.1 este nível de produção está representado pelo ponto  $X_p$ , entretanto, este nível impõe custos externos (de poluição) igual a área ocd. O ótimo social se encontra em  $X_s$ , onde o preço do produto,  $P$ , é igual a CMgS. Ao passar do nível de produção do ótimo privado para o ótimo social, os custos externos sofrem uma redução igual a área abcd, ficando com valor igual a área oab, que é a quantidade ótima

de poluição. A questão é como induzir os poluidores a passarem do nível de produção  $X_p$  para o nível  $X_s$ ?

### 2.2.1 Imposto de Pigou

Se chama Pigou em homenagem ao economista Arthur Cecil Pigou, cuja obra *The Economic of Welfare* tornou-se um marco no desenvolvimento da economia do bem-estar (PEARCE, 1985).

Consiste em aplicar um imposto igual aos custos marginais da contaminação ao nível ótimo de produção. O poluidor assumirá o custo externo de sua poluição na forma de um imposto, que obviamente tratará como custo privado. Diz-se então que o custo externo foi “internalizado”. A nova curva de custo marginal privado da empresa é:

$$CMgS = CMgP + CMgE = CMgP + T \quad (\text{Eq. 2.1})$$

sendo:

CMgS - custo marginal social;

CMgP - custo marginal privado;

CMgE - custo marginal da externalidade (poluição);

T - o imposto de Pigou.

Segundo PEARCE (1985), são numerosas as críticas a solução Pigoviana. A maioria delas se referem ao fato do imposto de Pigou ser aplicado numa situação que não atende o critério de Pareto<sup>1</sup>, independentemente da externalidade. Isto acontece no contexto de concorrência imperfeita e destaca-se especialmente duas imperfeições:

- a diferença do ótimo social causado pelo poder do monopólio;
- a diferença do ótimo social causado pela externalidade.

---

<sup>1</sup> O economista Vilfredo Pareto especificou uma condição para alocação ótima ou eficiente de recurso. Quando a condição é satisfeita é impossível que numa troca posterior um indivíduo ganhe sem que outro tenha uma perda (MILLER, 1981).

Outra situação de falha acontece quando o imposto de Pigou induz a empresa substituir sua tecnologia de produção por uma menos poluente. Se a empresa maximiza seus benefícios pode-se supor que sua tecnologia antes do imposto é a que tem menor custo privado. Conseqüentemente, a mudança para uma tecnologia mais limpa deve deslocar a curva de custo marginal privado (CMgP) para cima, ao mesmo tempo, a tecnologia mais limpa deverá deslocar a curva de custo marginal externo (CMgE) para baixo. Estes deslocamentos implica numa movimentação na direção errada, quando se compara o ótimo social antigo (antes do imposto) com o novo. Finalmente, uma vez estabelecidas as condições em que as empresas substituirão suas tecnologias, tais condições determinam um imposto pigoviano que afasta do ótimo social, ao invés de induzir os poluidores para o nível ótimo de poluição.

Em todos os casos de falhas apontados, deve-se corrigir primeiro a imperfeição causada pelo poder do monopólio e o imposto funcionará corretamente (PEARCE, 1985).

### *2.2.2 Negociações Coasiana*

A solução de Pigou requer claramente a intervenção de alguma autoridade governamental no mercado para avaliar e administrar o imposto. Os defensores das virtudes do mercado livre tendem a argumentar da seguinte forma: primeiro, se a poluição é um custo externo, nada deveria impedir que quem sofre os efeitos negociem diretamente com quem causa a poluição para reduzi-la. Desta forma poderiam chegar a um “acordo” sobre a poluição exatamente como ocorre com a venda de bens. Segundo, é evidente que um poluidor interessado em maximizar seu benefício privado não oferecerá voluntariamente nenhuma compensação a quem sofre os efeitos da poluição, mas este pode oferecer um “suborno” ao poluidor para que reduza sua poluição.

PEARCE (1985), assinala que a idéia de que quem sofre os efeitos da poluição “inocentemente” devam subornar ou subsidiar o poluidor para que se abstenha de poluir parece claramente irritante à primeira vista. Porém, o mesmo autor descreve a poluição como sendo um subproduto de uma atividade legítima: a produção de bens para o consumidor. Assim sustenta que não há nada de intrinsecamente “má” na idéia do poluidor ser subornado pelos que sofrem as conseqüências da poluição. Se o poluidor tivesse direitos de propriedade,

poderia sustentar que tem o direito prévio de usar o ambiente na forma que quiser e quem sofre com a poluição lhe está impondo um custo externo ao obrigá-los a instalar equipamentos anti-poluição. Do outro lado, quem sofre as consequências da poluição pode sustentar que tem o direito a desfrutar de paz, tranquilidade, de um ambiente livre de poluição, instalando assim um contencioso em quem tem o direito e sobre o que.

Segundo PEARCE e TURNER (1990), a idéia básica sobre soluções negociadas foi proposta inicialmente por Ronald Coase (1960). A figura 2.2 ilustra esta idéia no contexto de concorrência perfeita.

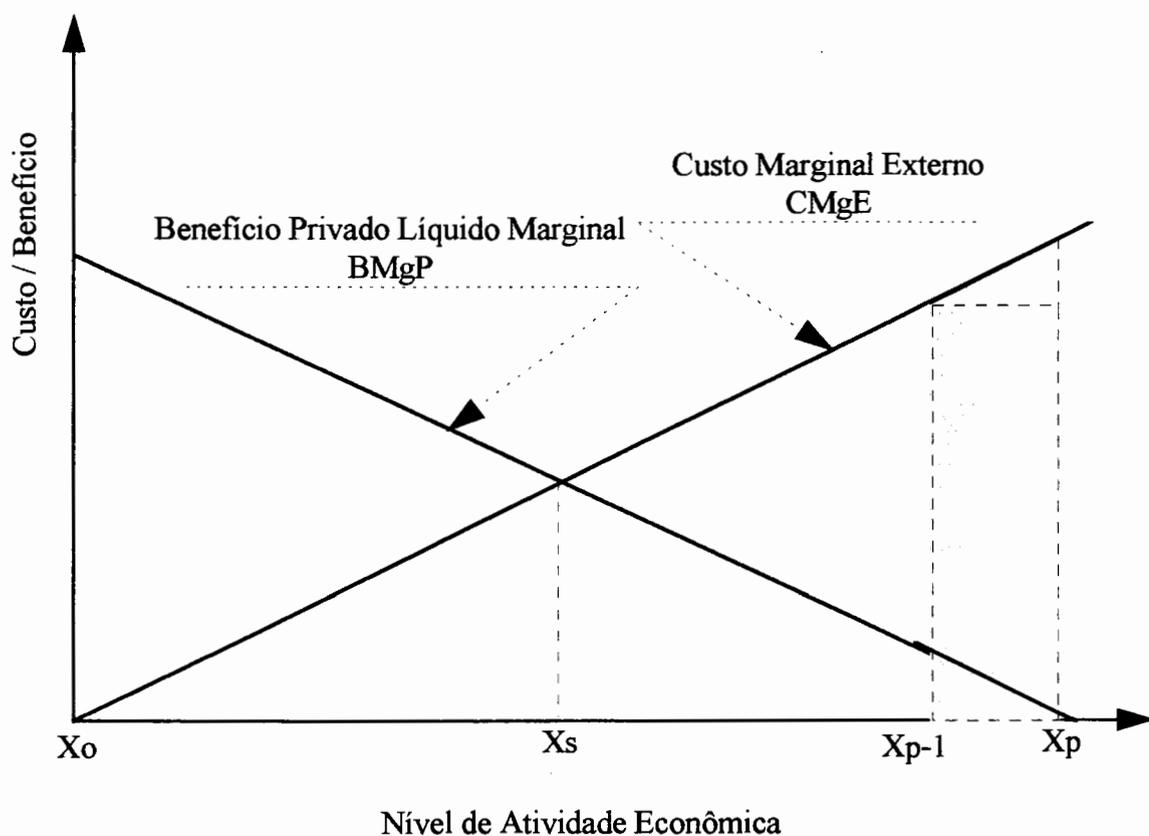


Figura 2.2: Solução Negociada do Problema de Poluição

Fonte: PEARCE, TURNER e BATEMAN (1994).

A empresa aceitará qualquer suborno maior que seu benefício marginal privado líquido (BMgP) pela redução unitária da produção; quem sofre as consequências da poluição está disposto, teoricamente, a pagar qualquer suborno unitário menor que o sofrimento que de outro modo teria que suportar, igual ao custo externo marginal (CMgE).

Na situação onde os direitos de propriedade pertencem aos poluidores o ponto de partida da análise é o nível de produção  $X_p$ , onde a empresa maximiza seus benefícios privados. Partindo-se deste ponto, quem sofre os efeitos da poluição estará disposto a pagar certa quantidade até chegar ao máximo indicado pela área hachuriada para obter a redução de uma unidade da produção da empresa, do nível  $X_p$  para  $X_{p-1}$ . Repete-se a mesma análise a novas reduções da produção até que se chegue ao ponto  $X_s$ . Neste nível de produção, quem sofre com a poluição não pode subornar o poluidor para reduzir sua poluição: suas perdas marginais são menores que os ganhos marginais cuja renúncia está pedindo ao poluidor. Em consequência,  $X_s$  é um resultado de equilíbrio natural do processo de negociação e, por suposição, é também um ótimo social em termos de Pareto.

Na situação onde os direitos de propriedade pertencem aos que sofrem as consequências da poluição o ponto de partida será a origem. Neste caso para que a empresa produza qualquer nível deverá oferecer uma compensação a quem sofre a poluição. Inicialmente seus ganhos marginais derivados da expansão da produção superam as perdas marginais dos que sofrem os efeitos da poluição até o nível de produção  $X_s$ , porém não mais.

O processo de negociação parece funcionar tanto na situação onde os direitos de propriedade pertencem aos poluidores quanto quando pertencem aos que sofrem as consequências da poluição. Por esta ótica, o “mercado” resolverá os problemas de poluição desde que reúna as partes envolvidas. Tal solução parece demonstrar a conveniência do sistema de mercado competitivo, o que talvez explique a atração que exerce sobre muitos economistas e, principalmente, os neo-liberais.

Entretanto, a solução de negociação, quando confrontada com a realidade apresenta muitos problemas.

No contexto de concorrência imperfeita, o resultado da negociação equivale a combinação de produção e preços que se obtém ao se igualar “ingresso marginal” e custo marginal social. Porém, este é o resultado da aplicação de um imposto pigoviano a uma situação onde as empresas maximizam seus benefícios privados, não atendendo a condição de Pareto e, portanto, a solução de negociação também é ineficiente.

TURNER, PEARCE e BATEMAN (1994), comentam sobre a dificuldade de se definir a situação entre poluidores e os que sofrem as conseqüências desta poluição. Por exemplo, como os moradores de uma cidade poderiam negociar com suas numerosas fontes de poluição aérea? Como identificar as responsabilidades de cada poluidor? Como se reuniriam para realizar as negociações? Pode-se resumir estes problemas afirmando que a negociação terá seguramente alguns custos de transação importantes quando a poluição for considerável.

Quando se busca o ótimo de Pareto, a existência de custo de transação não significa necessariamente que o governo deva intervir. Só se justifica a intervenção governamental se os custos administrativos forem menores que os ganhos de bem-estar que pode se obter. Dessa forma, a negociação só se justifica se os custos de transação são menores que os ganhos obteníveis. As equações 2.2, 2.3 e 2.4 resumem estas condições.

Se  $T < W$ , ocorre a negociação; (Eq. 2.2)

Se  $T > W$ , não ocorre a negociação; (Eq. 2.3)

Se  $G < T$  e  $G < W$ , justifica a intervenção governamental. (Eq. 2.4)

onde:

T - custo de transação;

W - ganhos obteníveis;

G - custo administrativos por parte governamental.

Analisando as alternativas acima, percebe-se a possibilidade de que T e G sejam maiores que W. Neste caso, a menos que outra política tenha custo menor que G ou T e possa obter ganho de bem-estar maior que W, a externalidade tenderá a permanecer sem correção. No lugar da existência de custos de transação e de administração justifica uma intervenção mínima ou nula o que será um bom argumento em favor da intervenção governamental mediante emprego de normas ambientais (PEARCE, 1985).

LANNA (1996) conclui que a negociação Coasiana é de interesse teórico sem que traga maiores contribuições práticas ao controle da poluição ambiental ou dos recursos hídricos.

### 2.2.3 Normas Ambientais

Na prática, a maior parte das políticas ambientais são implantadas mediante o estabelecimento de normas. Estas normas podem se expressar em termos da qualidade do ambiente receptor (por exemplo, um corpo hídrico deve manter-se em certo nível de oxigênio dissolvido), ou em termos da qualidade do efluente lançado no ambiente. A maior parte da literatura econômica ambiental tende a sustentar que as normas constituem uma forma pouco eficiente da execução da política ambiental. Esta posição baseia-se fundamentalmente em duas razões: primeiro, as normas tendem a basear-se em fatores que não se relacionam com nenhuma avaliação objetiva dos benefícios e dos custos; segundo, ainda que se acerte uma norma sua execução tende a requerer sanções legais que não constituem a forma mais barata de assegurar sua observação (PEARCE, 1985).

A fonte de muitas normas tende a residir em algum acordo implícito entre as partes afetadas em relação ao que seria “aceitável” ou “razoável”. Desta forma, uma norma pode tornar-se mais rigorosa se há uma proposta pública acerca de algum aspecto da poluição, ou pode flexibilizar-se se os poluidores afirmam que sua implantação resulta “demasiadamente onerosa”. Dado que tais normas tendem a ser determinadas em termos políticos, é provável que os critérios sanitários fixem a qualidade mínima desejada, e entretanto, na negociação os grupos de pressão determinem o nível da norma acima deste mínimo.

Os economistas criticam o caráter pouco científico de tal processo, que não relaciona as normas com os benefícios e os custos. Por outro lado não se conhece com precisão os custos de controle de contaminação e que os benefícios são muitos incertos, no que toca à sua mensurabilidade. Em muitos casos nem sequer se conhece os efeitos da poluição, por exemplo, não se conhece muito sobre os efeitos dos ruídos excessivos sobre a saúde, os efeitos da contaminação aérea; tampouco sabe-se com precisão como viajam os metais tóxicos pelo ecossistema.

O imposto fixado sobre a poluição é, na realidade, um instrumento para fazer cumprir uma norma particular, idealmente a norma que maximiza os benefícios sociais. Em relação ao confronto regulamentação e tributação, PEARCE (1985) assinala que o estabelecimento de normas acontece inevitavelmente em função do conhecimento limitado dos dados pertinentes

para a implantação de impostos “pigovianos” completos e das dúvidas expressas sobre a eficiência de tais impostos.

#### **2.2.4 Leilão de Permissão**

DALES (1968) apud PEARCE (1985), sugeriu que muitos dos problemas na execução das normas ambientais podem ser superados se for criado um organismo oficial para venda de “direitos de poluição”, ou de certificados de uso do ambiente. Segundo LANNA (1996), este sistema opera em dois níveis. No primeiro o poder público, representado pelo órgão responsável pelo licenciamento de atividades potencial ou efetivamente poluidoras, avalia a carga de poluentes que dado corpo natural comporta, baseado na sua capacidade de assimilação ou nos níveis de poluição aceitáveis. Como decorrência emitiria títulos que permitiriam o lançamento de certa carga de poluição no corpo natural. A soma das “permissões de poluir” constantes em cada título atingiria exatamente a carga de poluição previamente estabelecida como suportável para o corpo natural. A rigor, não interessaria o preço original de cada título - eles poderiam ser, inclusive, distribuídos gratuitamente entre aqueles agentes que tenham seus lançamentos previamente licenciados

No segundo nível os agentes detentores dos títulos deveriam compatibilizar suas emissões com os títulos de permissões disponíveis, seja pelo controle das primeiras ou pela aquisição dos últimos. Desta forma é criado um mercado de permissões de poluir, já que os detentores dos títulos podem negociá-los livremente.

Segundo PEARCE (1985), a essência deste enfoque é que os certificados têm um preço no mercado porque os poluidores têm que usar destes certificados em primeiro lugar e também estarão facultados para comprá-los ou vendê-los entre os próprios poluidores, talvez com a intervenção do organismo oficial como intermediário em tais intercâmbios (isto fará que a autoridade saiba quem possui os certificados). Segundo este mesmo autor, a demanda de tais certificados é representada conforme a figura 2.3.

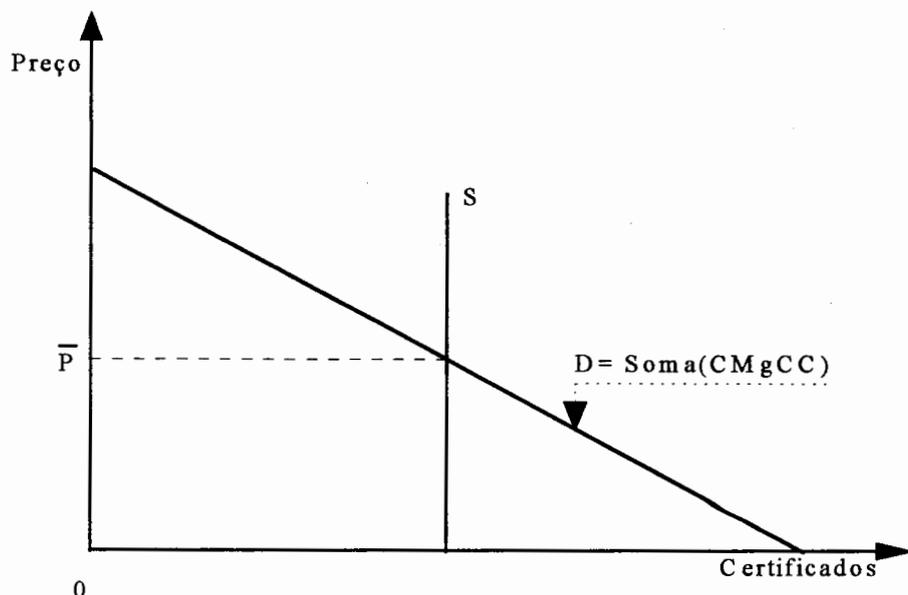


Figura 2.3: Demanda dos Certificados de Poluição

Fonte: PEARCE (1985)

Esta curva de demanda será a soma das curvas de custo marginal de controle da poluição de todos os poluidores. Ela representa quanto as empresas deixam de aumentar seus custos de produção por unidade adicional de certificados de poluição possuídos. Se o preço resultante para os certificados supera os custos de controle, é conveniente para o poluidor instalar equipamentos de abatimento e comprar menos certificados. Caso contrário, será mais interessante não instalar os equipamentos e pagar mais pela compra dos certificados. O preço dos certificados será determinado inicialmente por esta curva de demanda agregada e pela curva de oferta que será fixa e totalmente inelástica porque estará determinada em função do número de certificados expedidos segundo a norma de qualidade inicial do organismo.

Segundo LANNA (1996), o efeito do mercado de direitos de poluir seria, em teoria, realocar estes direitos entre as atividades econômicas mais eficientes, sem que ocorra aumento de poluição. O poder público teria o papel de monitorar os agentes verificando se os lançamentos de poluição tem como contrapartida a posse dos títulos que atribuem tais direitos. Poderia ser igualmente modificado o nível de poluição aceitável para o corpo natural. Caso o poder público avalie que ele deva ser maior ou menor que o inicialmente estabelecido ele teria que simplesmente emitir mais títulos, negociando-os no mercado, ou adquirir títulos, retirando-os do mercado, respectivamente. Esta última alternativa poderia ser adotada também por organizações não-governamentais que tenham como objetivo “comprar” uma melhor qualidade

ambiental. A primeira alternativa também poderia ser adotada pelo poder público sempre que notar que algum agente compra títulos com objetivo puro e simples de impedir a concorrência e monopolizar o mercado de seu produto.

Esta alternativa oferece ao poder público instrumentos adequados de controle ambiental em paralelo com estímulos aos agentes para uso mais eficiente, sob a ótica econômica privada, da capacidade de assimilação de poluentes do corpo natural. Este uso mais eficiente poderia ser alcançado via mercado, seja pela seleção dos agentes mais eficientes em termos da produção econômica, seja pela seleção dos agentes mais aptos na adoção de técnicas mais eficientes de controle ambiental (LANNA, 1996).

Esta alternativa não está isenta de críticas. LAMBELET (1972) apud PEARCE (1985), demonstrou que se algum poluidor pode influir sobre os preços dos certificados, o preço não se relacionará com os custos marginais de controle de poluição da forma adequada. Ocorre a mesma situação se este mercado enfrenta um único poluidor (monopólio). Isto sugere, em parte, que o organismo controlador deve abranger uma área extensa para que o preço global dos certificados fique governado pela demanda e pela oferta agregadas e não por ações de indivíduos fixadores de preços.

Existem experiências na adoção desta política nos EUA, no controle da poluição do ar (The Clean Air Act - 1970), comentado por PEARCE e TURNER (1990), e na extração de ostras. Na Nova Zelândia e Austrália existe esta experiência no controle de pesca. Os resultados no controle da poluição atmosféricas originadas em emissões industriais nos EUA ainda não foram os esperados já que a maioria das transações ocorreram no âmbito dos conglomerados industriais, ou seja, pelo rearranjo das emissões entre as diversas unidades produtoras de uma mesma empresa industrial, detentora de uma certa quantidade de títulos, e não entre grupos industriais distintos. Segundo LANNA (1996), a causa é, possivelmente, os altos custos de aquisição de informação sobre a disposição de negociação de outras indústrias, o que envolveria a liberação de segredos industriais.

Segundo CEPAL (1995), este tema na América do Sul ainda é incipiente. Entretanto, no Chile já se permite a transferência de direitos de águas, o que poderia ser um passo inicial para a adoção de um mercado propriamente.

## 2.2.5 Tributação vs. Normatização

Dentre os instrumentos estudados as normas ambientais são as mais utilizadas. Porém, existe um debate sobre as vantagens e desvantagens desta sobre a tributação. TURNER, PEARCE e BATEMAN (1994) abordam esta questão como é a seguir ilustrado pela figura 2.4.

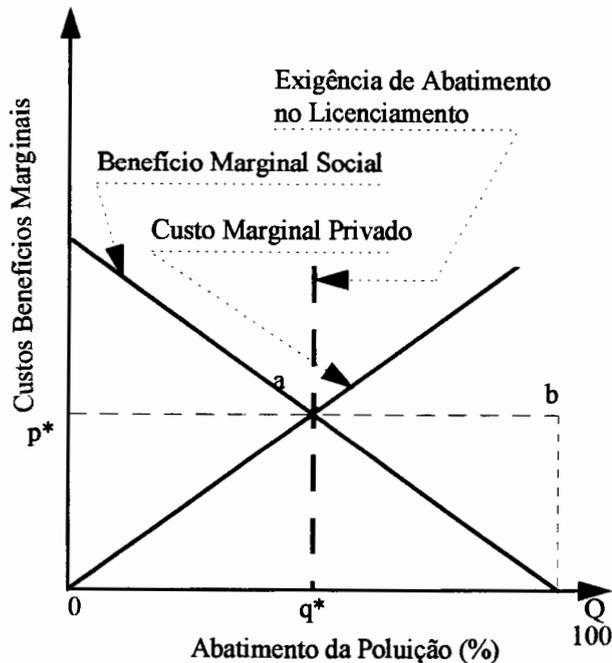


Figura 2.4a: Licenciamento e Cobrança pela Poluição na Ótica Custo-Benefício

Fonte: TURNER, PEARCE e BATEMAN (1994)

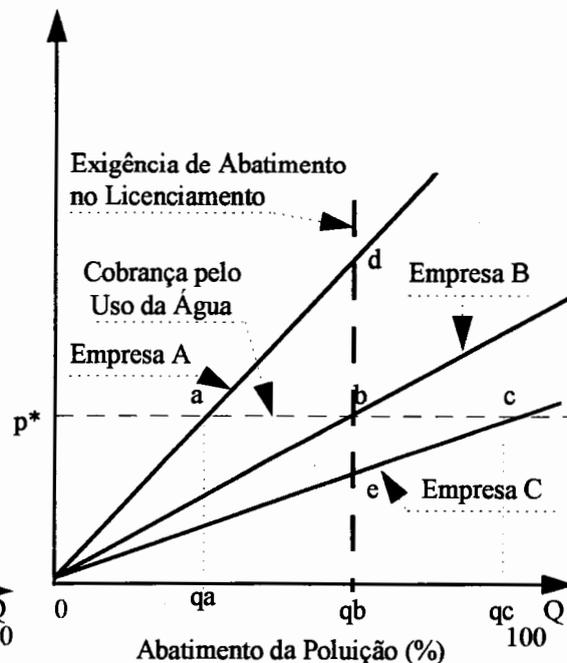


Figura 2.4b: Abatimento da Poluição: Tributação vs. Normatização

A figura 2.4a mostra que sob o ponto de vista do empreendedor o licenciamento (normatização) exigiria que ele tratasse o mesmo que na cobrança (tributação); a diferença, sob seu ponto de vista, seria de que ele estaria pagando pelo tratamento até  $q^*$  % de abatimento e pagaria, na cobrança, de forma adicional, pelos lançamentos remanescentes após o tratamento. O primeiro montante é representado pela área do triângulo O- a- $q^*$ . O segundo montante pela área do retângulo  $q^*$ -a-b-Q.

Sob o ponto de vista da sociedade, na situação de licenciamento e na situação de cobrança haveria o mesmo comprometimento da capacidade de assimilação de resíduos do corpo de água. Porém, no caso de cobrança, haveria a geração de uma receita igual a  $p^*(100-$

q\*). A capacidade de assimilação do ambiente é um patrimônio da sociedade e, sendo um recurso escasso, possui um valor econômico o que justifica a cobrança pelo seu uso. Os recursos arrecadados poderiam ser investidos no monitoramento e policiamento, e em obras de recuperação ambiental (LANNA, 1996).

TURNER, PEARCE e BATEMAN (1994) apresentam ainda outro argumento para justificar a superioridade da tributação sobre a normatização. Na figura 2.4b são apresentados as curvas de custo marginal de abatimento de três empreendimentos (A, B e C). Por suas declividades nota-se que para o mesmo nível de abatimento a empresa A tem custos marginais sempre menores que B e esta que C. As curvas de custo marginal foram traçadas com declividades tais que tanto um licenciamento que exigisse o mesmo abatimento  $q^*$  dos três empreendimentos, quanto a cobrança de  $p^*$  por unidade de lançamento resultaria no mesmo nível global de abatimento, ou  $q_a + q_b + q_c = 3q_b$ . Ou seja, em termos de utilização da capacidade de assimilação do ambiente ambas as alternativas, o licenciamento e a cobrança, são idênticas. Porém, os custos totais de abatimento não são idênticos. Eles são dados pela área entre as curvas de custo marginal e o eixo das abcissas. O custo total de abatimento estabelecido pelo licenciamento, dado pela soma das áreas dos triângulos O-d- $q_b$  (empreendimento A), O-b- $q_b$  (empreendimento B) e O-e- $q_b$  (empreendimento C) é maior que custo total de abatimento estabelecido pela cobrança, dado pela soma das áreas dos triângulos O-a- $q_a$  (empreendimento A), O-b- $q_b$  (empreendimento B) e O-c- $q_c$  (empreendimento C). Por analogia, pode ser verificado que em qualquer situação, a cobrança definirá um custo de assimilação global de tratamento menor que o licenciamento para a mesma utilização da capacidade de assimilação do ambiente. O que na realidade acontece é que a cobrança faz com que o empreendimento que possa tratar com mais eficiência (no caso do exemplo o empreendimento C) trate mais. Assim, com a cobrança, a sociedade como um todo pagará menos para atingir o mesmo nível de qualidade ambiental.

Finalmente, apesar de todas as críticas apresentadas à aplicação de normas ambientais frente à tributação, é notório que a primeira tem uma ampla aplicação no Brasil, como por exemplo a Norma Técnica SSMA 01/89 que fixa as condições para que as indústrias Gaúchas lancem seus resíduos nos corpos de água.

## **2.3 Bases Conceituais para a Cobrança pelo Uso da Água**

O mecanismo de mercado, em presença de custos de transação, não é capaz de contabilizar os custos sociais que as decisões individuais de cada usuário dos recursos hídricos impõem aos demais. Daí a necessidade de intervenção 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).

### **2.3.1 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 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 por se 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 a disponibilidades do meio. Isto se constituiria em um serviço (LANNA, 1995a). 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, ou usuário, da contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos*" (Lei 6.938 da Política Nacional de Meio Ambiente, art. 4º, VII)

### **2.3.2 Motivações para a Cobrança**

Segundo LANNA (1995a), 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.

Neste ponto 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 claro 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 de agente de distribuição de renda, de acordo com uma sistemática de onerar mais alguns segmentos da sociedade que outros. E como um 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.

### 2.3.3 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.

1. Capacidade de pagamento do usuário - em geral é sempre adotada, mesmo que parcialmente, condicionando a cobrança ao impacto financeiro e econômico sobre o pagante. No primeiro caso a questão é se ele terá como pagar com a renda que recebe. No segundo é se com o pagamento permanecerão os atrativos que fizeram com que o agente se estabelecesse no local ou, ao contrário, se ela o induzirá a mudar de atividade ou a realizá-la em outra localidade. Essa possibilidade poderá até ser considerada favorável ao, por exemplo, induzir atividades com grande consumo ou com grande grau de deterioração de água a se deslocarem para outras bacias onde ela tem maior disponibilidade ou capacidade de assimilação. Em outras situações, porém, poderá ser política, social ou legalmente indesejável ou inviável, implicando na necessidade de adequação do sistema de cobrança. Isso pode estabelecer subsídios à cobrança, situação em que ela é denominada no jargão jurídico como *preço político*.

2. Custo do serviço - em conjunto com a capacidade de pagamento, é a mais adotada. Nela o objetivo é a recuperação do capital investido na implementação do serviço, incluindo principal e juros, e dos custos de operação, manutenção e reposição. Quando restrições de capacidade de pagamento são violadas pode-se estabelecer um esquema de subsídios cruzados no qual a cobrança incidirá de forma mais intensa sobre as partes com maior capacidade de pagamento, sendo atenuadas para as partes com menor capacidade.

3. Custo marginal ou incremental - adota como diretriz gerar recursos para os investimentos demandados para a expansão do serviço. A justificativa para isto é de ordem econômica: ao fazer incidir no usuário os custos marginais de expansão controla-se e racionaliza-se a expansão da demanda de água, retardando-se necessidades de investimentos. Quando investimentos na expansão forem necessários, a própria cobrança gerará os recursos financeiros para promovê-los. Quando não forem necessários, a cobrança será baixa, estimulando o uso do serviço.

4. Custo de oportunidade - raramente adotada, busca introduzir mais algumas considerações de eficiência econômica e considera todos os quatro usos da água. No caso, o valor da água incremental ofertada ao sistema é o maior entre duas parcelas: o custo marginal de sua oferta, conforme estimado pela referência anterior, ou o benefício que poderia ser gerado para a sociedade dirigindo-se o capital de investimento para a melhor alternativa disponível.

5. Custo de mercado - supõem que a oferta e a procura pelo serviço possa ser realizada em mercado de livre negociação e os preços fixados de forma automática pelas leis de mercado. Nesse caso, as partes usuárias poderiam negociar livremente, ou de acordo com determinado regulamento, entre si ou com os provedores, sendo suprida demanda de quem oferecesse o maior preço.

6. Custo Incremental Médio (*Average Incremental Cost*) - neste caso seria estimado o custo necessário para a próxima expansão do sistema, de acordo com um plano de investimentos adotado. Por exemplo, resultantes da implantação de um reservatório em um sistema de suprimento de água ou de uma estação de tratamento de esgotos em um sistema de controle ambiental. Da infraestrutura hidráulica seria obtido o incremento da oferta em m<sup>3</sup>/mês de oferta de água ou de capacidade de tratamento. O custo de implantação seria diluído em um período de “recuperação” de capital, a dada taxa de desconto, e somados aos custos globais de operação, manutenção e

reposição correntes ou futuros, importando em um montante mensal em unidades monetárias. A divisão desse montante pelos  $m^3$  de incremento mensal da oferta de água ou de tratamento resultaria no custo incremental médio do  $m^3$ . O termo “recuperação” acha-se entre aspas pois o que se busca não é a recuperação do capital mas a sua captação para promover a expansão definida. O período de recuperação de capital e a taxa de desconto podem estar associados a empréstimos a serem usados para financiar os investimentos ou serem arbitrados. Essa referência de cobrança, ao contrário da do custo marginal, não estimularia o uso de capacidade ociosa. Ela parece ser a mais adequada já que geraria os recursos necessários para financiar a expansão do sistema de oferta de água e de controle de poluição.

## **2.4 Exemplo Francês de Cobrança pelo Uso da Água**

A França é o País que mais tem obtido sucesso com sua Política de gerenciamento de recursos hídricos, razão pela qual tem inspirado muitos países, inclusive o Brasil. Apresenta-se a seguir os sistemas de cobrança adotados, de acordo com TARQUÍNIO (1994), BURSZTYN e OLIVEIRA (1982), OLIVEIRA (1983) e OIA (1995).

### **2.4.1 Cobrança pela poluição**

Aplica-se a toda pessoa pública ou privada que contribua para a degradação das águas em uma bacia. Dois tipos de cobrança existem: para poluição doméstica e industrial.

#### **2.4.1.1 Poluição doméstica**

A poluição doméstica é cobrada anualmente, calculada por município ou grupo de municípios. A cobrança é realizada pela companhia concessionária dos serviços de água e esgoto. Ela é agregada, como no Brasil, à cobrança pela água, cujo consumo estabelece o fator de proporcionalidade para distribuição da cobrança entre os usuários dos serviços de água e esgotos. Seu cálculo é realizado pela Agência da Água tendo por base o valor atingido pelo produto dos seguintes fatores:

- Índice de poluição por habitante;
- População do município (atendida pelo sistema de coleta de esgotos);
- Coeficiente de aglomeração estabelecido por ordem ministerial, variando entre 0,5 e 1,2, considerando a importância do município ou da aglomeração à qual pertence;
- Coeficiente de coleta
- Coeficiente de zona

A poluição é medida em habitantes/equivalentes. Os poluentes considerados para os lançamentos domésticos são:

- MES: Matérias em suspensão contidas na água após solubilização dos sais solúveis, em kg/dia;
- MO: Matérias oxidáveis contidas na água após separação das matérias decantadas em duas horas em kg/dia; essas matérias oxidáveis são expressas por uma média ponderada da demanda química de oxigênio (DQO) e a demanda bioquímica de oxigênio de 5 dias (DBO<sub>5</sub>); a DQO e a DBO<sub>5</sub> são obtidas mediante a avaliação do oxigênio dissolvido, por oxidação química e por oxidação bioquímica respectivamente:

$$MO = [DQO + 2.DBO_5] / 3 \quad (\text{Eq. 2.8})$$

- MN: Matérias nitrogenadas orgânicas e amoniacais contidas na água, em kg/dia.

Arbitrou-se que 1 habitante gera 162 g de substâncias poluentes ao dia, repartidas nos seguintes parâmetros:

- 90 g de matérias em suspensão (MES);
- 57 g de matérias oxidáveis (MO);
- 15 g de nitrogênio orgânico e amoniacal (MN).

O valor anual básico da cobrança por kg/dia de despejo destes parâmetros para a bacia do Sena-Normandie foram em 1992, em francos franceses/kg/dia :

- MES: 113,93
- MO: 249,69
- MN: 213,69

Nesta bacia, portanto, a cobrança básica por habitante seria dada por:  
 $(113,93*0,090+249,69*0,057+213,69*0,015) = 27,69138$  francos/habitante/dia.

O número de habitantes em um município é calculado tendo por base os resultados do censo. Quarenta por cento da população sazonal é considerada para fins de estimativa da população total. Não são cobrados municípios com menos de 400 habitantes, fixos ou de sazonais.

O coeficiente de aglomeração considera que a poluição aumenta com a densidade populacional. Isto leva ao estabelecimento de fatores de correção para os municípios em função de suas populações. Os valores dos coeficientes de aglomeração adotados na bacia do Sena-Normandie são apresentado no Quadro 2.5. Observa-se como os departamentos 75, 92, 93 e 94 são penalizados fortemente.

Quadro 2.5 - Coeficientes de aglomeração

Número de habitantes	Coeficiente
< 500	0.50
501 a 2 000	0.75
2 001 a 10 000	1.00
10 001 a 50 000	1.10
> 50 000	1.20
Departamentos 75, 92, 93 e 94	1.40

Fonte: TARQUÍNIO (1994)

O coeficiente de coleta considera as dificuldades de coleta nas regiões em função, por exemplo, de estações de tratamento mal alimentadas e redes de esgotos insuficientes. Ele pode também ser usado para financiar o investimento em redes de coleta de esgotos. Na bacia Sena-Normandie este coeficiente é estabelecido como 2.30.

Os coeficientes de zona levam em consideração aspectos espaciais que acarretam a decisão de penalizar algumas zonas mais fortemente. Este é o caso, por exemplo, quando decide-se

penalizar mais os poluidores de montante. Um exemplo destes coeficientes, na bacia Sena-Normandie, é apresentado no Quadro 2.6, com os coeficientes que acrescem os valores de cada parâmetro de poluição doméstica.

Quadro 2.6 - Coeficientes de zona

Zona	MES	MO	MN
1.0	1.25	1.25	1.25
1.1	1.25	1.25	1.25
1.2	1,25	1.25	1.25
2.0	1.15	1.15	1.15
2.1	1.25	1.15	1.15
2.2	1.15	1.00	1.00
2.3	1.15	1.15	1.15
3.0	1.00	1.00	1.00
3.1	1.00	1.00	1.00

Fonte: TARQUÍNIO (1994)

O Quadro 2.7 mostra o cálculo da cobrança de poluição doméstica por habitante para um município hipotético situado na Zona 1.0 da bacia Sena-Normandie.

Quadro 2.7 - Cálculo da cobrança de poluição doméstica

Parâmetro	Coef. Zona	Cobrança/hab <sup>1</sup>	Coef. Coleta	Cobrança/hab <sup>2</sup>
MES	1.25	12.81713	2.3	29.479
MO	1.25	17.79041	2.3	40.918
MN	1.25	4.00669	2.3	9.215
TOTAL	---	34.61423	---	79.613

Fonte: LANNA (1995a)

O valor cobrado é detalhado por parâmetros de poluição doméstica. A cobrança inicial por habitante é calculada considerando o coeficiente de zona e os valores anuais básicos apresentados previamente. Multiplicando o resultando pelo coeficiente de coleta obtém-se o segundo valor de cobrança, por habitante.

Suponha um município com 10 000 habitantes permanentes e 500 sazonais. A população a ser adotada para fins de cobrança é:  $10\ 000 + 0.40 \cdot 500 = 10\ 200$  habitantes. O Quadro 2.5 mostra

que o coeficiente de aglomeração neste caso é 1.1, resultando em um valor habitacional, para fins de cobrança, de  $1.1 * 10\ 200 = 11\ 220$  hab. A cobrança por habitante calculada no Quadro 2.7 é usada para estabelecer o valor a ser cobrado do município, como um todo:  $79.613\ F * 10\ 220 = 813\ 644.86\ F$ . Supondo que o consumo per capita de água ao dia por habitante seja de  $0.1\ m^3$ , haveria um consumo anual de  $10\ 200 * 0.1 * 365 = 372\ 300\ m^3$  no município. Sendo assim, o metro cúbico de água seria cobrado à base de  $813\ 644.86/372\ 300 = 2.18\ F/m^3$ . Supondo uma relação Franco francês/Dólar americano na base de 4.6/1, isto significaria aproximadamente US\$  $0.50/m^3$  de água consumida. Este valor seria cobrado da empresa de abastecimento que o repassaria aos consumidores domésticos na conta de água.

Os esgotos industriais que são lançados na rede doméstica são tratados como tais, até um limite anual de  $6\ 000\ m^3$  de água ou, ainda, uma poluição inferior ao equivalente a 200 habitantes. Ultrapassando estes limites eles passam a ser considerados não-domésticos, e geram a cobrança pela poluição industrial.

#### **2.4.1.2 Poluição industrial**

Neste caso, a cobrança é realizada a partir de critérios mais individualizados. A base de incidência é múltipla, sendo definida anualmente em função de uma estimativa da quantidade de contaminação produzida em um dia “normal” do mês de maior lançamento de esgotos no curso de água. Não há portanto, medição direta. As Agências de Bacia utilizam um Quadro de Estimativa Fixa (QEF) que define as quantidades de lançamento para cada atividade industrial dos poluentes notados MES, MO E MN, comentados anteriormente, válidos também para poluição doméstica e os listados abaixo, específicos para poluição industrial:

- SS: Sais solúveis: o conteúdo de sais solúveis das águas residuais é estimado pela medida da condutividade da água, expressa em mho/cm; o peso do sal despejado, em kg/dia, é representado pelo produto desta condutividade por volume de água despejado, de onde a fórmula:

$$SS = (\text{mho}/\text{cm}^3) \cdot \text{m}^3 \quad (\text{Eq. 2.9})$$

- MI: Matérias inibidoras contidas na água após a separação das matérias decantadas em duas horas; o poder inibidor de um efluente é avaliado testando o efeito deste efluente sobre um crustáceo de água doce (a dafneia), em kg/equitox/dia;
- MF: Matérias fosforadas contidas na água, em kg/dia;

Quadro 2.8: Quadro de Estimativa Fixa

Categorias industriais	MN (kg)	MI (kg/equitox)	SS (mho/cm). m <sup>3</sup>	MF (kg)
<b>Couros e peles - tratamento de peles brutas salgadas</b>				
- Curtimento ao cromo	8	2.5	0.4	0.3
- Curtimento vegetal	8	2.5	0.4	0.3
<b>Papéis e papelões</b>				
- Kraft			0.03	
- A partir de pasta mecânica			0.01	
<b>Indústrias alimentícias</b>				
- Conservas de ervilhas	1.2			0.3
- Legumes feculentos	1.2			0.3
Fábrica de ácido fosfórico para produção de adubos fosforados		pm		18 000

Fonte: LANNA (1995a)

Os coeficientes levam em conta a natureza dos produtos e os processos técnicos de produção. Eles são estimados de comum acordo entre os industriais e as Agências, sendo aplicados nacionalmente. Quando houver discordância, os lançamentos poderão ser medidos diretamente.

O valor é definido pelo Conselho de Administração da Agência em função dos gastos plurianuais previstos nos programas de despoluição, sendo revistos a cada ano, para seguir a evolução dos preços e garantir o equilíbrio dos programas. Se o valor da cobrança corresponde ao que é atingido por uma cidade de 200 habitantes, a cobrança não é feita pela Agência, mas faturada pela concessionária de água e esgoto.

Seja um curtume com produção de 10 000 toneladas de pele por ano, com curtimento a cromo. No mês de maior atividade são tratadas 50 ton de pele. De acordo com o QEF ocorrem lançamentos de 70 kg/dia de MES, 50 kg/dia de MO, 2.5 g/equitox/dia de MI, 0.4 g/dia de SS,

8 g/dia de MA e 0.3 g/dia de MF. Na bacia do Sena-Normandia, em 1992, os valores de cobrança para estes parâmetros, em francos franceses/kg/dia, são:

- MES 113.93
- MO 249.69
- MN 213.69
- MI 3.502.00
- SS 2.380.00
- MF --

O Quadro 2.9 apresenta os cálculos para estimativa da cobrança de poluição aplicável ao curtume, notando-se que o parâmetro MF (matérias fosforadas) não é cobrado.

Quadro 2.9 - Estimativa da cobrança de poluição aplicável ao curtume hipotético na bacia Sena-Normandia (50 ton/dia de produção no mês crítico)

Parâmetro	Produção diária	Cobrança
MES	$50 \cdot 70 = 3\ 500\ \text{kg}$	$113.93 \cdot 3\ 500 = 398\ 755$
MO	$50 \cdot 50 = 2\ 500\ \text{kg}$	$249.69 \cdot 2\ 500 = 624\ 225$
MN	$50 \cdot 8 = 400\ \text{kg}$	$213.69 \cdot 400 = 85\ 476$
MI	$50 \cdot 2.5 = 125$	$3\ 502 \cdot 125 = 437\ 750$
SS	$50 \cdot 0.4 = 20$	$2.380 \cdot 20 = 47.600$
TOTAL		1 593 806

Fonte: LANNA (1995a)

Em função dos cálculos, o curtume deveria pagar à Agência 1 593 806 francos franceses em 1992, o que, numa base de 4.6/1 na conversão para dólares americanos, daria US \$ 346 480.00/ano.

### **2.4.2 Cobrança pela água bruta**

A água para uso doméstico e industrial é cobrada tendo por base três elementos:

- 1 - volume de água derivado durante o período de estiagem;
- 2 - uso consuntivo, igual ao valor anterior multiplicado por um fator de consumo;
- 3 - local de derivação.

O valor cobrado é estabelecido pelo Conselho de Administração da Agência tendo por referência os investimentos previstos no plano de bacia. Para o uso agrícola, essencialmente na irrigação, a cobrança é estimada como função do volume de água derivado durante a estação de estiagem.

### **2.4.3 Análise da sistemática francesa de cobrança**

O esquema adotado na França visa a captação de recursos para os programas de investimentos e, portanto, pode ser associado à cobrança tendo por referência os custos incrementais médios da expansão do sistema. No caso da poluição doméstica, a base de incidência é uma estimativa indireta da quantidade global de poluição de uma comunidade sem haver, portanto, medição. O valor global a ser cobrado de uma comunidade é distribuído entre os habitantes proporcionalmente ao consumo medido de água.

No caso da poluição industrial a cobrança tem uma base de incidência múltipla, resultante da adoção de vários indicadores de qualidade dos efluentes, cuja medição é realizada no dia “médio” do mês de maiores lançamentos.

## **2.5 Estudos sobre a Cobrança no Brasil**

Não existem no Brasil exemplos de cobrança dos usos 1 e 4, a não ser em alguns estudos teóricos que vêm sendo realizados. Por exemplo, CONEJO (1993) e SOUZA (1993) propuseram metodologias para o rio Piracicaba, SP. TARQUÍNIO (1994) analisa uma

metodologia respaldada pelo sistema francês para o Paraná visando a cobrança do 4º uso. LANNA (1995b) analisou as implicações da cobrança do 1º uso em várias regiões do País.

O quadro 2.10 apresenta alguns preços unitários para a água bruta, considerando o uso 1, obtidos para a bacia do rio Piracicaba -SP e para as bacias dos rios Paraguaçu e das Fêmeas, na Bahia.

Quadro 2.10: Preço da Água Bruta (US\$ /m<sup>3</sup>)

Tipo de Uso	Rio Piracicaba - SP	Rio Paraguaçu - Ba	Rio das Fêmeas - Ba
Abast. Doméstico	0.02	0.00123	0.000027
Abast. Industrial	0.03	0.00161	0.00158
Irrigação	0.02	_____	_____
Exportação	0.02	_____	_____

Fonte: CONEJO (1993) e GARRIDO (1996)

No último Simpósio da Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) uma série de análises teóricas sobre a cobrança foram apresentadas. CORDEIRO NETTO (1995) que tratou dos aspectos econômicos que contribuem para a formação do preço da água, GIASANTE (1995) propondo as bases para um mercado de água, MARTINEZ Jr. e BRAGA Jr. (1995) tratando do princípio poluidor-pagador como instrumento de gestão ambiental.

## 2.6 Outorga dos Direitos do Uso da Água

A outorga é um instrumento jurídico pelo qual o Poder Público, entendido como o órgão que possui a devida competência legal, confere ao administrado a possibilidade de usar privativamente a água (GRANZIERA, 1995).

A definição de critérios para outorga dos direitos de uso da água passa, inicialmente, pela adoção de um valor de referência, que indicará o limite superior de utilização do curso d'água. Este limite objetiva assegurar o atendimento às demandas de prioridade superior (abastecimento público e garantia de vazão mínima no rio) e ao mesmo tempo assegurar o atendimento da vazão outorgada.

A experiência brasileira quanto a gestão das águas é ainda bastante incipiente, ressaltando-se alguns Estados e, nestes, regiões ou bacias particulares. Assim sendo, não se tem tradição ou experiências razoáveis quanto a forma e critérios de outorga compatíveis com a realidade nacional.

Segundo LUZ (1994), caberia ao poder público criar mecanismos que garantissem o adequado uso do solo e a preservação de certas vazões nos cursos d'água de forma a manter o equilíbrio ecológico, em um sentido amplo, e não necessariamente definir um limite superior para o uso da água.

O raciocínio anterior nos leva a pensar na outorga da vazão excedente. Assim, o poder público definiria a vazão mínima que deveria ser mantida no rio, suficiente para o atendimento às demandas com prioridade de atendimento superior. As vazões excedentes, poderiam ser então cotizadas entre os usuários cabendo ao poder público a responsabilidade pelo controle de seu uso.

Destacam-se entre as dificuldades de se implantar a sistemática descrita acima os problemas operacionais, mesmo não sendo tecnicamente inexequíveis, são de difícil implementação pelo poder público dadas as dificuldades de ordem institucional, burocrática e financeira.

A forma como vem sendo aplicado à outorga pelo uso da água ocorre com a fixação de um valor de referência que limita a utilização superior do recurso. Normalmente, este valor de referência tem sido fixado em função da vazão mínima média, com 7 dias consecutivos de duração e tempo de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ).

Quando se utiliza de pequenos valores como referências se obtêm maiores garantias de que não haverá falhas de atendimentos às demandas, porém, na maior parte do tempo uma vazão considerável não será utilizada, despertando em muitos usuários protestos no sentido de se ampliar as vazões outorgadas.

Este é o caso da bacia do rio Grande, no oeste da Bahia, onde a água aparece como o fator limitante ao desenvolvimento e os órgãos estaduais de recursos hídricos têm convivido

com uma pressão constante dos irrigantes para que seja aumentado a vazão de referência para outorga do direito de uso da água. O objetivo é buscar a melhor forma de se utilizar os recursos hídricos disponíveis, durante todo tempo. Para isso foi desenvolvido uma metodologia que permite ao órgão gestor da bacia hidrográfica uma flexibilidade quanto a distribuição das outorgas. Para garantir o atendimento às demandas essenciais, os critérios de outorga que tem sido utilizados, fixa a vazão de referência em, por exemplo, 80% da  $Q_{7,10}$  (caso da Bahia), criando na prática uma barreira quanto a utilização legal das vazões excedentes e de certa forma atuando de forma restritiva, inibindo o desenvolvimento regional.

## Capítulo 3

### **Área de Estudo**

---

### 3. ÁREA DE ESTUDO:

#### 3.1 Descrição Geral:

A Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos situa-se a nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, entre os paralelos 29 e 30 graus Sul. 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 bacia do rio dos Sinos está delimitada ao norte e a oeste pela bacia do rio Caí; ao sul, parcialmente, pela bacia do rio Gravataí e pelas encostas da serra geral, que serve de divisor de águas para as bacias inseridas na planície costeira. A leste, a delimitação também é definida pelas encostas da serra geral. A figura 3.1 ilustra a localização da bacia no Estado.



Figura 3.1: Localização da Bacia do Rio dos Sinos

As nascentes do rio dos Sinos situam-se no município de Santo Antônio da Patrulha, a cerca de 900 m de altitude, tendo sua foz no delta do Jacuí, em altitude da ordem de 10 m, em meio a zonas alagadiças e depósitos fluviais. Seus afluentes principais são os rios da Ilha, Rolante e Paranhana, sendo que este último recebe, desde de 1956, águas derivadas da bacia do rio Caí da ordem de 5 a 9 m<sup>3</sup>/s. Estas águas são provenientes das barragens do Salto e da Divisa para a

geração de energia nas Usinas Hidrelétricas de Bugres e Canastra, da Companhia Estadual de Energia Elétrica - CEEE.

Além desses formadores principais existem diversos arroios afluentes de menor porte, muitos dos quais drenam vilas, povoados, cidades, indústrias e lixões, os quais também têm importância tanto no regime hidráulico quanto de qualidade do Rio dos Sinos. Os arroios formadores são utilizados como canais de transporte de esgoto doméstico, lixívia de lixos, drenagem pluvial e de efluentes industriais tratados ou não. Uma série de arroios na parte mais baixa da bacia do Sinos possui condições anaeróbias, principalmente os Arroios Luiz Rau, J. Joaquim, João Correia, do Portão e outros menores.

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 arrojzeira 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 têxtil, 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.

### **3.1.1 Características Hidroclimáticas**

De acordo com a classificação climática de Wladimir Köppen (MAGNA, 1996b), a bacia do rio dos Sinos está sujeita a dois tipos climáticos distintos:

- Tipo climático Cfa - clima mesotérmico (temperatura média do mês mais frio abaixo de 18° C), subtropical úmido sem estação seca e verão quente, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 22° C, e;
- Tipo climático Cfb - clima mesotérmico, temperado úmido sem estação seca e verão quente, sendo a temperatura média do mês mais quente inferior a 22° C.

Para caracterizar as precipitações pluviométricas médias mensais sobre a bacia utilizou-se os postos de São Francisco de Paula e Taquara por estes representarem as áreas com tipo climático Cfb (temperado) e Cfa (subtropical), respectivamente.

Analisando-se o histograma de precipitações apresentado na figura 3.2, verifica-se que em ambos os postos as precipitações são distribuídas ao longo do ano, sendo que em São Francisco de Paula os valores são invariavelmente maiores. Em São Francisco de Paula, a média anual chega a 2164.0 mm, enquanto em Taquara alcança apenas 1459.00 mm. O quadro 3.1 apresenta os valores médios para todos os meses do ano.

Quadro 3.1: Precipitação Pluvial Mensal (mm) - 1931/1960

LOCALIDADE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
São Francisco de Paula	221	213	175	186	155	200	151	128	242	210	119	164	2164
Taquara	136	141	118	116	121	137	125	116	132	118	91	108	1459

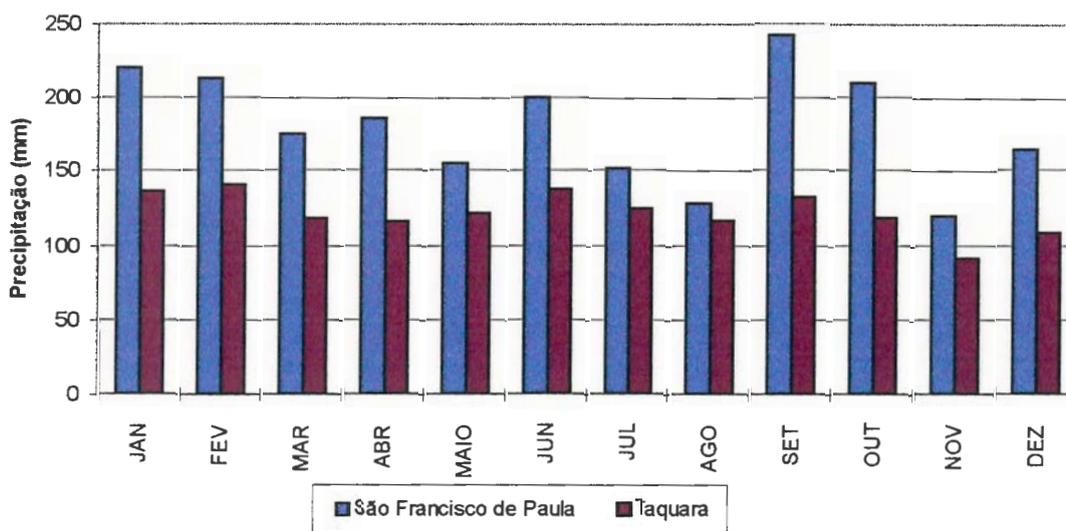


Figura 3.2: Histograma de Precipitação Média Mensal

Para representar a evapotranspiração potencial na bacia utilizou-se a Estação Meteorológica de Cachoeirinha operada pelo IPAGRO. O quadro 3.2 apresenta os valores médios decendiais para o período de 1957 a 1984, obtido pelo método de Thornthwaite a partir dos dados de evaporação medidos em Cachoeirinha. A figura 3.3 apresenta o histograma de evapotranspiração média mensal.

Quadro 3.2: Evapotranspiração Média Decendial (mm/10 dias) - 1957/1984

DECÊNPIO	MESES											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	55.8	55.8	43.8	30.2	19.4	12.8	12.6	16.3	23.3	36.9	50.2	46.9
2	57.5	50.7	37.1	25.3	17.1	12.1	12.7	16.6	29.0	39.9	52.8	59.1
3	62.2	43.0	37.2	24.0	16.0	11.4	15.9	20.3	33.8	41.4	50.9	61.8
TOTAL	175.5	149.5	118.1	79.5	52.5	36.3	41.2	53.2	86.1	118.2	153.9	167.8

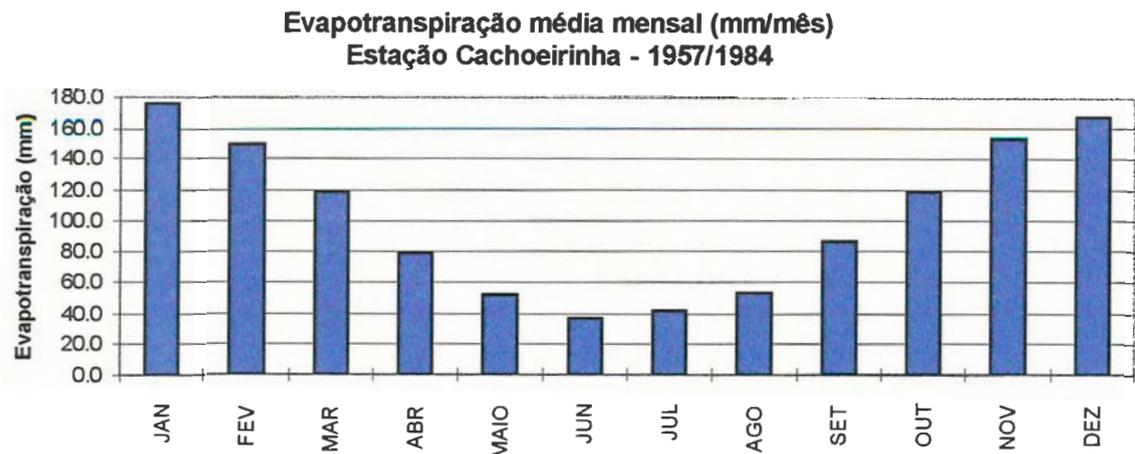


Figura 3.3: Histograma de Evapotranspiração Média Mensal

O quadro 3.3 apresenta os valores médios mensais de temperatura para as estações de São Francisco de Paula e Taquara.

Quadro 3.3: Temperatura Média Mensal - 1931/1960

LOCALIDADE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
São Fco. de Paula	19.1	18.4	17.6	13.9	12.4	11.3	10.2	11.0	12.3	13.3	15.8	17.5	14.4
Taquara	24.6	24.2	22.9	19.3	16.6	14.8	14.2	15.4	17.4	19.2	21.2	23.0	19.4

Diferentemente do que acontece com a precipitação, as temperaturas são sensivelmente maiores em Taquara, com média anual de 19.4 contra apenas 14.4 em São Francisco de Paula, o que está de pleno acordo com a classificação climática de Köppen, que atribui para a região de São Francisco de Paula o tipo climático Cfa (temperado), com temperaturas médias baixas.

Conforme pode ser observado no quadro 3.4, os valores médios de umidade relativa do ar são semelhantes em ambas as estações, embora os valores para a estação de Taquara se apresentem invariavelmente menores. Esta diferença é menos significativa do que as verificadas

para a precipitação e temperatura médias mensais, entretanto, vale destacar o padrão diferenciado em cada estação. Enquanto em São Francisco de Paula os valores médios mensais se mantêm aproximadamente constantes, na estação de Taquara identifica-se um padrão de variabilidade temporal caracterizado por valores maiores no inverno e menores no verão, exatamente inverso ao padrão temporal de distribuição das temperaturas médias mensais, apenas menos acentuado. Esta peculiaridade pode ser explicada pela simples observação das precipitações, que na estação de Taquara são menores. No período mais quente e com precipitações menores ocorre um déficit maior na evapotranspiração, produzindo como consequência um clima menos úmido.

Quadro 3.4: Umidade Relativa do Ar (%) - 1931/1960

LOCALIDADE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
São Fco. de Paula	83	85	85	86	85	85	81	79	83	85	82	79	83
Taquara	72	74	76	78	79	83	80	77	78	76	72	68	76

### 3.1.2 Características Físicas

A maior parte da bacia hidrográfica, envolvendo as cabeceiras e o relevo mais acidentado, é constituída por rochas vulcânicas que ocorrem numa seqüências de derrames do qual resulta uma topografia em degraus, se sucedendo escarpas e patamares horizontais e subhorizontais, aos quais se associam diferenciações agrogeológicas que definem solos argilosos profundos com transições para situações de alta pedregosidade e afloramentos rochosos.

O Arenito Botucatu representa a segunda unidade geológica em distribuição de área que se configura na porção central da bacia hidrográfica originando um relevo moderado, condições agrogeológicas representadas por solos arenosos permeáveis muito suscetíveis à erosão.

No terço inferior da bacia hidrográfica predominam as litologias representadas por uma seqüência de argilitos, folhelhos, siltitos e arenitos intercalados, pertencentes a Formação Rio do Rastro, aos quais está associada uma condição de relevo suave a levemente ondulado e situações agrogeológicas onde predominam solos argilosos. Em algumas colinas existe

cobertura de sedimentos heterogêneos representados por cascalho, areia e seixos de arenito em condições de equilíbrio instável, atribuídos a Formação Gravataí.

Rochas intrusivas do tipo gabro e diabásio cortam o Arenito Botucatu e a Formação Rio do Rastro funcionando como barreira hidrogeológica no arenito e como aquífero quando a encaixante é representada por argilitos, folhelhos e siltitos.

Os aluviões caracterizados por depósitos sedimentares heterogêneos, constituídos por mesclas de cascalho, areia, silte e argila constituem as planícies de inundação, constituindo limitações ao processo de urbanização e destino de aterros sanitários e industriais.

A marcante influência da tectônica que se evidencia sob a forma de falhas e fraturas se manifesta de modo contundente no controle da drenagem superficial e no modelado do relevo, especialmente nos domínios das rochas vulcânicas e constituem-se em aquíferos importantes nesse contexto geológico. A importância aquífera das lineações tectônicas se estende também ao Arenito Botucatu e à Formação Rio do Rastro, cujos cruzamentos constituem os alvos preferencias para a locação de poços tubulares profundos.

A implantação de aterros sanitários e de resíduos industriais tem como sérias limitações geológicas os aluviões já referidos, o Arenito Botucatu e as zonas afetadas por fraturas e falhas das rochas vulcânicas, em razão do grande potencial de poluição dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Argilitos e folhelhos da Formação Rio do Rastro oferecem menos riscos de poluição para a implantação de empreendimentos tão poluentes.

A obtenção de materiais de construção, tais como brita, enrocamento e pedras para alicerce pode ser feita a partir das rochas intrusivas e da porção central dos derrames de rochas vulcânicas, constituindo o Arenito Botucatu fonte adequada para a produção de lajes, lajotas e pedra para calçamento.

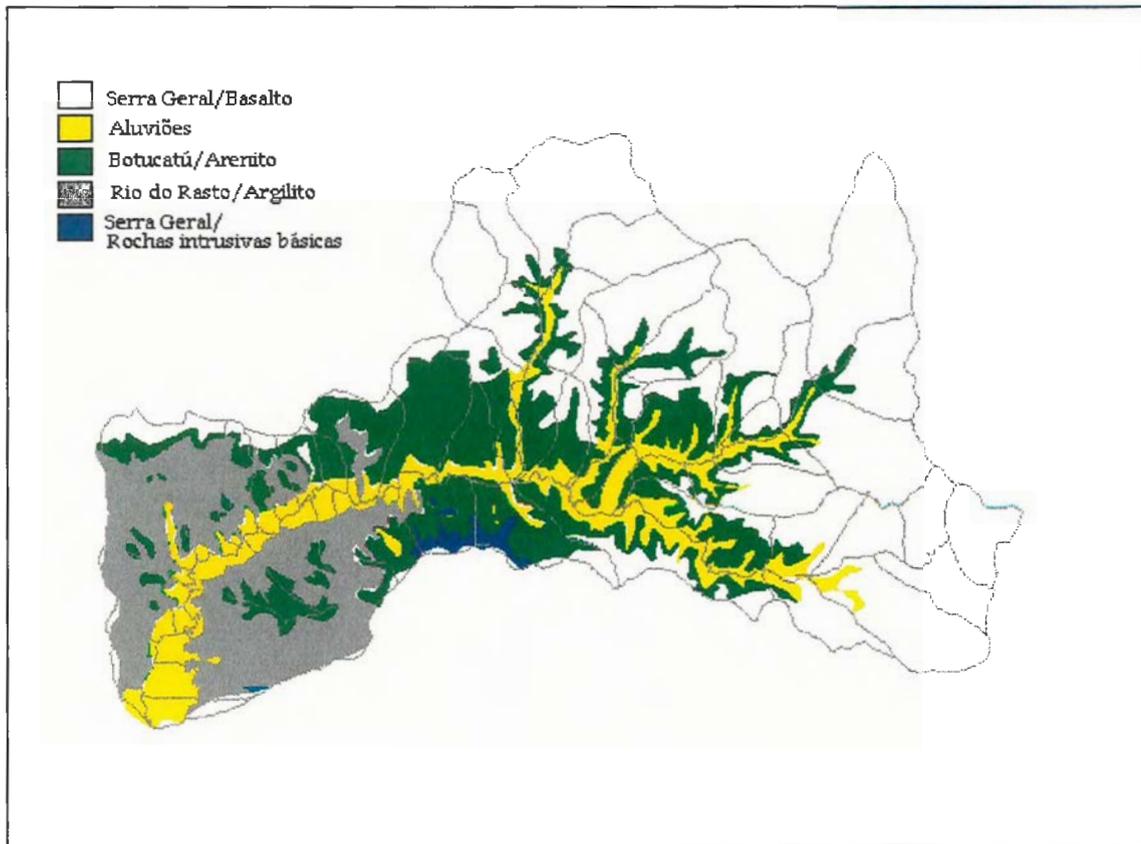


Figura 3.4: Geologia da Bacia do Rio dos Sinos

### 3.1.3 Situação Sócio-Econômicas

Na bacia do rio dos Sinos estão inseridos 29 municípios conforme relacionados no quadro 3.5. Este quadro apresenta a área de jurisdição municipal e a fração percentual contida na bacia.

Quadro 3.5: Municípios Componentes da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos

MUNICÍPIOS		ÁREA TOTAL Km <sup>2</sup>	ÁREA CONTIDA NA BACIA		
			Km <sup>2</sup>	% do Total Municipal	% do Total da Bacia
Canoas	1	113.11	84.43	74.65	2.28
Esteio	2	32.50	29.30	90.15	0.79
Nova Santa Rita	3	219.79	93.62	42.60	2.52
Portão	4	157.40	140.16	89.05	3.78
São Leopoldo	5	105.30	105.30	100.00	2.84
Sapucaia do Sul	6	57.00	57.00	100.00	1.54
Novo Hamburgo	7	218.70	218.70	100.00	5.89
Campo Bom	8	62.50	57.41	91.86	1.55
Dois Irmãos	9	66.80	7.18	10.75	0.19
Estância Velha	10	40.00	40.00	100.00	1.08
Capela de Santana	11	182.40	2.15	1.18	0.06
São Sebastião do Caí	12	111.08	3.66	3.29	0.10
Ivoti	13	66.59	3.76	5.64	0.10
Sapiranga	14	177.07	121.33	68.52	3.27
Nova Hartz	15	60.93	56.37	92.52	1.52
Santa Maria do Herval	16	157.56	4.11	2.61	0.11
Igrejinha	17	150.50	124.95	83.02	3.37
Três Coroas	18	166.00	155.68	93.79	4.20
Gramado	19	245.30	88.30	36.00	2.38
Canela	20	246.00	153.71	62.48	4.14
São Fco. de Paula	21	3269.15	384.32	11.76	10.36
Cachoeirinha	22	42.00	6.98	16.63	0.19
Gravataí	23	497.83	63.36	12.73	1.71
Taquara	24	464.07	430.44	92.75	11.60
Parobé	25	125.60	103.97	82.78	2.80
Rolante	26	269.83	194.03	71.91	5.23
Riozinho	27	255.87	239.76	93.71	6.46
Osório	28	666.12	39.63	5.95	1.07
Santo Ant. da Patrulha	29	1223.13	700.43	57.27	18.88
TOTAL		9450.13	3710.05	-----	100.00

A área de estudo apresentou na última década um crescimento populacional (principalmente urbano) superior ao conjunto do Estado. Houve um alto grau de urbanização (91,9 %) em 1991, e uma elevada densidade demográfica.

Quadro 3.6: Participação Relativa da População Total, Urbana e Rural da Área de Estudo no Total do Estado - RS 1980 e 1991

DISCRIMINAÇÃO		Área de Estudo	Estado - RS	Área de Estudo/Estado (%)
1	População:			
	Total	1 140 500	7 777 212	14.66
9	Urbana	969 454	5 252 465	18.46
	Rural	171 046	2 254 747	7.59
8	Área (km <sup>2</sup> )	9 450	267 528	3.53
0	Densidade Demográfica (km <sup>2</sup> )	120.69	29.07	-----
1	População:			
	Total	1 595 821	9 135 479	17.47
9	Urbana	1 466 604	6 994 134	20.97
	Rural	129 217	2 141 345	6.03
9	Área (km <sup>2</sup> )	9 450	267 807	3.53
1	Densidade Demográfica (km <sup>2</sup> )	168.87	34.11	-----

Fonte: Fundação Estadual de Estatística - FEE - 1995

Obs.: Neste quadro a área de estudo se refere a área total dos municípios componentes da bacia.

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. Esses municípios apresentam alto grau de urbanização, elevada densidade demográfica e crescimento acentuado da população.

A densidade demográfica dos municípios que compõem a bacia é muito diversificada. Em 1991 São Francisco de Paula e Canoas apresentavam um índice de 5.88 habitantes/km<sup>2</sup> e 2 467.57 habitantes/km<sup>2</sup>, respectivamente, ficando a média em 168.87 habitantes/km<sup>2</sup>.

No que se refere a densidade demográfica, a área é bastante heterogênea, porém o elevado grau de urbanização é uma característica quase comum no conjunto dos municípios.

A dinâmica do desenvolvimento econômico do Estado do Rio Grande do Sul está localizada na região onde se insere a área de estudo. É na região metropolitana e em sua área de influência que estão concentradas as atividades econômicas, resultado do processo de industrialização das últimas décadas a partir de uma base econômica preexistente. Neste contexto a área de estudo, 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.

Nesta área se encontra grande parte do crescimento econômico do Estado, quanto aos gêneros metalúrgico, mecânico, material elétrico e de comunicação e de material de transporte. Além desses, se destacam os setores de química, borracha e matéria plástica.

A indústria de vestuário, como o calçado, importante gênero industrial, ocorre em uma faixa ao longo do Vale do rio dos Sinos. Este gênero evoluiu a partir de pequenos estabelecimentos artesanais localizados inicialmente em São Leopoldo e Novo Hamburgo, os quais aproveitam a matéria-prima originada da área da Campanha. A indústria contou com capitais, mão-de-obra e mercado local à base da qual se expandiu. Esta evolução ocorreu de tal forma a ponto de possibilitar a presença de centros especializados no setor de calçados dentro de uma área que se individualiza e cujos centros mais característicos são: Campo Bom, Sapiranga e Novo Hamburgo. Este, dentro da área “coureiro-calçadista”, é um dos mais importantes centros, tanto por seu crescimento e comercialização como por sua industrialização. São Leopoldo, fazendo parte ainda da área “coureiro-calçadista” caracteriza-se, porém, por maior diversificação de setores industriais.

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. Esses municípios apresentam um elevado grau de industrialização.

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 na área 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.

### **3.2 Dados Disponíveis:**

Os dados básicos utilizados no desenvolvimento do presente trabalho foram extraídos dos resultados da “Simulação de uma Proposta de Gerenciamento de Recursos Hídricos na Bacia do Rio dos Sinos”, desenvolvido pela Magna Engenharia e o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (MAGNA, 1996b).

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

Abastecimento populacional - em virtude da ocupação populacional da bacia, a utilização dos recursos hídricos para fins de abastecimento verifica-se 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.

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, dependendo do processo industrial.

Irrigação e aquícultura - 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 aquícultura é incipiente, concentra-se na sub-bacia do rio Paranhana e nos municípios de Gramado, Canela, Taquara, Gravataí e São Francisco de Paula.

Dessedentação de animais - parte dos recursos hídricos, em todas as sub-bacias, é consumida para dessedentação de animais, principalmente os rebanhos bovinos, suínos e ovinos, além de aviários e pocilgas.

### 3.2.1 Aspectos Quantitativos

Os quadros 3.7 e 3.8 apresentam, de forma resumida, os consumos para os principais usos descritos para a situação atual e futura (1995 e 2007).

Quadro 3.7: Usos Atuais Totais (1995)

ATIVIDADES	QUANTIDADES	
	m <sup>3</sup> /s	%
Abastecimento Doméstico		
Urbano	2.52662	58.02
Rural	0.06160	1.41
Abast. Industrial	0.81503	18.72
Irrigação de Arroz	0.85223	19.57
Aquicultura	0.00004	0.00
Dessedentação de animais		
Grande Porte	0.09632	2.21
Pequeno Porte	0.00292	0.07
TOTAL	4.35476	100.00

Quadro 3.8: Usos Futuros Totais (2007)

ATIVIDADES	QUANTIDADES	
	m <sup>3</sup> /s	%
Abastecimento doméstico		
Urbano	3.55094	54.60
Rural	0.04394	0.68
Abast. Industrial	1.45993	22.45
Irrigação de Arroz	1.32560	20.38
Aquicultura	0.00007	0.00
Dessedentação de animais		
Grande Porte	0.11791	1.81
Pequeno Porte	0.00537	0.08
TOTAL	6.50376	100.00

A área de estudo apresenta um alto grau de urbanização (91,9% em 1991) e uma elevada densidade demográfica, o que se reflete na distribuição dos recursos hídricos. Os principais usos da água são abastecimento populacional, abastecimento industrial, irrigação, aquicultura e dessedentação de animais. A figura 3.5 apresenta a distribuição da água entre esses usos para o ano 2007.

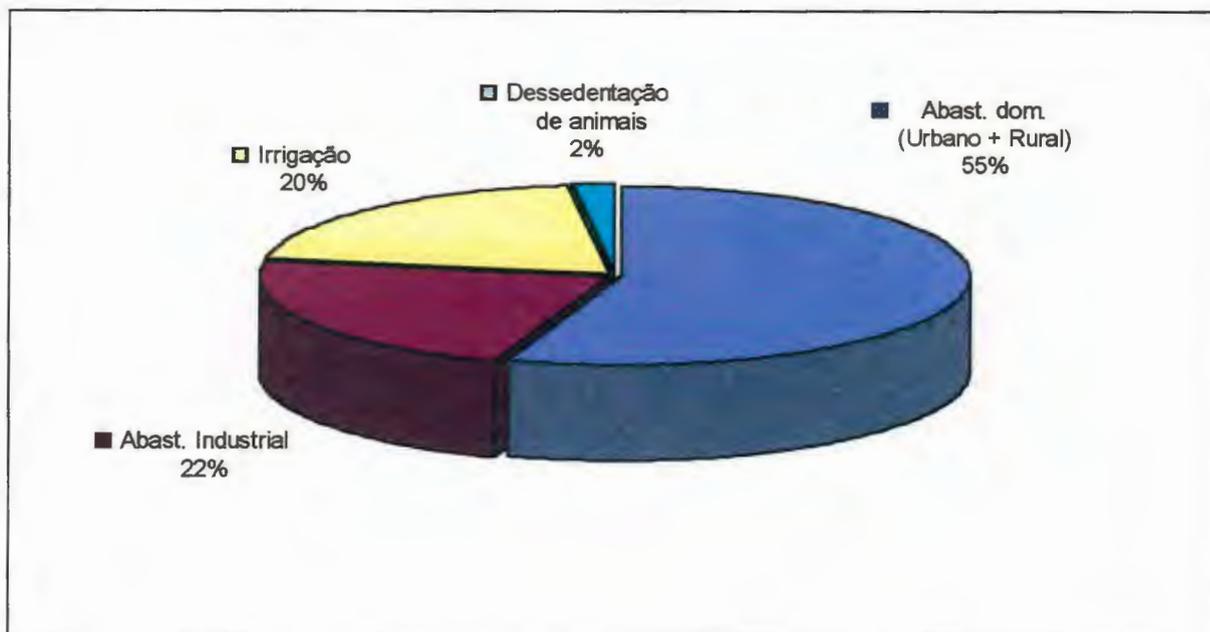


Figura 3.5: Usos dos Recursos Hídricos na Bacia do Rio dos Sinos - 2007

Segundo o trabalho citado, (MAGNA, 1996b), mesmo considerando a situação do ano 2007, a bacia do rio dos Sinos não apresenta problemas de ordem quantitativa. A figura 3.6 representa os valores projetados por MAGNA (1996b) para a demanda total de água no ano 2007 e as respectivas vazões de estiagem ( $Q_{7,10}$ ) para uma série de pontos ao longo do rio dos Sinos.

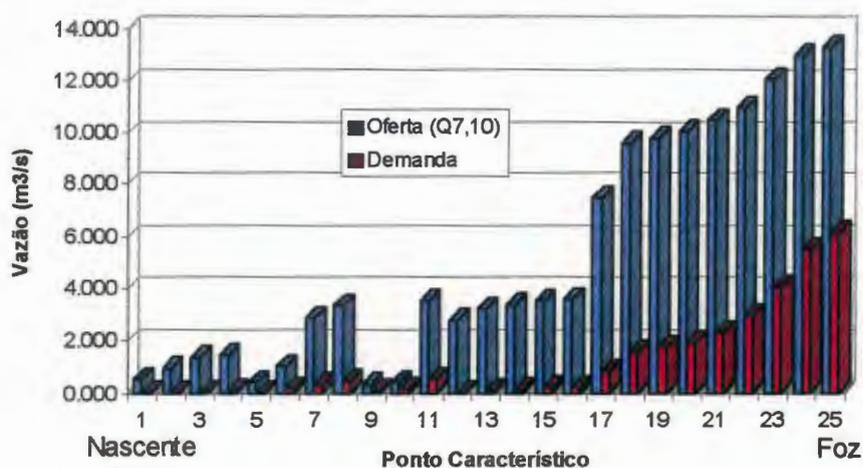


Figura 3.6: Confronto Disponibilidade x Demanda no ano 2007

### 3.2.2 Aspectos Qualitativos

Ainda segundo MAGNA (1996b), 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 lixívia de lixos,
- **Fontes difusas rurais (FDR):** incluem a erosão natural e artificial de pedreiras, saibreiras, matas, reflorestamentos e culturas;
- **Resíduos sólidos domésticos (RSD):** lixívia de aterros sanitários e lixões mal acondicionados;
- **Atividade agropecuária de dessedentação de animais (ADA):** 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 ambiental estadual, a Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM)
- **Efluentes de Irrigação do Arroz (IRR):** efluentes de lavouras de arroz irrigado.

As emissões dos principais poluentes identificados, projetadas para o ano 2007, horizonte de projeto adotado para o Plano Estadual de Recursos Hídricos, são apresentadas no quadro 3.9. 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 agrícola de dessedentação 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.

Quadro 3.9: Cargas Poluidoras Potenciais Totais Anuais em 2007

Fontes de poluição	Coli Fecais	DBO5	Nitrogênio total	Fósforo total	Sólidos totais
	(NPM/ano)	(t/ano)	(t/ano)	(t/ano)	(t/ano)
<b>EDU</b>	<b>1,28 . 10<sup>19</sup></b>	23.791,67	2.330,98	584,25	---
<b>EDR</b>	3,22 . 10 <sup>17</sup>	599,85	58,77	14,73	---
<b>DPU</b>	2,88 . 10 <sup>13</sup>	4.876,17	466,50	57,59	2.486,08
<b>FDR</b>	1,13 . 10 <sup>16</sup>	2 443.59	1 158.91	375.52	<b>77 260.45</b>
<b>RSD</b>	1,26 . 10 <sup>15</sup>	28 030.51	1 648.85	549.62	---
<b>ADA</b>	8,72 . 10 <sup>17</sup>	<b>46 976.11</b>	<b>4 609.20</b>	<b>1 162.39</b>	---
<b>EIT</b>	1,50 . 10 <sup>18</sup>	5 638.39	525.50	62.30	40 088.14
<b>IRR</b>	---	---	79.64	17.18	---
<b>Total</b>	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.

### 3.2.3 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 tinham 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 melhor técnica de tratamento que combina remoção de DBO<sub>5</sub>, sólidos em suspensão, nutrientes e coliformes fecais, são as lagoas de estabilização em série. Obtém-se a mesma eficiência de sistemas semelhantes, mas com um menor custo, apesar de necessitarem de grande área.
- **Efluentes domésticos rurais:** adotou-se o sistema fossa e sumidouro.
- **Drenagem pluvial urbana:** adotou-se como técnica de tratamento os banhados artificiais. Eles controlam com razoável eficiência DBO, sólidos em suspensão, nitrogênio, fósforo e coliformes. Normalmente, estas drenagens são conduzidas por gravidade por valos, canalizados ou a céu aberto, diminuindo o custo de transporte e bombeamento. Necessitam apenas de bombeamento junto ao sistema de tratamento.
- **Fontes difusas rurais:** optou-se por sistemas de retenção de silte, como lagoas de silte, terraceamento, faixas de revegetação, etc..

- **Resíduos sólidos domésticos:** optou-se pela bio-remediação *in loco*.
- **Atividade agropecuária de dessedentação de animais:** optou-se, no caso de animais estabulados em baias, galinheiros, pocilgas, etc., por 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.
- **Efluentes industriais tratados:** estes efluentes já são tratados à nível secundário nas indústrias da bacia; 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 econômicas para tratamento destes efluentes o que determinou que nenhuma solução fosse preconizada.

Estes tratamento teriam uma eficiência esperada de remoção de :

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

As soluções foram orçadas aplicando-se curvas de custo ajustadas a amostras formadas tendo por base dados de literatura, de projetos no Estado e no país. O quadro 3.10 apresenta os custos de investimento, 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 foi adotado um período de amortização de 20 anos e uma 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.

Quadro 3.10: 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\$	%
<b>EIT</b>	89 783 290	34.68	43 390 285	88.77	55 410 362	66.32
<b>DPU</b>	110 411 871	42.65	4 287 097	8.77	19 068 904	22.82
<b>EDU</b>	40 073 435	15.48	1 187 782	2.43	6 552 765	7.84
<b>FDR</b>	14 722 596	5.69	0	0.00	1 971 043	2.36
<b>EDR</b>	2 372 817	0.92	0	0.00	317 670	0.38
<b>RSD</b>	944 203	0.36	13 338	0.03	139 747	0.17
<b>ADA</b>	599 359	0.23	3 451	0.01	83 693	0.10
<b>IRR</b>	---	---	---	---	---	---
<b>Total</b>	258 907 571	100.00	48 881 954	100.00	83 544 183	100.00

## **4. METODOLOGIA:**

Conforme já apresentado no capítulo 3, a bacia do rio dos Sinos não apresenta problemas de ordem quantitativa. Entretanto foi projetada uma situação extrema onde serão testados alguns critérios de outorga apenas para efeito de análise. A cobrança será usada visando o gerenciamento qualitativo. Ou seja, a outorga será usada para o gerenciamento quantitativo e a cobrança para o gerenciamento qualitativo.

### **4.1 Análise de Critérios para a Outorga dos Direitos de Uso da Água**

No presente trabalho buscou-se a utilização de uma espécie de outorga da vazão excedente, onde procura-se assegurar a manutenção da vazão mínima necessária para atender as demandas essenciais durante todo o tempo. A vazão excedente é cotizada entre os usuários através de uma espécie de outorga que, já na sua emissão, especifica qual a prioridade de atendimento deste usuário e, portanto, prevê a situação na qual este terá seu atendimento parcial ou nulo. Dessa forma, só poderá haver falhas de atendimento a um determinado nível de usuário quando todos os usuários, com prioridade inferior de atendimento não tiverem suas demandas atendidas.

Para efeito desta simulação, considerou-se as seguintes prioridades de atendimento:

- primária - abastecimento humano;
- secundária - vazão mínima para ser mantida no rio;
- terciária, quaternária e quinquênária - usos diversos (irrigação, dessedentação de animais, etc.), a critério do órgão gestor da bacia.

Comumente considera-se como demanda prioritária a referente ao atendimento ao abastecimento humano mais a vazão mínima que deve ser mantida no rio por razões ambientais. Porém, em uma situação extrema, onde a vazão disponível só atende a uma dessas, é bastante provável que a população seja atendida em detrimento da preservação ambiental.

A bacia foi concebida como um sistema formado por sub-bacias, as quais dizem respeito a seções dos cursos d'água, os denominados pontos característicos. Estes se referem a locais de captação hídrica e/ou confluências de rios, ou mesmo pontos que se tenha interesse em estudar. A figura 4.1 apresenta a subdivisão utilizada na bacia dos Sinos com a localização dos pontos característicos.

A influência das intervenções nos diversos pontos da bacia com relação às demais posições é considerada ao se reproduzir a propagação dos escoamentos ao longo dos cursos d'água de forma seqüencial através do sub-modelo de simulação do SAGBAH, o programa PROPAGA, que será descrito na seqüência.

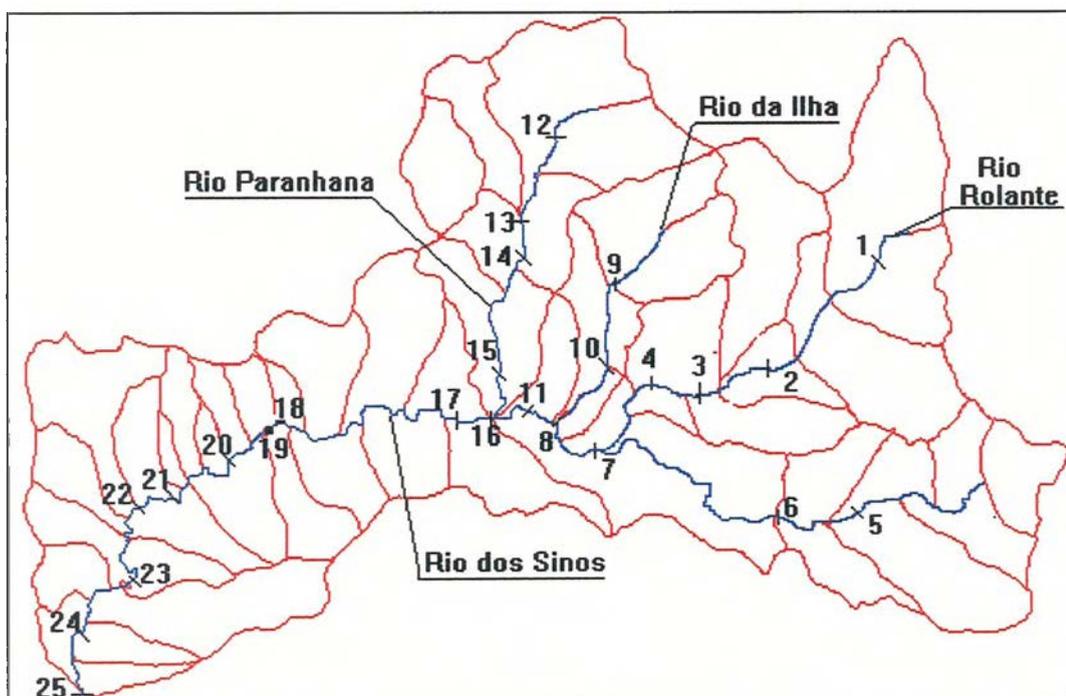


Figura 4.1: Topologia da bacia do rio dos Sinos

A figura 4.2, retrata as vazões que ocorreriam ao longo da extensão de um curso d'água a partir de sua nascente até a sua confluência ou foz.

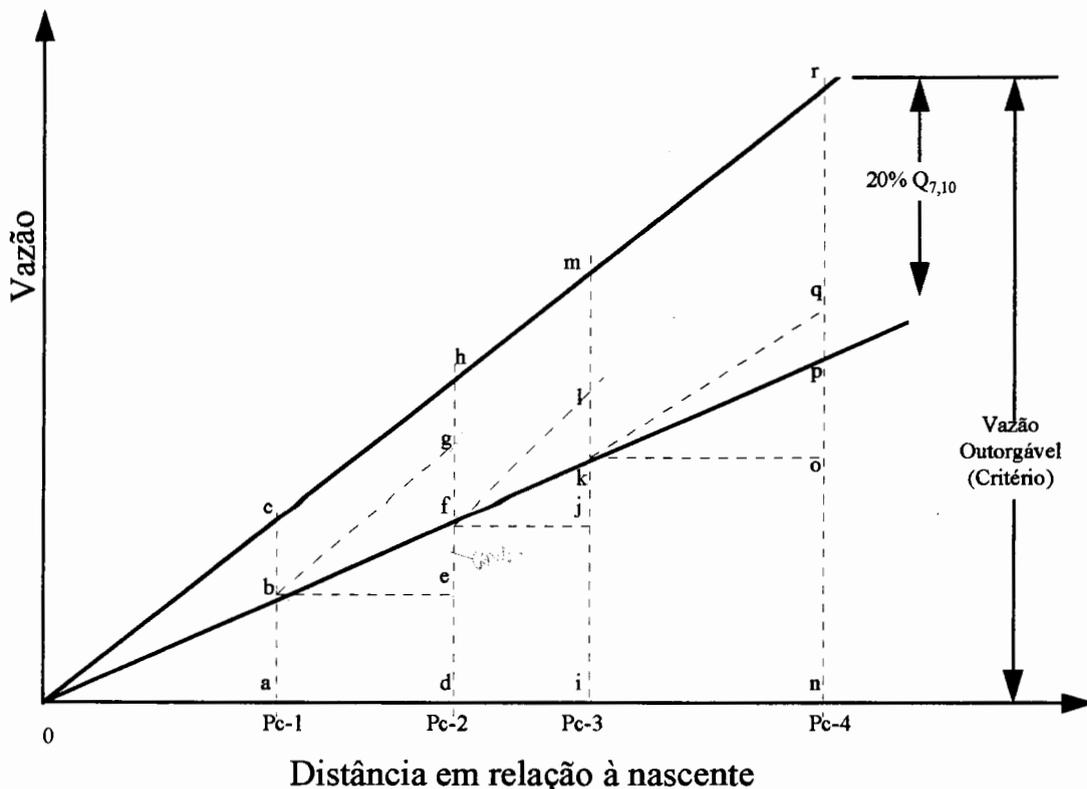


Figura 4.2: Esquema das Vazões ao Longo do Rio

Fonte: LUZ (1994)

Na figura 4.2, o segmento a-c indica a vazão que estaria escoando no ponto característico número 1 (pc-1), tendo sido produzida pela sub-bacia a montante. Esta figura retrata um momento no qual as vazões escoantes referem-se à própria vazão referencial para outorga, isto é, a vazão que constitui um critério de outorga. Neste caso, a vazão outorgável seria a-c, caso não existisse qualquer obrigatoriedade de se manter uma vazão mínima no rio para preservação ambiental. Portanto a vazão realmente outorgável corresponde ao segmento a-b. A vazão b-c escoará livre para jusante, correspondendo ao segmento g-h no pc-2.

A vazão total que chegaria no pc-2, caso não houvesse qualquer consumo a montante seria equivalente ao segmento d-h. No entanto, havendo o consumo total da vazão possível de outorga, a descarga afluyente ao pc-2 seria indicada por e-h. Desta, a parcela indicada por e-g relaciona-se com águas produzidas na sub-bacia incremental definida entre pc-1 e pc-2. Uma parcela desta vazão produzida na sub-bacia incremental deve ser mantida no leito, ou seja, não consumida. Na figura 4.2, está representada pelo segmento f-g. Assim o outorgável no pc-2

refere-se ao segmento e-f. De forma análoga este procedimento é válido para todos os pontos característicos da bacia.

Haverá uma proporcionalidade entre o valor das vazões produzidas pela sua sub-bacia incremental e sua respectiva área. Para efeito ilustrativo, a figura 4.2 apresenta esta proporção em relação à distância entre o pc em questão e o pc de montante.

#### **4.1.1 SAGBAH**

O SAGBAH - Sistema de Apoio ao Gerenciamento de Bacia Hidrográfica é um sistema computacional de apoio a decisões gerenciais voltado a proporcionar a análise da adequação de políticas de gerenciamento de bacias hidrográficas (CHAVES, 1993). Este sistema é bastante conhecido do meio técnico, já tendo sido utilizado em diversas ocasiões (CHAVES, 1993, LUZ, 1994) e uma descrição mais detalhada pode ser obtida na literatura mencionada.

##### **4.1.1.1 O programa PROPAGA MODIFICADO**

O modelo PROPAGA possibilita executar as simulações com intervalos de tempo de 5, 10, 15 ou 30 dias. O programa pressupõe que as vazões afluentes no trecho fluvial mais a montante da bacia hidrográfica possa atingir o trecho mais a jusante no mesmo intervalo de tempo de simulação. Ou seja, não é incorporado o tempo de passagem da água. Isto poderá constituir uma limitação à utilização do programa em bacias hidrográficas em que o tempo de passagem da água seja superior a 30 dias.

O suprimento das demandas hídricas são supostas de serem atendidas apenas em um único ponto característico, Ou seja, não é prevista a possibilidade de um centro de consumo ser suprido opcionalmente em mais de um trecho fluvial. Caso se verifique uma situação dessas, na realidade, haverá a necessidade de ser estabelecida a divisão da demanda entre tantas partes quantos sejam os pontos característicos que as suprirão.

Para a simulação dos critérios de outorga, conforme metodologia descrita, algumas modificações precisaram ser feitas no PROPAGA original, gerando a partir daí a versão que daqui para frente será chamada de PROP\_SI5, ou simplesmente, PROPAGA MODIFICADO.

As instruções ao PROP\_SI5 são introduzidas via arquivo em padrão ASCII, não formatados. O primeiro deles refere-se a arquivo com instruções gerais de execução do modelo dentre as quais constam a hierarquia dos vários pontos característicos e o “lay-out” das afluências, ou seja quais os pontos contribuem para quais. Além dessas informações, este arquivo contém relação das demandas que serão supridas com suas respectivas prioridades de atendimentos. O segundo arquivo refere-se às séries de vazões afluentes a cada ponto característico obtido do modelo CONTRIB o qual computa séries geradas pelo MODHAC.

As demandas são apresentadas por ordem de prioridade de atendimento em 5 arquivos:

arquivo 1 - abastecimento humano;

arquivo 2 - vazão mínima para ser mantida no curso d’água;

arquivo 3, 4 e 5 - usos diversos, a critério do órgão gestor da bacia.

Os arquivos relacionados com as prioridades de atendimento 3, 4 e 5 (usos diversos), são relacionados às vazões referenciais para critério de outorga produzidos nas sub-bacias incrementais a montante de cada ponto característico.

As demandas relacionadas com as prioridades de atendimento 3, 4 e 5 se referem a parcela da vazão que poderá ser outorgada para usos, como irrigação, dessedentação de animais, etc., a critério do órgão gestor.

Quanto a prioridade de atendimento às demandas, o programa teve seu algoritmo alterado. Na versão anterior, o programa buscava primeiro garantir o suprimento às demandas ditas prioritárias (abastecimento humano e vazão mínima para ser mantida no curso d’água) para depois suprir a parcela destinada aos outros usos. No caso da vazão disponível em determinado ponto característico não ser suficiente para atender todas as demandas, o programa atende as demandas primárias, deixando as demais com atendimento parcial ou nulo. No caso da vazão disponível em determinado ponto característico não ser suficiente para

atender nem as demandas primárias, o programa considera que houve falhas de atendimento e segue em frente com as simulações nos demais pontos. Neste caso houve falhas de atendimento, inclusive, para as demandas primárias.

Na versão modificada, quando a vazão disponível não é suficiente para atender todas as demandas, o programa verifica se até este ponto característico alguma demanda de prioridade inferior já foi atendida. Caso afirmativo, o programa retorna a este ponto e reduz este atendimento até atender integralmente a demanda de prioridade superior, ou até zerar o atendimento a esta demanda de prioridade inferior. De forma que uma demanda de prioridade superior só é atendida parcialmente quando todas as de prioridade inferior já tiverem seus atendimentos zerados. A figura 4.3 apresenta o fluxograma simplificado do PROPAGA MODIFICADO.

Observa-se que não existe reservatório na bacia em questão, por isso a redução do atendimento a uma demanda de prioridade inferior para atender uma de prioritária superior, quando ocorre, é no mesmo intervalo de tempo.

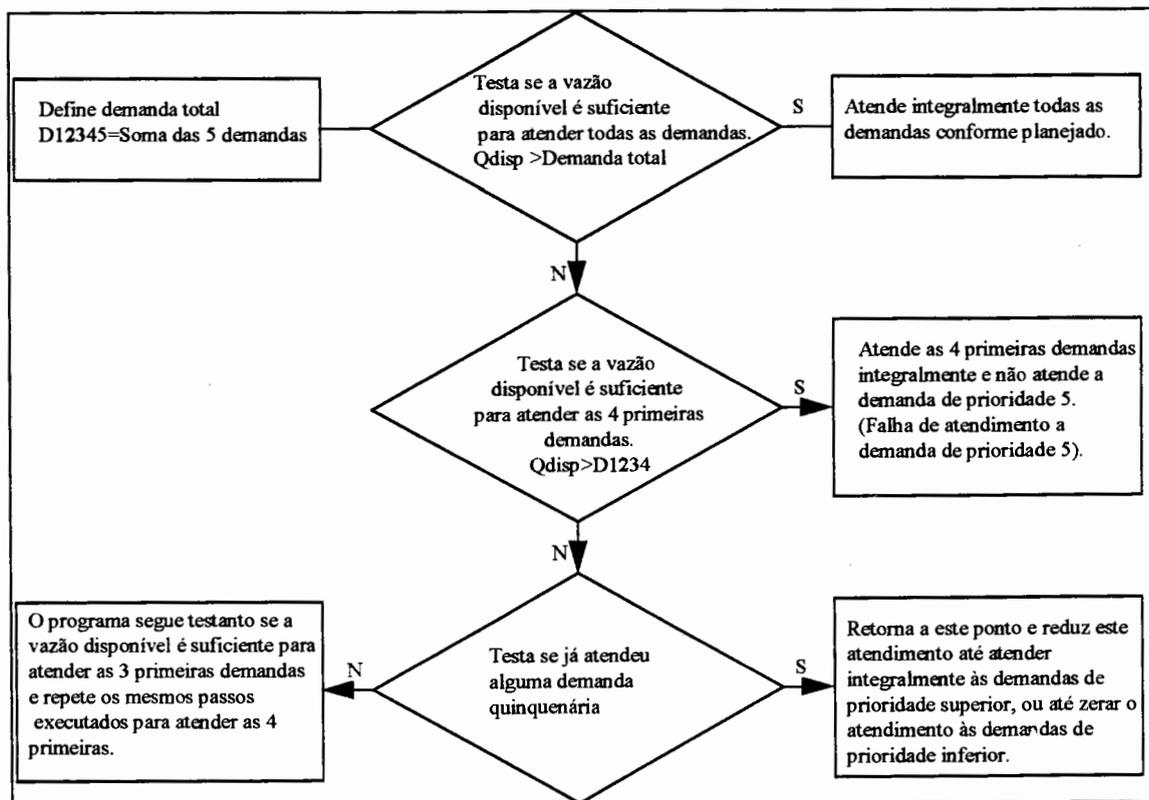


Figura 4.3: Esquema da tática operacional para distribuição de vazões no PROPAGA modificado

Uma definição importante para a avaliação dos resultados das simulações é o conceito de falhas de atendimento às demandas. Na versão anterior, o PROPAGA considera falha de atendimento a situação onde a vazão disponível é menor do que a demanda projetada, sem considerar o quão distante estes valores se encontram. Na versão modificada este conceito foi mais detalhado. O programa gera um arquivo, tipo ASCII, com a quantidade de intervalos de tempo que em cada ponto característico, uma das situações ocorreu:

- demanda atendida em mais de 90% do valor planejado;
- demanda atendida em menos de 90% do valor planejado.

Será considerada falha de atendimento apenas a situação onde a demanda for atendida em menos de 90% de seu valor planejado.

O modelo PROPAGA modificado gera um conjunto de 7 arquivos de saída, contendo as seguintes informações:

- vazões efluentes a cada ponto característico;
- demanda de prioridade de atendimento 1 atendida;
- demanda de prioridade de atendimento 2 atendida;
- demanda de prioridade de atendimento 3 atendida;
- demanda de prioridade de atendimento 4 atendida;
- demanda de prioridade de atendimento 5 atendida;
- relatório de falhas de atendimento às demandas.

O primeiro arquivo lista, para cada ponto característico, a vazão efluente em cada intervalo de tempo. Os cinco seguintes, apresentam as vazões que foram supridas para cada uma das demandas. Na situação onde o atendimento foi integral, estes valores são idênticos aos projetados.

Para avaliação dos resultados o arquivo que mais interessa é o último, onde apresenta um relatório do atendimento às citadas demandas. O quadro 4.1 apresenta um exemplo deste arquivo.

Os valores apresentados no quadro 4.1 representam a quantidade de intervalos que em cada ponto característico, uma das situações ocorreu:

- a demanda foi atendida em mais de 90% do valor projetado;
- a demanda foi atendida em menos de 90% do valor projetado (falha de atendimento).

Quadro 4.1: Relatório de atendimento às demandas - Exemplo do arquivo de falhas

Vazão de referência igual a 80% da $Q_{7,10}$ para a demanda de prioridade 3 (demandas 4 e 5 sem uso)										
PC	Demanda prioritária		Vazão mínima no rio		Demanda terciária		Demanda quaternária		Demanda quinquenária	
	$\geq 90$	$< 90$	$\geq 90$	$< 90$	$\geq 90$	$< 90$	$\geq 90$	$< 90$	$\geq 90$	$< 90$
1	1656		1656		1649	7	1656		1656	
2	1656		1656		1649	7	1656		1656	
3	1656		1656		1649	7	1656		1656	
4	1656		1656		1650	6	1656		1656	
5	1656		1656		1643	13	1656		1656	
6	1656		1656		1637	19	1656		1656	
7	1656		1656		1649	7	1656		1656	
8	1656		1656		1632	24	1656		1656	
9	1656		1656		1605	51	1656		1656	
10	1656		1656		1648	8	1656		1656	
11	1656		1656		1645	11	1656		1656	
12	1656		1656		1649	7	1656		1656	
13	1656		1656		1649	7	1656		1656	
14	1656		1656		1649	7	1656		1656	
15	1656		1656		1649	7	1656		1656	
16	1656		1656		1650	6	1656		1656	
17	1656		1656		1651	5	1656		1656	
18	1656		1656		1646	10	1656		1656	
19	1656		1656		1651	5	1656		1656	
20	1656		1656		1640	16	1656		1656	
21	1656		1656		1653	3	1656		1656	
22	1656		1656		1653	3	1656		1656	
23	1656		1656		1636	20	1656		1656	
24	1656		1656		1653	3	1656		1656	
25	1656		1656		1653	3	1656		1656	

Utilizando-se esta metodologia, o Estado (ou órgão gestor da bacia) pode outorgar valores maiores do que, por exemplo,  $Q_{7,10}$  sem comprometer o atendimento às demandas de prioridade superior e também sem criar um contencioso jurídico com os usuários de prioridade inferior. Na própria outorga será especificado o nível de prioridade e também quais as possibilidades de haver falhas no atendimento.

## 4.2 Critérios para Cobrança pelo Uso da Água

Dois tipos de cobrança serão utilizadas: uso 1 (uso da água bruta) e uso 4 (lançamento de efluentes).

Uso 1 - não existe investimento pelo aumento da outorga. Os recursos arrecadados deste grupo de usuários serão utilizados, por exemplo, para reduzir o pagamento de alguns poluidores que tenha 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 beneficiarão da melhor qualidade da água alcançada com a implantação dos tratamentos pagos pelos poluidores (princípio *beneficiário-pagador*).

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

### 4.2.1 Tarifação pela Captação de Água Bruta (Uso 1)

O modelo de tarifação adotado prevê a possibilidade de se considerar uma série de fatores de ponderação para a 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:

localização da captação - esta possibilidade é 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;

tipo de uso - o parâmetro  $K_U$  permite considerar o nível consuntivo do uso;

estação do ano - representado pelo parâmetro  $K_{EST}$ , pode ser utilizado para definir preços diferentes nas estações secas e úmidas.

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:

$$\$_{i,U} = K_i \cdot K_U \cdot K_{EST} \cdot Q_{i,U} \cdot \$ \quad (\text{Eq. 4.1})$$

onde:

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

Os valores de  $K_i$ ,  $K_u$  e  $K_{EST}$  são negociados ou arbitrados.

#### 4.2.2 Tarifação pelo Lançamento de Efluentes (Uso 4)

Deseja-se estabelecer um critério de tarifação que atenda os seguintes pré-requisitos:

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

A estrutura de cobrança adotada utiliza da seguinte equação:

$$\$F(i,j) = \sum_k \{ C_{ln}(i,k) \cdot C_{sb}(i,k) \cdot [ \$F(j) \cdot \$P(k) \cdot Carga(i,j,k) ] \} \quad (\text{Eq. 4.2})$$

onde:

- $\$F(i,j)$  - valor da cobrança anual a ser realizado da fonte de poluição  $j$  localizada na sub-bacia  $i$ ;
- $C_{ln}(i,k)$  - coeficiente de inefetividade do parâmetro  $k$  na sub-bacia  $i$ ;
- $C_{sb}(i,k)$  - coeficiente relacionado à sub-bacia  $i$  onde são realizados os lançamentos;
- $\$F(j)$  - componente do preço unitário básico relacionado à fonte de emissão  $j$ ;
- $\$P(k)$  - componente do preço unitário básico relacionado ao parâmetro  $k$ ;

Carga (i,j,k) - carga do parâmetro k, produzida pela fonte de poluição j, localizada na sub-bacia i;

A racionalidade da estrutura tarifária é estabelecer dois preços unitários básicos: um relacionado ao parâmetro de poluição, notado por  $\$p(k)$  e o outro relacionado à fonte de emissão, notado como  $\$f(j)$ . 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 j 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, à 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:

$$C_{in}(i,k) = \frac{[Carga(i,k) - Carga^*(i,k)]}{Carga^*(i,k)} \quad (Eq. 4.3)$$

Onde:

$C_{in}(i,k)$  - coeficiente de inefetividade;

Carga(i,k) - carga observada do parâmetro k na sub-bacia i;

Carga\*(i,k) - carga do parâmetro k a ser atingida na sub-bacia i;

Quando introduzido na fórmula da tarifa três situações podem ocorrer:

-  $C_{in}(i,k)$  é nulo - a fonte localizada na sub-bacia i não pagará nada pelo lançamento do parâmetro k;

- $C_{ln}(i,k)$  é positivo - neste caso a fonte emissora terá seu pagamento aumentado, caracterizando a situação de inefetividade;
- $C_{ln}(i,k)$  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 a, 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 não faz sentido. Esta situação pode ser considerada como um estímulo para que as fontes se localizassem nesta região.

Numa situação onde o objetivo previsto para um determinado trecho de rio seja a classe especial ( $Carga^* = 0$ ), haverá uma dificuldade de se expressar o coeficiente de ineficácia.

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 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:

$$C_{sb}(i,k) = \frac{Carga'(i,k)}{Carga(i,k)} \quad (\text{Eq. 4.4})$$

Onde:

$C_{sb}(i,k)$  - coeficiente relacionado à sub-bacia  $i$  onde são realizados os lançamentos;

Carga'(i,k) - carga média do parâmetro k observada na seção de monitoramento da sub-bacia i;

Carga(i,k) - carga total de lançamento do parâmetro k na sub-bacia i estimada indiretamente usando dados da literatura.

A diferença entre os dois valores são originadas 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

Finalmente, para aplicação da estrutura de cobrança apresentada bastará o estabelecimento dos preços unitários  $\$P(k)$  e  $\$F(j)$  para cada parâmetro indicador de poluição e fonte de emissão e aplicação da equação 4.2. 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. Este valor é dado pela equação 4.5. A equação 4.6 garante o atendimento deste critério.

$$\sum_i \sum_j [\$F(i,j)] = C_T \quad (\text{Eq. 4.5})$$

Onde:

$\$F(i,j)$  - valor da cobrança anual a ser realizado da fonte de poluição j localizada na sub-bacia i;

$C_T$  - custo total anual a ser arrecadado.

Substituindo  $\$F(i,j)$  por seu valor dado na equação 4.2 vem:

$$\sum_j \left[ \sum_i \left[ \sum_k \{ Cln(i,k) \cdot Csb(i,k) \cdot [\$F(j) \cdot \$P(k) \cdot Carga(i,j,k)] \} \right] \right] = C_T \quad (\text{Eq. 4.6})$$

Onde:

$C_{ln}(i,k)$  - coeficiente de inefetividade do parâmetro  $k$  na sub-bacia  $i$ ;

$C_{sb}(i,k)$  - coeficiente relacionado à sub-bacia  $i$  onde são realizados os lançamentos;

$\$F(j)$  - preço unitário básico relacionado à fonte de emissão  $j$ ;

$\$P(k)$  - preço unitário básico relacionado ao parâmetro  $k$ ;

Carga  $(i,j,k)$  - carga do parâmetro  $k$ , produzida pela fonte de poluição  $j$ , localizada na sub-bacia  $i$ ;

O critério 4 estabelece que cada fonte deverá pagar de acordo com seus custos de tratamento. Para introduzir esta diretriz é definido como “economia global” à diferença entre o que a bacia pagaria para adotar a solução técnica preconizada 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, na mesma solução técnica preconizada. Isto pode ser representado pela equação 4.7.

$$E = \frac{(C_T - C_R)}{C_T} \quad (\text{Eq. 4.7})$$

Onde:

$E$  - fração que a “economia global” representa do custo total;

$C_T$  - custo total anual a ser arrecadado para adoção da solução técnica preconizada;

$C_R$  - custo total anual a ser arrecadado para adoção de outra solução qualquer.

Assim a fonte poluidora  $j$  pagará anualmente o valor relativo ao seu custo na solução técnica preconizada descontada a fração  $E$ . O valor a ser pago pela fonte  $j$  é dado por:

$$\left[ \sum_i \left[ \sum_k \{ C_{ln}(i,k) \cdot C_{sb}(i,k) \cdot [ \$F(j) \cdot \$P(k) \cdot Carga(i,j,k) ] \} \right] \right] = (1 - E) \cdot C(j) \quad (\text{Eq. 4.8})$$

Onde:

$C_{ln}(i,k)$  - coeficiente de inefetividade do parâmetro  $k$  na sub-bacia  $i$ ;

$C_{sb}(i,k)$  - coeficiente relacionado à sub-bacia  $i$  onde são realizados os lançamentos;

$\$F(j)$  - preço unitário básico relacionado à fonte de emissão  $j$ ;

$\$P(k)$  - preço unitário básico relacionado ao parâmetro  $k$ ;

Carga  $(i,j,k)$  - carga do parâmetro  $k$ , produzida pela fonte de poluição  $j$ , localizada na sub-bacia  $i$ ;

$E$  - fração que a “economia global” representa do custo total;

$C(j)$  - custo do tratamento da fonte  $j$  na solução técnica preconizada, 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:  $C_{lnMédio}(k)$ . A proporção para o parâmetro  $k$  é representada pela equação 4.9.

$$P_k = \frac{\$P(k)}{C_{lnMédio}(k)} \quad (\text{Eq. 4.9})$$

Onde:

$P_k$  - proporção entre o preço unitário básico do parâmetro  $k$  e o quão distante este se encontra da situação desejada;

$\$P(k)$  - preço unitário básico relacionado ao parâmetro  $k$ ;

$C_{lnMédio}(k)$  - 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,  $P_{min} \leq P_i$ . 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  $\$F(j)$  e  $\$P(k)$  em um problema de otimização não-linear com a seguinte formulação (Quadro 4.2):

#### Quadro 4.2: Formulação do Problema de Tarifação

Maximize  $\{ P_{\min} \}$

$\$F(j)$  e  $\$P(k)$

sujeito a:

$$\sum_i [\sum_j [\sum_k \{ C_{ln}(i,k) \cdot C_{sb}(i,k) \cdot [\$P(j) \cdot \$C(k) \cdot Carga(i,j,k)] \}]] = C_T$$

$$\left[ \sum_i \left[ \sum_k \left\{ C_{ln}(i,k) \cdot C_{sb}(i,k) \cdot [\$F(j) \cdot \$P(k) \cdot Carga(i,j,k)] \right\} \right] \right] = (1-E) \cdot C(j)$$

$$P_k = \frac{\$P(k)}{C_{ln\ Medio}(k)}$$

$$P_{\min} \leq P_k$$

$$\$F(j) \text{ e } \$P(k) \geq 0$$

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

#### 4.2.3 Alocação Ótima dos Recursos

A metodologia apresentada para cobrança pelos usos da água (item 4.2) permite, uma vez definido o valor anual que se deseja arrecadar na bacia, ratear este montante entre os diversos usuários de forma a garantir a efetividade. Se o valor anual que se deseja arrecadar na bacia for equivalente ao necessário para adotar a solução técnica preconizada, conforme apresentada no capítulo 3, todas as fontes poluidoras serão tratadas. Porém, se a bacia não apresentar capacidade de pagamento que permita arrecadar o valor necessário para que a solução técnica preconizada seja adotada integralmente, ou por qualquer outra razão tal situação ocorra, como escolher quais fontes e em quais sub-bacias deverão ser feitos os tratamentos de forma minimizar a poluição no rio, ou em outras palavras maximizar o benefício?

Considerou-se mais uma vez que os tipos de tratamentos para as fontes poluidoras serão os mencionados na solução técnica preconizada e portanto, uma vez definido o valor

anual que deverá ser arrecadado, a questão é, dentre àqueles tratamentos, quais fontes deverão ser tratadas. Este problema será resolvido por programação linear.

A carga remanescente do parâmetro k é dado por:

$$CRT_k = \sum_i \sum_j (1 - K_{i,j} \cdot \alpha_k) \cdot Carga(i, j, k) \quad (\text{Eq. 4.10})$$

Onde:

$CRT_k$  - carga remanescente total do parâmetro k;

$K_{i,j}$  - variável inteira do tipo 1,0 que indica se a fonte j, situada na sub-bacia i, será ou não tratada;

$\alpha_{k,j}$  - eficiência de remoção para o parâmetro k, da fonte j, usando o tratamento indicado;

Carga(i,j,k) - carga do parâmetro k, produzida pelo poluidor j, na sub-bacia i.

A estimativa da carga remanescente total, conforme equação 4.10, traz uma série de simplificações. Supôs que a carga remanescente total na bacia é uma soma das cargas remanescentes em cada uma das sub-bacias, não sendo consideradas as alterações físico-químicas que ocorrem no trajeto. Isto evitou tornar o problema de otimização demasiadamente complexo.

O objetivo do problema é minimizar a soma ponderada da razão entre as cargas totais antes e depois da aplicação dos tratamentos. Este objetivo é representado pela equação 4.11.

$$\sum_k \beta_k \cdot \frac{CRT_k}{CT_k} \quad (\text{Eq. 4.11})$$

Onde:

$\beta_k$  - fator de ponderação para o parâmetro k;

$CRT_k$  - carga remanescente total do parâmetro k;

$CT_k$  - carga total do parâmetro  $k$ .

A introdução do coeficiente  $\beta_k$  permite que sejam consideradas prioridades regionais no que diz respeito a um programa de despoluição. Por exemplo, se em uma determinada bacia houver um interesse maior em se reduzir um determinado parâmetro  $k$ , basta atribuir um valor maior para o coeficiente  $\beta_k$ , na proporção direta do interesse em reduzir este parâmetro.

A restrição que a solução do problema proposto deve considerar, obviamente, é que a soma dos custos anuais para implantação dos tratamentos deve ser menor ou igual ao valor anualmente disponível para investimento.

$$\sum_i \sum_j K_{i,j} \cdot C(i,j) \leq ValorInvestido \quad (Eq. 4.12)$$

Onde:

ValorInvestido - valor anual que será investido na bacia;

$K_{i,j}$  - variável inteira do tipo 1,0 que indica se a fonte  $j$ , situada na sub-bacia  $i$ , será ou não tratada;

$C(i,j)$  - custo anual (investimento + O&M) do tratamento da fonte poluidora  $j$ , situada na sub-bacia  $i$ .

O quadro 4.3 mostra o problema formulado para ser resolvido por programação linear zero-um, ou seja, em que as variáveis de decisão assumem apenas valores 0 ou 1.

Quadro 4.3: Formulação do Problema de Alocação Ótima dos Recursos

$$\text{Min } \left\{ \sum_k \beta_k \cdot \frac{CRT_k}{CT_k} \right\}$$

Sujeito a

$$CRT_k = \sum_i \sum_j (1 - K_{i,j} \cdot \alpha_k) \cdot Carga(i, j, k)$$

$$\sum_i \sum_j K_{i,j} \cdot C(i, j) \leq ValorInvestido$$

#### 4.2.4 Sistema de Apoio à Decisão Desenvolvido no Excel

Na simulação de critérios de tarifação que visem a arrecadação do montante equivalente aos custos de tratamentos das fontes poluidoras muitas hipóteses poderão ser levantadas como, por exemplo, não tratar uma determinada fonte poluidora, utilizar subsídios diretos e/ou cruzados, etc, e ainda utilizar-se do valor arrecadado através da cobrança pela captação de água bruta para reduzir os custos dos poluidores envolvidos.

A combinação dessas possibilidades resulta em um conjunto bastante diversificado de alternativas. Estas alternativas 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 que permitirá aos usuários todas as facilidades já reconhecidas destes “softwares”.

Optou-se pela utilização da planilha eletrônica Excel versão 5.0 para Windows, desenvolvida pela Microsoft, pela disponibilidade e pela compatibilidade com outros pacotes utilizados no decorrer desta pesquisa. Porém poderia ter sido utilizado Lotus 123, Quatro-pró ou qualquer uma outra que ofereça os mesmos recursos.

A figura 4.4 ilustra as etapas que foram necessárias para a realização das simulações dos critérios de tarifação. Todas as etapas foram desenvolvidas de forma que a alteração de um componente em uma das etapas implica em uma alteração automática nas demais.

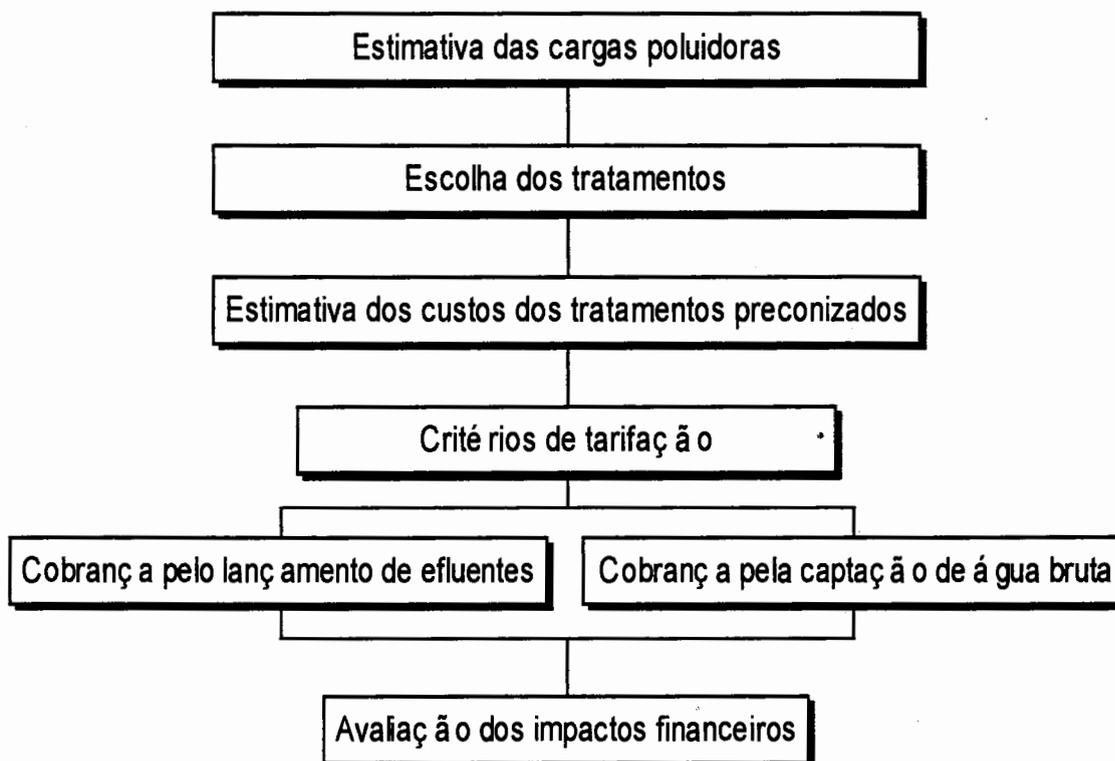


Figura 4.4: Etapas Desenvolvidas para Simular os Critérios de Tarifação

Os resultados das três primeiras etapas ilustradas na figura 4.4 já foram descritos no capítulo referente a dados disponíveis. 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.

#### 4.2.4.1 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 tarifação. Estes dados gerais serão utilizados para estimar os volumes consumidos por cada grupo de usuários. Esta 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. Esta planilha apresenta células, já definidas, que deverão ser preenchidas, conforme ilustra o quadro 4.4.

Quadro 4.4: Entrada de Dados para a Planilha de Cálculo da Tarifa de Captação

Coef. de Localização		Coef. de Uso		Coef. de Estação	
Região	$K_L$	Usuário	$K_U$	Estação	$K_E$
1	?	Pop.Urbana	?	Úmida	?
2	?	Pop.Rural	?	Seca	?
3	?	Irrigação	?		
4	?	Des.Animais	?		
5	?	Indústria	?		
6	?				
7	?				
8	?	Custo unitário			
9	?	<u>\$ (US\$/m<sup>3</sup>)</u>			
10	?	<u>?</u>			
11	?				
12	?				

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 o quadro 4.5.

Quadro 4.5: 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	?	?	?	?	?

#### 4.2.4.2 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.

- resumo dos custos - esta planilha contém o resumo dos custos dos tratamentos preconizados;

- 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;
- cálculo da tarifa - esta planilha é o cérebro do sistema. Ela calcula a tarifa com a aplicação do modelo;
- coeficientes de carga - nesta planilha estão os coeficientes que foram utilizados para estimar as cargas poluidoras potenciais anuais geradas por cada grupo de poluidor. Estes coeficientes serão utilizados para estimar a tarifa que cada poluidor deverá pagar;
- 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 4.2.2, são coeficiente de inefetividade  $C_{in}(i,k)$ , coeficiente de sub-bacia  $C_{sb}(i,k)$  e a carga gerada por cada poluidor Carga  $(i,j,k)$ . Os coeficientes  $C_{in}(i,k)$  e Carga  $(i,j,k)$  estão na planilha "padrão". A planilha "cálculo da tarifa" já 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 o quadro 4.6.

Quadro 4.6: Entrada de Dados para Utilização de Subsídio Direto

POLUIDOR	Custo Total (US\$)	Sub.Direto (US\$)	Desconto cap.água		Custo Liq. (US\$)
			%	(US\$)	
Efl. Ind.	55 410 362	0.00	0	0.00	55 410 362
D. P. Urb.	19 068 904	0.00	0	0.00	19 068 904
Pop. Urb.	6 552 765	0.00	0	0.00	6 552 765
F. D. Rur.	1 971 043	0.00	0	0.00	1 971 043
Pop. Rur.	317 670	0.00	0	0.00	317 670
Res. Sl. Dom.	139 747	0.00	0	0.00	139 747
Desd. Anim.	83 693	0.00	0	0.00	83 693
<b>Total</b>	<b>83 544 183</b>	<b>0.00</b>	<b>0</b>	<b>0.00</b>	<b>83 544 183</b>

Nota: As colunas hachuriadas indicam entrada de dados.

No quadro 4.6, a segunda coluna representa o custo para implantar a solução técnica preconizada. A terceira coluna (hachuriada) é reservada para a utilização de subsídio direto, situação onde a sociedade assumirá uma fração dos custos do tratamento de uma determinada fonte poluidora. Estas frações devem ser introduzidas nestas células em US\$. 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 e 1) e a quinta representa estes valores em US\$. Finalmente, a sexta coluna representa o custo de tratamento de cada fonte descontada 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 pelo quadro 4.7.

Quadro 4.7: Entrada de Dados para Utilização de Subsídio Cruzado

Poluidor	Efl. Ind.	D. P. Urb.	Pop. Urb.	F. D. Rur.	Pop. Rur.	Res. Sl. Dom.	Desd. Anim.
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
Desd. Anim.	0	0	0	0	0	0	1

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 Efl. Ind. com a coluna referente a F.D.Rur, 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 da solução técnica preconizada descontados as parcelas referentes ao subsídio direto e/ou utilização dos recursos obtidos com a cobrança pela captação, representado no quadro 4.6.

Para a solução do problema não-linear é acionada a opção "solver" do Excel, e precisa de aproximadamente 30 segundos para obter os resultados, utilizando-se um microcomputador Dx4, 100 Mh. O sistema apresenta os resultados dos parâmetros  $S_F(j)$  e  $S_P(k)$ , variáveis do problema, conforme ilustra o quadro 4.8.

Quadro 4.8: Resultado dos Parâmetros  $S_F(j)$  e  $S_P(k)$

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

Com os parâmetros  $S_F(j)$  e  $S_P(k)$  e utilizando-se a equação 4.1 o sistema calcula quanto cada poluidor deverá pagar. Estes resultados são ilustrados nos quadros 4.9 e 4.10.

Quadro 4.9: Preço unitário por fonte poluidora e por localização - exemplo

Zona	Pop. Urbana	D.P.Urbana	Res.Sol.Dom.	Pop.Rural	F.D.Rural	D. Animais (US\$/cab.ano)		Irrigação
	US\$/hab.ano	US\$/ha.ano	US\$/hab.ano	US\$/hab.ano	US\$/ha.ano	Peq.Porte	Gde.Porte	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

Quadro 4.10: 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

#### 4.2.4.3 Alocação Ótima dos Recursos

O módulo referente a esta etapa é composto por três planilhas assim denominadas: carga, custos e alocação.

- carga - esta planilha contém as estimativas das cargas poluidoras potenciais para cada grupo de poluidor, localizado em cada uma das 12 regiões que a bacia do rio dos Sinos foi dividida;
- custo - esta planilha contém os custos para tratar cada uma das fontes poluidoras em cada uma das 12 regiões que a bacia do rio dos Sinos foi dividida;
- alocação - esta planilha é o cérebro deste módulo. Nesta planilha o usuário informa quanto será investido na bacia e qual a eficiência de remoção do tratamento preconizado para cada poluente.

Para a solução do problema linear é acionada a opção "solver" do Excel, e precisa de aproximadamente 10 segundos para obter os resultados, utilizando-se um microcomputador Dx4, 100 Mh. O sistema apresenta os resultados das variáveis  $K_{i,j}$ , que indica se a fonte  $j$ , situada na sub-bacia  $i$ , será ou não tratada. Este resultado é apresentado conforme ilustra o quadro 4.11. Neste exemplo todas as fontes seriam tratadas.

Quadro 4.11: Resultado da Alocação ótima dos Recursos -  $K_{i,j}$

Região	Efl. Ind.	D. P. Urb.	Pop. Urb.	F. D. Rur.	Pop. Rur.	Res. Sl. Dom.	Des. Animais
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1

## Capítulo 5

# **APLICAÇÃO E RESULTADOS**

---

## 5. APLICAÇÃO E RESULTADOS

### 5.1 Análise de Critérios para a Outorga dos Direitos de Uso da Água

Nas simulações desenvolvidas com o modelo PROPAGA modificado foram utilizadas as séries de vazões médias de cinco dias, com extensão homogênea de 23 anos. As séries foram geradas deterministicamente com o modelo MODHAC (LANNA e SCHWARZBACH, 1989) para cada sub-bacia incremental a partir de chuvas, compreendendo o período de 1961 a 1983. As calibrações dos parâmetros do MODHAC foram desenvolvidas nos postos fluviométricos Entrepelado e Campo Bom para o período de 1961 a 1971. Nas simulações realizadas com o PROPAGA modificado não houve preocupação com o tipo de uso que a água outorgada teria. Considerou-se apenas que o tipo de uso seria consuntivo e ignorou-se qualquer retorno das águas utilizadas para o leito do rio. Buscou-se valores de vazões para serem outorgadas que resultassem em 90%, 80% e 70% de atendimentos para as prioridades 3, 4 e 5 respectivamente. Para isso adota-se um valor qualquer de vazão para cada ponto característico e executa o programa PROPAGA MODIFICADO para avaliar a quantidade de falhas de atendimento em cada PC. A depender deste resultado os valores das vazões iniciais são aumentadas ou diminuídas, caso na simulação anterior tenha resultado em quantidade de falhas menor ou maior que o desejado. Por causa da interconexão existente entre os pontos característicos (a mudança do valor da vazão outorgada em um ponto influencia nos demais à jusante), este procedimento deve ser repetido até que a quantidade de falhas de atendimento as demandas de prioridade 3, 4 e 5 sejam 10%, 20% e 30%, respectivamente, para todos os pontos característicos. Isto implica em um número considerável de simulações. Entretanto, o tempo de processamento é razoavelmente pequeno o que torna a tarefa factível.

Visando compatibilizar o estabelecimento das “demandas-limites” para as várias captações situadas seriamente ao longo dos cursos d’ água, concebeu-se como utilizáveis em cada ponto característico as vazões referenciais, produzidas pela sub-bacia incremental a montante.

Além disso, estabeleceu-se uma vazão mínima a ser mantida no leito do rio relativa a 20% da  $Q_{7,10}$  (referente à sub-bacia total a montante de cada ponto característico) para preservação ambiental e pequenos consumos não computáveis de caráter prioritário.

Os pontos característicos, apresentados na figura 4.1, foram definidos com base em localizações de captações para abastecimento de cidades, confluência de rios e de pontos onde existe um interesse especial em estudar seu comportamento, como por exemplo, o local onde o rio dos Sinos recebe a transposição do rio Caí.

A tática operacional adotada nas simulações está relacionada com as modificações efetuadas no programa PROPAGA. Inicialmente verifica-se a vazão afluente supera o valor referente ao conjunto total das demandas neste ponto característico. Este conjunto total de demandas se refere a vazão necessária para atender o abastecimento humano, vazão mínima para permanecer no rio e mais a vazão de referência, outorgada para os diversos usos de prioridade 3, 4 e 5. Caso esta vazão disponível seja pelo menos o equivalente ao conjunto total das demandas neste ponto característico, todas estas serão atendidas integralmente, conforme planejado.

Os valores adotados como vazões referenciais para efeito de outorga, salvo a fração reservada para ser mantida no rio (20% da  $Q_{7,10}$ ), não estão relacionadas nem com uma duração específica nem com um tempo de retorno específico. Trata-se, portanto, de um “valor mágico” de vazão que resultará em uma quantidade de falhas estabelecida. Pode-se destacar que neste caso o que é fixado é a quantidade de falhas enquanto na metodologia mais comum o que é fixado é a vazão.

## **5.2 Resultado da Análise de Critérios para a Outorga dos Direitos de Uso da Água**

Com os relatórios de falhas de atendimento às demandas resultantes da aplicação do modelo PROPAGA modificado (um para cada simulação) é possível comparar os resultados obtidos com os objetivos fixados no início deste trabalho. Verifica-se se a quantidade de falhas encontradas é maior ou menor do que 10%, 20% ou 30%, conforme a prioridade 3, 4 ou 5. Diminui ou aumenta as vazões testadas conforme o caso e repete a simulação até obter o conjunto de vazões que atende às demandas de prioridade 3, 4 e 5 com 90%, 80% e 70% de garantia de atendimento para todos os pontos característicos. O quadro 5.1 apresenta as vazões  $Q_{7,10}$ , que servem de referência para a outorga pelo método mais comum e as resultantes das simulações realizadas neste trabalho. A última coluna (vazão total) se refere a soma das vazões outorgáveis para as demandas terciárias, quaternárias e quinquenárias. Este

total é, em média, três vezes maior que as vazões equivalentes  $Q_{7,10}$  que seriam utilizadas como referenciais pelo método tradicional.

Quadro 5.1: Vazões Outorgáveis para 90%, 80% e 70% de Garantia de Atendimento

PC	$Q_{7,10}$ Incremental	Terciária		Quaternária		Quintenária		Vazão Total (m <sup>3</sup> /s)
		Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Atend. (%)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Atend. (%)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Atend. (%)	
1	0.510	1.420	89.86	0.0550	80.86	0.400	70.23	1.88
2	0.410	1.130	89.55	0.0550	80.86	0.600	69.87	1.79
3	0.430	1.070	89.73	0.0550	80.92	0.500	69.81	1.63
4	0.094	0.290	89.86	0.0550	80.98	0.100	69.93	0.45
5	0.386	0.900	89.55	0.0550	80.86	0.260	69.57	1.22
6	0.614	1.330	89.49	0.0550	80.80	0.500	69.44	1.89
7	0.406	1.218	89.61	0.0550	80.98	0.100	70.23	1.37
8	0.480	0.800	89.79	0.0550	80.62	0.250	69.81	1.11
9	0.310	0.270	89.61	0.0550	80.56	0.060	70.47	0.39
10	0.100	0.195	89.86	0.0600	80.92	0.100	70.29	0.36
11	0.200	0.375	89.55	0.0600	80.98	0.100	70.29	0.54
12	2.755	3.030	89.55	0.0100	77.48	0.050	70.17	3.09
13	0.488	1.300	89.61	0.0550	80.80	0.550	69.57	1.91
14	0.125	0.415	89.61	0.0550	80.80	0.110	69.75	0.58
15	0.176	0.500	89.55	0.0550	80.80	0.100	70.11	0.66
16	0.074	0.168	89.98	0.0600	80.74	0.100	69.87	0.33
17	0.325	0.735	89.49	0.0770	80.74	0.120	70.41	0.93
18	2.110	2.800	89.67	1.5000	80.43	0.080	70.65	4.38
19	0.177	0.550	89.86	0.1000	80.43	0.090	70.47	0.74
20	0.262	0.011	87.98	0.1000	79.95	0.070	70.29	0.18
21	0.438	0.915	89.86	0.2000	79.65	0.080	70.17	1.20
22	0.490	1.100	90.10	0.1000	80.62	0.200	69.99	1.40
23	1.140	0.500	90.16	0.7000	79.29	0.070	70.71	1.27
24	0.889	2.410	90.04	0.2000	79.47	0.350	70.29	2.96
25	0.311	0.435	89.98	0.2000	79.47	0.100	69.69	0.74

Para efeito de comparação entre as metodologias (vazão de referência fixa e quantidade de falhas fixa), realizou-se uma simulação fixando a vazão de referência em 80% da  $Q_{7,10}$  e reservando 20% da  $Q_{7,10}$  para permanecer no rio (vazão ambiental). A quantidade de falhas nos atendimentos é praticamente desprezível conforme ilustra o quadro 4.1.

As figuras 5.1 e 5.2 apresentam as vazões efluentes na foz do rio dos Sinos (pc - 25) para as seguintes situações:

1. não foi utilizado nenhum critério de outorga (vazões naturais);
2. utilizado a outorga de uma vazão de referência fixada em 80% da  $Q_{7,10}$ ;
3. utilizado a outorga para uma quantidade de falhas fixadas em 10%, 20% e 30% para as demandas terciárias, quaternárias e quindenárias.

O primeiro caso representa as vazões que ocorreriam na foz do rio dos Sinos caso a água só tivesse sido utilizada para o abastecimento humano e vazão ambiental. O segundo e o terceiro representam as vazões que ocorreriam na foz do rio dos Sinos caso fosse adotado o critério de outorga a vazão de referência fixa igual a 80% da  $Q_{7,10}$  e quantidade de falhas fixas, respectivamente. O critério da vazão de referência fixa ao utilizar pequenos valores como referência obtém maiores garantias de que não haverá falhas de atendimentos às demandas, entretanto, na maior parte do tempo uma vazão considerável não será utilizada. Por outro lado, o critério que fixa a quantidade de falhas permite uma melhor utilização destas vazões excedentes. Nas figuras 5.1 e 5.2, a diferença entre as curvas que representam as vazões efluentes na foz do rio dos Sinos (pc - 25), utilizando-se os critérios de outorga baseado na vazão de referência fixa e na quantidade de falhas fixas, representa o acréscimo nas vazões outorgáveis que se obtém ao se utilizar o segundo critério (quantidade de falhas fixa) ao invés do primeiro (vazão de referência fixa). Ou seja, ao se utilizar o critério de outorga baseado na quantidade de falhas consegue-se outorgar valores maiores de vazão e por conseguinte restará menos para escoar na foz (menores vazões remanescentes).

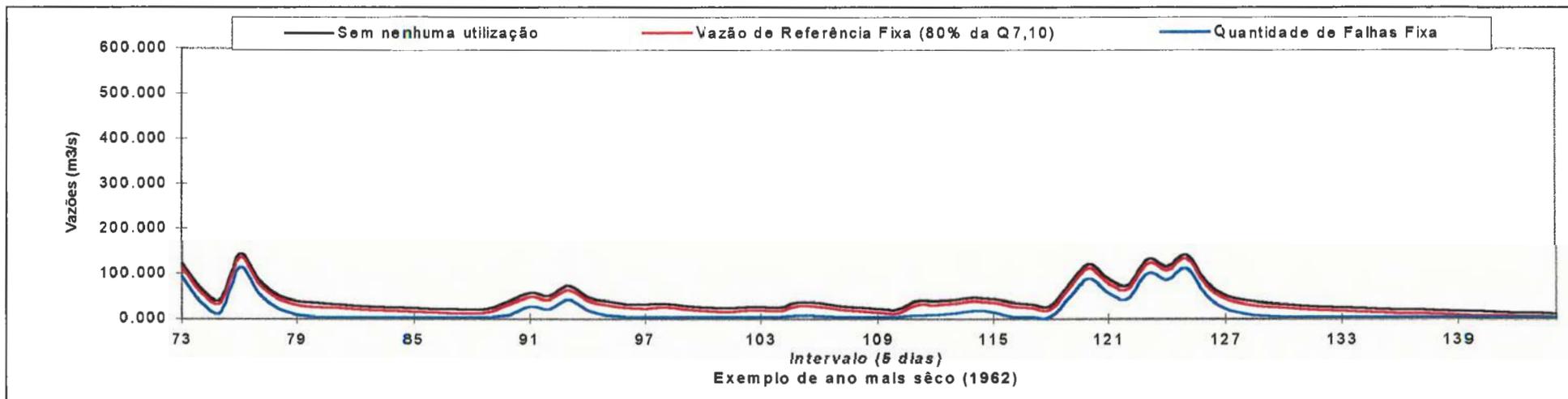


Figura 5.1: Vazões Efluentes na Foz do Rio dos Sinos (pc - 25) - Exemplo de ano mais seco

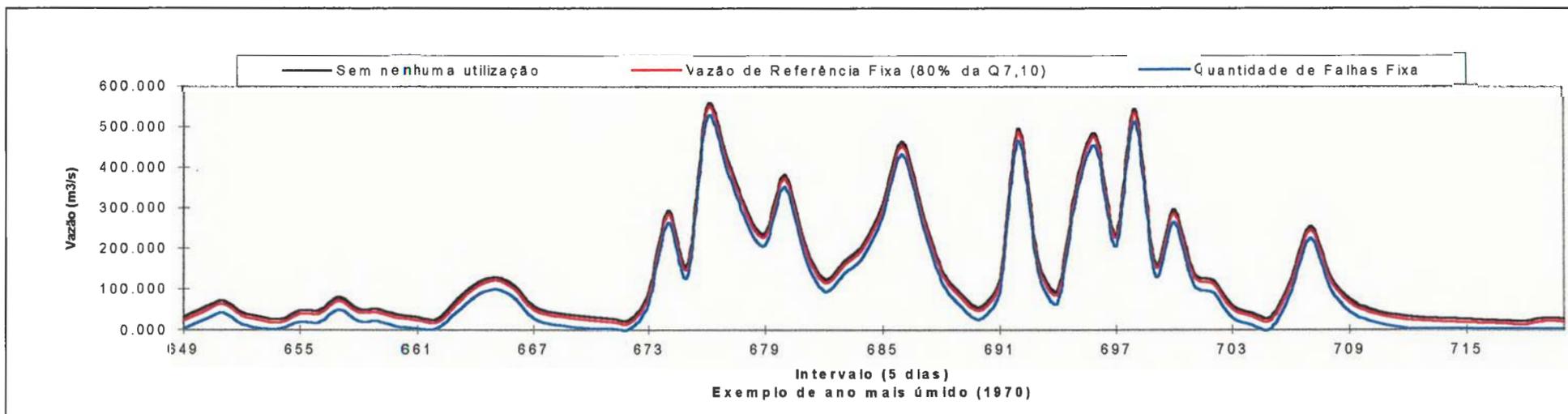


Figura 5.2: Vazões Efluentes na Foz do Rio dos Sinos (pc - 25) - Exemplo de ano mais úmido

### 5.3 Critérios para Cobrança pelo Uso da Água

No caso deste estudo, a cobrança tem, entre outros objetivos, gerar recursos para cobrir as despesas decorrentes de obras para melhorar a 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, ou seja, é preciso definir um cronograma de investimento.

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, considerou-se todos os dados referentes aos parâmetros envolvidos no sistema tarifário como àqueles projetados para o ano 2007 e supôs-se que o montante arrecadado anualmente será constante, o que a rigor, não corresponde a 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.

A figura 5.3 mostra as sub-bacias contribuintes para cada trecho do rio dos Sinos, formando portanto 12 regiões que serão utilizadas para efeito da cobrança.

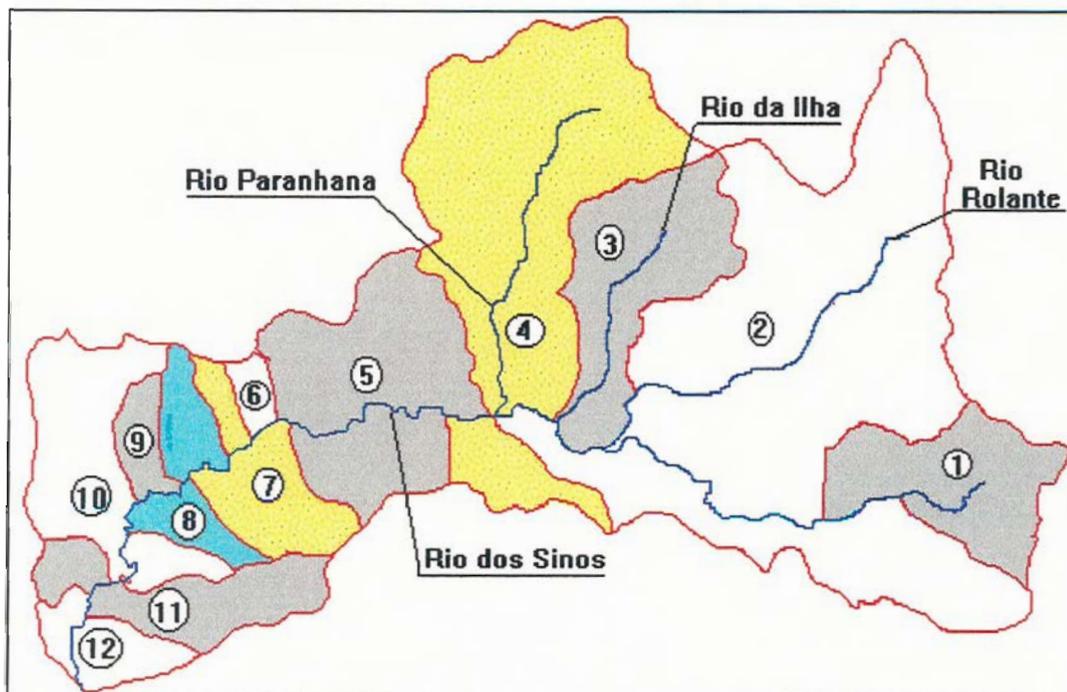


Figura 5.3: Sub-bacias contribuintes para cada trecho do rio do Sinos

### 5.3.1 Tarifação pela 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 usuário, 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:

- 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;
- 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, o que pode levar a superestimação desses valores.

Conforme ilustra a figura 5.3, para efeito de cobrança a bacia do rio dos Sinos foi subdividida em 12 regiões e que portanto deverá ter preços diferenciados. Porém, considerando que esta área não apresenta problemas de ordem quantitativa, optou-se por uma estrutura tarifária simplificada onde o preço da água não sofrerá variação espacial nem temporal o que torna os parâmetros  $K_i$  e  $K_{EST}$  constantes iguais a 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 no quadro 5.2.

Quadro 5.2: 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
Des.Animais	0.25	0.005
Indústria	1.5	0.030

O fato do 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 a cobrança.

Os preços unitários apresentados no quadro 5.2, com exceção do referente a irrigação e dessedentação de animais, estão de acordo com os utilizados por CONEJO (1993) e são bastante próximos dos obtidos por GARRIDO (1996) (ver quadro 2.10). Estudos realizados mostram que o custo operacional médio para a irrigação é de US\$ 0.07/m<sup>3</sup> (MAGNA, 1996c) o que justifica o valor adotado para este grupo ser visivelmente inferior aos apresentados acima.

A bacia do rio dos Sinos tem sua disponibilidade hídrica ampliada pela transposição que recebe do rio Caí. Considerou-se que este volume recebido também será cobrado, ou seja, a bacia do rio dos Sinos pagará a bacia do rio Caí pelo volume recebido. O preço unitário desta operação foi adotado como US\$ 0.02/m<sup>3</sup>.

### 5.3.2 Resultado da Tarificação pela Captação de Água Bruta

O tipo do modelo tarifário utilizado para cobrança pela captação de água bruta permite conhecer o preço que deverá ser cobrado de cada usuário de forma instantânea, 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 utilizou-se os volumes anuais que deverá ser consumido por cada grupo de usuário, no ano 2007, estimados por MAGNA (1996b). O quadro 5.3 apresenta estes valores e o quadro 5.4 apresenta os valores que deverão ser arrecadados em cada uma das 12 regiões que a bacia do rio dos Sinos foi subdividida.

Quadro 5.3: Volumes Anual Consumidos por Cada Grupo de Usuário

Região	Volume anual consumido (m <sup>3</sup> )				
	Pop.Urbana	Pop.Rural	Irrigação	Des.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

Quadro 5.4: Total Anual Arrecadado por Tipo de Usuário e por Região (US\$)

Região	Total anual arrecadado por tipo de usuário (US\$)				
	Pop.Urbana	Pop.Rural	Irrigação	Des.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

Para estimar os volumes anuais consumidos por cada grupo de usuário, MAGNA (1996b), considerou que os consumos per capita são constantes ao longo do ano, o que pode levar a superestimação desses volumes. No caso da irrigação, os consumos per capita foram considerados constantes ao longo dos três meses em que esta atividade ocorre (jan-mar), e portanto, o volume anual se refere ao consumo destes meses, estando também sujeito a erros de superestimação. 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.

Quadro 5.5: 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
Des.Animais	19 439	0.44
Indústria	1 381 209	30.95
Total	4 462 914	100.00

Considerando a vazão da transposição do rio Caí para o rio dos Sinos constante e igual a  $2.55 \text{ m}^3/\text{s}$ , resulta em um volume anual de  $80\,416\,800 \text{ m}^3$ . O preço que a bacia do rio dos Sinos deverá pagar para a bacia do rio Caí foi fixado em  $\text{US\$ } 0.02/\text{m}^3$ , mesmo preço cobrado para o abastecimento humano o que resulta em um montante anual de  $\text{US\$ } 1\,608\,336$ . Deduzindo este valor do total arrecadado ( $\text{US\$ } 4\,462\,914$ ) resta  $\text{US\$ } 2\,854\,578$  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 tenha pequena capacidade de pagamento, o que será objeto de simulação no próximo item.

### 5.3.3 *Tarifação pelo Lançamento de Efluentes (Uso 4)*

O coeficiente de inefetividade  $C_{in}(i,k)$  foi considerado proporcional a quanto a concentração do parâmetro  $k$  viola os limites tolerados no trecho fluvial controlado da sub-bacia  $i$ , limites estes, relacionados com os objetivos de qualidade que se deseja atingir. Para efeito deste trabalho, admitiu-se como objetivo a ser alcançado o cenário 2, proposto por

MAGNA (1996a). O quadro 5.6 apresenta estes objetivos em relação a resolução 20/86 do CONAMA e os valores obtidos para o coeficiente de inefetividade.

Quadro 5.6: Coeficiente de Inefetividade -  $C_{in}(i,k)$

Sub-bacia	Trecho do Rio	Cenário 2 (Classe) <sup>1</sup>	$C_{in}(i,k) \Rightarrow$ Coef. de inefetividade				
			Coli Fecal	DBO <sub>5</sub>	Nitrogênio total	Fósforo total	Sólidos totais
1	Nascente - SI 11	E	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.

Está previsto para o primeiro trecho do rio dos Sinos, conforme cenário 2, Classe Especial. Isto cria uma dificuldade de se expressar o coeficiente de inefetividade já que a Carga = 0. Considerou-se que esta fração do trecho 1 não será enquadrado na Classe Especial e sim na classe 2, tal qual os trechos seguintes.

As cargas poluidoras potenciais utilizadas neste trabalho foram estimadas indiretamente por MAGNA (1996b), utilizando-se dos coeficientes de cargas apresentados no quadro 5.7.

Quadro 5.7: Coeficientes para Cálculos de Cargas Poluidoras Potenciais

USOS / PARÂMETROS	Coliformes Fecais	DBO	Nitrogênio	Fósforo	Sólidos Totais
População Urbana (t/hab.ano)	$8.47 \times 10^{12}$	0.0158	0.00155	0.00039	NP
População Rural (t/hab.ano)	$8.47 \times 10^{12}$	0.0158	0.00155	0.00039	NP
Drenagem Pluvial Urbana (t/ha.ano)	$1.50 \times 10^9$	0.254	0.0243	0.003	0.1295
Fontes Difusas Rurais (t/ha.ano)	$2.51 \times 10^{10}$	0.00544	0.00258	0.00084	0.172
Resíduos Sólidos Domésticos (t/hab.ano)	$8.40 \times 10^8$	0.01862	0.0011	0.00037	NP
Irrigação de arroz (t/ha.ano)	NP	NP	0.02081	0.00449	NP
Dessedentação de animais (t/cab.ano)					
Grande Porte	$2.63 \times 10^{12}$	0.15184	0.0149	0.00376	NP
Pequeno Porte	$8.76 \times 10^{10}$	0.00197	0.00019	4.8E-05	NP
Atividades Industriais (mg/l)					
Couros, Peles e Similares	$1.00 \times 10^7$	210.0	3.3	2.0	1775.0
Bebidas e Alcool	$1.00 \times 10^6$	350.0	10.0	1.0	170.0
Têxtil	$8.00 \times 10^7$	22.0	27.5	1.2	750.0
Produtos Alimentares	$7.00 \times 10^7$	260.0	30.0	5.0	981.0
Química e Petroquímica	$1.00 \times 10^4$	145.6	27.5	1.1	405.0
Metalúrgicas e Siderúrgicas	$1.00 \times 10^4$	10.0	2.6	0.6	656.0
Papel Celulose e Papel Papelão	$1.00 \times 10^4$	250.0	10.0	1.2	1440.0
Utilidade Pública	$7.00 \times 10^7$	300.0	30.0	1.0	650.0

Fonte: MAGNA (1996a)

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. O quadro 5.8 apresenta as estimativas para este parâmetro.

Quadro 5.8: Coeficiente Relacionado à Sub-bacia -  $C_{sb}(i,k)$

Sub-bacia	Coliformes 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

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 tarifação.

O primeiro pré-requisito estabelecido para o critério de tarifação (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 consideradas àqueles estimados por MAGNA (1996c) para a solução técnica preconizada apresentado na capítulo 3 deste trabalho. 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 tarifação (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 serão utilizados 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 ser investidos na bacia.

De posse dessas informações, utiliza-se o sistema de apoio à decisão desenvolvido no Excel, para estimar as tarifas que deverão ser cobradas de cada poluidor. Cinco simulações são realizadas e estão descritas no quadro 5.9.

Quadro 5.9: Simulação 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	—	—	—	Ídem, exceto Efl. Ind. e D. P. Urb.
4	9 064 917	—	F. D. Rur. e Pop. Rur.	10 000	Ídem, exceto Efl. Ind. e D. P. Urb.
5	9 064 917	Efl. Ind. subsidia F. D. Rur. e Pop. Rur.	—	10 000	Ídem, exceto Efl. Ind. e D. P. Urb.

A solução técnica preconizada prevê tratamento avançado para os efluentes industriais já que este grupo de poluidores já são tratados à nível secundário o que implica em maiores

custos para remover a mesma quantidade de poluentes, se comparados com poluidores que ainda não utiliza nenhum tipo de tratamento. O quadro 5.10 apresenta as cargas poluidoras potenciais, em relação ao total produzido na bacia, a exceção dos efluentes industriais que se refere a cargas remanescente.

Quadro 5.10: Cargas Poluidoras Potenciais Totais por Fonte - 2007 (%)

Fonte poluidora	Coli-Fecais NPM/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	
Desd. Anim.	5.640	41.810	42.370	41.167	
Irrigação			0.732	0.609	
Total	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

\* se refere a carga remanescente dos efluentes industriais

Confrontando os dados apresentados no quadro 5.9 com o quadro 3.10, pode se verificar que os efluentes industriais contribui com 9.68%, 5.02%, 4.83%, 2.21% e 33.45% de toda carga de coliformes fecais, dbo, nitrogênio total, fósforo e 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 coliformes fecais, 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, daí o interesse em simular a situação onde os tratamentos para estas fontes seriam excluídos e, portanto, o custo total anual seria reduzido para US\$ 9 064 917.

#### **5.3.4 Resultados da Tarifação pelo Lançamento de Efluentes**

Admitiu-se que a população urbana assumirá os custos de tratamento da drenagem pluvial urbana e dos resíduos sólidos domésticos, além do custo de tratamento de sua própria poluição. A população rural assumirá apenas os custos de tratamento de sua própria poluição e os custos referentes ao tratamento das fontes difusas rurais serão assumidos pelos proprietários das áreas.

Observando-se 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, multiplicou-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 apresentados na linha hachuriada do quadro 5.12, representando o valor que a população urbana deverá pagar.

Os valores dos parâmetros  $C_{ln}(i,k)$  e  $C_{sb}(i,k)$ , utilizados pelo modelo de tarifação, varia espacialmente na bacia fazendo com que exista um conjunto diferente de preços que serão cobrados do mesmo poluidor, a depender 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 cobrado de cada grupo de poluidor. Estes valores estão identificados no quadro 5.12 como ““max” e “min”, representando respectivamente os maiores e menores valores que serão cobrados daqueles grupos de poluidores.

O modelo de tarifação adotado considera que cada grupo de poluidores deverá contribuir com o equivalente a seus custos de tratamento, descontado as parcelas de subsídio direto ou mesmo da economia obtida com o não tratamento de uma determinada fonte e acrescida da parcela referente ao subsídio cruzado, se houver. Conforme comentado no capítulo 3, não foi proposto nenhum tipo de tratamento para a irrigação, porém admitiu-se 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, apenas considerou-se sua capacidade de pagamento.

O quadro 5.11 apresenta os valores dos parâmetros do modelo tarifário para as simulações realizadas. No quadro 5.12 estão os preços unitários que deverão ser cobrados de cada poluidor em função de sua localização na bacia.

Quadro 5.11: Parâmetros do modelo tarifário - resultado das simulações

	Parâmetros do modelo de tarifação 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]	77.25	866.22	8.38	433.26	433.11
\$P[Nt]	20.58	230.81	2.23	115.45	115.41
\$P[Pt]	4 218.31	47 365.50	457.71	23 658.10	23 682.75
\$P[St]	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

Quadro 5.12: Custo 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	4 842.34	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
Dessed. 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	0.0002	0.002	0.0002	0.0002	0.0000	0.0002	0.00002	0.0002	0.00002
MET	US\$/m <sup>3</sup>	0.002	0.0002	0.002	0.0002	0.0002	0.0000	0.0002	0.00002	0.0002	0.00002
PAPEL	US\$/m <sup>3</sup>	0.002	0.0003	0.002	0.0003	0.0002	0.0000	0.0002	0.00004	0.0002	0.00004
UTIL	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

CPS = Couros, Peles e Similares; B&A = Bebidas e Alcool; 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.

### 5.3.5 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 a quantidade de poluentes gerados, o que indica que uma conversão de unidade será necessário 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 no quadro 5.13 e são os mesmos utilizados por MAGNA (1996b) para estimar os consumos na bacia do rio dos Sinos.

Quadro 5.13: Consumo per capita dos diversos usos da água

<i>Usuário</i>	<i>Consumo per capita</i>	<i>Volume (m<sup>3</sup>/ano)</i>	<i>Cobrança captação</i>
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/ha.s	11 664.00	58.320 US\$/ha.ano

O quadro 5.2 apresenta os preços unitários da captação de água bruta para cada um dos tipos de usos considerados. Estes preços aplicados à terceira coluna do quadro 5.13 (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 no quadro 5.12, para cada uma das simulações testadas. No caso das atividades industriais o preço total é uma soma simples entre os apresentados no quadro 5.12 e àqueles apresentados no quadro 5.2. O preço unitário anual total que cada usuário deverá pagar está apresentado no quadro 5.14.

Para avaliação do impacto da cobrança, MAGNA (1996c), pesquisou as principais atividades econômicas usuárias da água na bacia. Seus custos operacionais e o consumo de água foram estimados, permitindo estabelecer a fração custo operacional / m<sup>3</sup> de água

consumida, de acordo com o quadro 5.15. Esta fração permite a avaliação, de forma indireta, do impacto da cobrança sobre a atividade, através do incremento dos custos operacionais resultantes.

Quadro 5.14: Custo Unitário Total pelo Uso da Água (Custo da Captação de Água Bruta + Custo do Lançamento de Efluentes)

Fonte Poluidora	Unidade	1		2		3		4		5	
		Max	Min								
Dessed. 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 Alcool; 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.

Quadro 5.15: Custos Operacionais por m<sup>3</sup> de Água Consumida

ATIVIDADE	CUSTO OPERACIONAL US\$ /m <sup>3</sup>
<b>AGRICULTURA</b>	
Arroz irrigado	0.07
<b>INDÚSTRIA</b>	
Metal mecânica	
Metalurgia	344.78
Equipamentos de refrigeração	1 200.00
Setor de couros	
Curtumes	59.97
Beneficiamento de couros	49.66
Fabricação de calçados	2 800.00
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	1 284.00
Tintas	213.77
Outros	36.62

Analisando-se o quadro 5.15, verifica-se que a irrigação é a atividade mais vulnerável à cobrança. No ramo industrial a indústria de papel e celulose é a que apresenta maior sensibilidade relativa à cobrança.

#### 5.3.5.1 População Rural e Urbana

A população rural tem custo unitário menor do que a urbana apenas nas simulações onde seus custos são reduzidos por algum tipo de subsídio. Na segunda simulação utilizou-se dos recursos obtidos com a cobrança pela captação de água bruta para pagar 90% desses custos (subsídio direto). Na quarta e quinta simulação houve aplicação de subsídio direto e cruzado (indústria assume custos da população rural) respectivamente. Vale ressaltar que a exclusão do tratamento dos efluentes industriais e drenagem pluvial urbana gera uma “economia global” que é distribuída de forma proporcional ao custo total de cada fonte.

A população urbana não recebe nenhum tipo de subsídios nas simulações realizadas. Este grupo de poluidores só tem seus custos reduzidos pelo não tratamento dos efluentes industriais e drenagem pluvial urbana (distribuição da “economia global”).

Devido a 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 individualizada 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).

#### ***5.3.5.2 Efluentes industriais***

Este é o grupo de poluidores com maior capacidade de pagamento, conforme pode ser verificado no quadro 5.15. O quadro 5.16 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.

#### ***5.3.5.3 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 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.

Quadro 5.16: Acréscimo 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
<b>CPS</b>											
Benef. de couros	46.66	3.6583	0.1715	3.6579	0.1715	0.4544	0.0759	0.4538	0.0759	0.4687	0.0764
Curtumes	59.97	2.8464	0.1334	2.8460	0.1334	0.3535	0.0591	0.3531	0.0591	0.3647	0.0594
Fábrica de calçados	2 800.00	0.0610	0.0029	0.0610	0.0029	0.0076	0.0013	0.0076	0.0013	0.0078	0.0013
<b>B&amp;A</b>	262.29	0.0754	0.0134	0.0754	0.0134	0.0184	0.0117	0.0184	0.0117	0.0186	0.0117
<b>TXT</b>	63.21	21.2646	0.6719	21.2620	0.6718	2.3505	0.1152	2.3471	0.1151	2.4349	0.1177
<b>ALIM</b>	235.75	4.9906	0.1595	4.9900	0.1595	0.5530	0.0287	0.5523	0.0286	0.5729	0.0292
<b>Q/PET</b>											
Química fina	1 284.00	0.0025	0.0023	0.0025	0.0023	0.0024	0.0023	0.0024	0.0023	0.0024	0.0023
Tintas	213.77	0.0149	0.0141	0.0149	0.0141	0.0141	0.0140	0.0141	0.0140	0.0141	0.0140
Outros	36.62	0.0871	0.0824	0.0871	0.0824	0.0825	0.0820	0.0825	0.0820	0.0825	0.0820
<b>MET</b>											
Metalurgia	344.78	0.0092	0.0088	0.0092	0.0088	0.0088	0.0087	0.0088	0.0087	0.0088	0.0087
Equip. de refrigeração	1 200.00	0.0027	0.0025	0.0027	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
<b>PAPEL</b>	5.47	0.5868	0.5546	0.5868	0.5546	0.5526	0.5491	0.5526	0.5491	0.5528	0.5491

#### **5.3.5.4 Irrigação**

Considerando-se que a irrigação ocorrerá durante três meses, utilizando uma vazão de 1.5l/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, representa um acréscimo percentual nos seus custos operacionais de 7.14%. Na cobrança pelo lançamento de efluentes admitiu-se que este grupo de poluidores contribuirá 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.

#### **5.3.6 Alocação Ótima dos Recursos**

Para aplicação do sistema de tarifação é necessário definir quanto se deseja arrecadar na bacia. Considerando que a solução técnica preconizada vai ser utilizada e que esta pode ser aplicada integralmente ou em parte, em função dos recursos obtidos pode-se optar por tratar algumas fontes, deixando outras sem nenhum tipo de tratamento. Nas simulações realizadas no item anterior, em função do montante arrecadado se excluiu a possibilidade de se tratar algumas dessas fontes.

Conhecido o montante que será investido na bacia, valor este menor que o necessário para tratar todas as fontes conforme solução técnica preconizada, o problema é onde aplicar estes recursos de forma a minimizar a poluição no rio, ou de outra forma, maximizar o benefício gerado por estes recursos. Para os valores fixados nas simulações 3, 4 e 5 do item anterior, a resposta para esta questão é direta, pois àqueles valores correspondem exatamente aos custos de tratamento das fontes descontadas às excluídas (drenagem pluvial urbana e efluentes industriais). Porém, na realidade, o valor que será investido na bacia é uma variável que, por exemplo, poderá ser proveniente de um empréstimo, de uma decisão do Estado ou mesmo do Comitê de Bacia. Esta metodologia permite, uma vez definido o montante que será aplicado na bacia, em função das alternativas de tratamento e custos apresentados na solução

técnica preconizada, identificar quais fontes e em quais sub-bacias deverão ser aplicados os recursos de forma a minimizar a poluição no rio.

Considerou-se que os tratamentos propostos na solução técnica preconizada apresentam as eficiências de remoção indicadas a seguir:

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

O parâmetro  $\beta_k$  da função objetivo (equação 4.10), permite introduzir prioridades regionais no que diz respeito ao programa de despoluição para o parâmetro  $k$ . No caso da bacia do rio dos Sinos, os parâmetros mais críticos são o fósforo e os coliformes fecais (LANNA, PEREIRA e DE LUCCA, 1996). Por esta razão priorizou-se o abatimento destes parâmetros atribuindo-se para o coeficiente  $\beta_k$  referente ao fósforo e aos coliformes fecais 3 e 2, respectivamente. Os demais foram mantidos iguais a unidade.

O passo seguinte é resolver o problema utilizando-se técnicas de programação linear e isto é feito utilizando-se o sistema de apoio à decisão desenvolvido no Excel. A planilha de cálculo Excel resolve problemas de programação linear (e também não-linear) com até 200 variáveis. Este sistema de apoio à decisão permite uma flexibilidade muito grande possibilitando que qualquer variação deste problema possa ser resolvido quase que instantaneamente a partir de simples modificações dos valores através de células.

Apenas para ilustrar sua utilização, simulou-se uma alternativa onde o valor que será investido na bacia é de US\$ 5 000 000. As prioridades regionais no que diz respeito ao programa de despoluição estão representados no quadro 5.17.

Quadro 5.17: Prioridades Regionais: Valores  $\beta_k$

Parâmetro	$\beta_k$
DBO	1
Coliformes Fecais	2
Nitrogênio	1
Fósforo	3
Sólidos Totais	1

Os resultados obtidos para as variáveis  $K_{i,j}$ , que indica se a fonte poluidora  $j$ , localizada na região  $i$  será ou não tratada são apresentados no quadro 5.18.

Quadro 5.18: Resultados das Variáveis  $K_{i,j}$  para um Investimento de US\$ 5 000 000

Região	Efl. Ind.	D. P. Urb.	Pop. Urb.	F. D. Rur.	Pop. Rur.	Res. Sl. Dom.	Des. Animais
1	0	0	0	0	0	1	1
2	0	0	1	0	0	1	1
3	0	0	1	1	1	1	1
4	0	0	1	1	0	1	1
5	0	0	1	1	0	1	1
6	0	0	0	1	0	1	1
7	0	0	0	1	0	1	1
8	0	0	1	1	1	1	1
9	0	0	1	1	1	1	1
10	0	0	1	1	1	1	1
11	0	0	0	1	0	1	1
12	0	0	0	1	0	1	1

Os resultados obtidos indicam que a dessedentação de animais e os resíduos sólidos domésticos serão tratados em toda bacia. Os efluentes industriais e a drenagem pluvial urbana, por outro lado, não o serão em nenhuma das 12 regiões. Os demais poluidores só serão tratados nas regiões onde indicado no quadro 5.18. O quadro 5.19 apresenta os custos de tratamento para cada grupo de poluidores localizados em cada uma das 12 regiões da bacia do rio dos Sinos.

Quadro 5.19: Custo do Tratamento para cada uma das Regiões da Bacia do Rio dos Sinos

Região	Res. Sl. Dom.	Pop. Urb.	D. P. Urb.	Desd. Anim.	Pop. Rur.	Efl. Ind.	F. D. Rur.	Total
1	787	47 179	199 915	10 279	29 440	20 005	469 688	777 292
2	1 990	97 380	401 198	20 480	58 587	7 597	872 278	1 459 511
3	1 148	42 545	182 362	4 493	15 532	0	270 565	516 644
4	7 824	308 560	1 101 371	15 158	48 405	124 475	344 454	1 950 248
5	18 142	735 244	2 523 708	15 928	52 863	705 228	4 901	4 056 013
6	2 186	157 344	292 763	1 908	2 885	676 578	140	1 133 804
7	19 758	1 092 609	3 059 544	2 631	20 067	3 558 751	556	7 753 916
8	19 676	1 222 525	3 039 812	1 193	25 394	5 979 737	558	10 288 894
9	9 511	475 674	1 448 946	422	16 753	2 684 783	140	4 636 228
10	16 179	642 786	1 989 069	5 056	31 959	20 793 912	833	23 479 794
11	26 013	1 007 956	2 829 210	3 320	12 635	15 651 019	2 311	19 532 465
12	16 533	722 963	2 001 006	2 825	3 150	5 208 277	4 620	7 959 373
<b>Total</b>	<b>139 747</b>	<b>6 552 765</b>	<b>19 068 904</b>	<b>83 693</b>	<b>317 670</b>	<b>55 410 362</b>	<b>1971 043</b>	<b>83 544 183</b>

## Capítulo 6

# **Conclusões e Recomendações**

---

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES:

O sistema de apoio à decisão desenvolvido no Excel mostrou-se muito versátil e eficiente. Possuindo a vantagem de permitir aos usuários todas as facilidades já reconhecidas destes “softwares”, além de tornar o sistema flexível para testar novas alternativas.

O critério de outorga proposto neste trabalho estabeleceu um sistema com diversos níveis de prioridades relativas, no qual os usos menos prioritários deverão ser cessados sempre que um de maior prioridade tiver falhas de suprimento. Este critério foi simulado na circunstância de existência de 5 níveis de prioridades: abastecimento (prioridade 1), vazão de proteção ambiental (prioridade 2, 20% da  $Q_{7,10}$ ), e prioridades 3, 4 e 5. Possivelmente, em uma primeira aplicação deste instrumento deverá ser evitado um número tão grande de prioridades relativas. Nos teste realizados a adoção de tantos níveis foi justificada unicamente pelo interesse de investigação. Na prática, recomenda-se não ultrapassar 3 níveis de prioridades, em um primeiro momento, evitando-se tornar demasiadamente complexo e entendimento do instrumento de outorga e exigir fiscalização excessivamente detalhada.

Para adoção deste sistema de outorga, recomenda-se que o Estado ou Órgão gestor da bacia:

1. realize um levantamento das disponibilidades de água na bacia;
2. realize um levantamento dos usos de água na bacia;
3. com base nas informações anteriores, desenvolva um Sistema de Controle de Disponibilidades e Usos de Água, que permita estimar as vazões hídricas naturais nos rios pertencentes a bacia, e as alterações induzidas pelo uso antrópico;
4. com base neste sistema, e a sistemática de outorga adotada, regularize os usos antigos da água através da emissão de outorgas, e outorgue, quando for adequado, novos usos ;
5. controle os usos de água nos rios pertencentes a bacia, através de um sistema permanente de monitoramento e fiscalização.

As maiores dificuldades práticas da adoção deste critério é a necessidade de fiscalização do cumprimento das outorgas e, principalmente, das ordens de restrição às

captações de água por parte de demandas não prioritárias, na medida em que demanda de maior prioridade não sejam supridas.

Um sistema de outorga como foi preconizado apresenta a vantagem econômica e social de permitir o uso mais intenso da água disponível, ao ampliar o valor total da água outorgada. Por outro lado, para que isso seja viabilizado, há a necessidade de ser aceita social e politicamente a possibilidade de restrição do uso como uma das ferramentas operacionais. Da mesma forma, há a necessidade de um melhor aparelhamento do sistema de Gerenciamento de recursos Hídricos, através do monitoramento hídrico, simulação de cenários em tempo real, a tomada da decisão em face aos resultados e a fiscalização da obediência destas decisões, relacionadas à redução de captação de água.

Com relação ao instrumento de cobrança do uso da água, sobretudo a cobrança pelo lançamento de efluentes, foi tratado como um problema de rateio de custo. Os montantes que serão cobrados de cada usuário foram estabelecidos através de alguns critérios de equidade de forma que seja no total arrecadado o valor anual a ser investido. Não existiu a preocupação de aprofundar questões de ordem micro-econômicas, 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 as discrepâncias na distribuição de renda, recomenda-se que seja feita uma divisão por faixa de renda e uma análise dos impactos individualizada sobre cada uma dessas.

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).

## **Capítulo 7**

# **Referências Bibliográficas**

---

- 17 LANNA, A. E. 1996. Instrumentos econômicos de gerenciamento ambiental. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. [Notas de aulas].
- 18 LANNA, A. E., PEREIRA, J. S. 1996. Simulação da cobrança pelo uso da água na bacia do rio dos Sinos. In: SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL., 3, 1996, Gramado. Anais. [S. l.] ABES:ANDIS. v. 1, p. 78.
- 19 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. v. 1, p. 79.
- 20 LUZ, L. D. 1994. Análise de critérios simplificados para outorga dos direitos de uso da água na bacia do rio Grande, Bahia. Porto Alegre: UFRGS - Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 191f. Diss. Mestr. Engenharia Civil.
- 21 MAGNA ENGENHARIA LTDA. 1996a. Diagnóstico dos usos e disponibilidade de água na bacia. In: \_\_. Simulação de uma proposta de gerenciamento dos recursos hídricos na bacia do rio dos Sinos, RS: Relatório. Porto Alegre. v. 2.
- 22 MAGNA ENGENHARIA LTDA. 1996b. 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. v.1.
- 23 MAGNA ENGENHARIA LTDA. 1996c. Impactos econômicos e financeiros. In: \_\_. Simulação de uma proposta de gerenciamento dos recursos hídricos na bacia do rio dos Sinos, RS: Relatório. Porto Alegre. v. 3.
- 24 MARTINEZ Jr., F. e BRAGA Jr. B. P. F. 1995. O princípio usuário-pagador e o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11., 1995, Recife. Anais. ABRH. v. 3, p. 85-90.
- 25 MILLER, R. L. 1981. Microeconomia - teoria, questões e aplicações. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 507p.
- 26 OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU. 1995. La gestion del agua por cuenca vertente. In: \_\_. Modulo de formacion multimedia. Rio de Janeiro. 220p.
- 27 PEARCE, D. W. 1985. Economia ambiental. México: Fondo de cultura econômica. 258p.
- 28 PEARCE, D. W., TURNER, R. K. 1990. Economics of natural resources and the enviroment. Londres: Harvest Wheatsheat. 378p.
- 29 RIO GRANDE DO SUL [Lei nº 10.350] 1994. Política Estadual de Recursos Hídricos: Lei n. 10.350 de 30 de dezembro de 1994. [Porto Alegre: CRH-RS] 29p.
- 30 SOUZA, M. P. 1993. A cobrança e a água como bem comum. Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro, v. 13, n.1, p25-55.
- 31 TARQUÍNIO, T. T. 1993. Taxa de poluição ambiental - Simulação de instrumentos econômicos à gestão dos recursos hídricos no Paraná: Coletânea de textos traduzidos. Curitiba: IAP-GTZ. 52p.
- 32 TURNER, R. K., PEARCE, D. W., Bateman, I. 1994. Environmental economics - an elementary introduction. Londres: Harvest Wheatsheat. 378p.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- 1 BRASIL Constituição. 1988. Constituição República Federativa do Brasil. São Paulo: Encyclopaedia Britannica do Brasil. 226p.
- 2 BURSZTYN, M. A. A., OLIVEIRA, S. L. 1982. Análise da experiência estrangeira no gerenciamento dos recursos hídricos. Brasília: Secretaria Especial do Meio Ambiente.
- 3 CÁNEPA, E. M. 1995. Economia do meio ambiente. In: \_\_\_. Introdução a economia. São Paulo: ATLAS: cap. 16, p. 413-438.
- 4 CEPAL. 1995. Mercados de derechos de agua: Entorno legal. Santiago.
- 5 CHAVES, E. M. 1993. Propostas para o planejamento da bacia do rio mosquito no norte de Minas Gerais. Porto Alegre: UFRGS - Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 191f. Diss. Mestr. Engenharia Civil.
- 6 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, v. 27, p. 28-62, abr./jun.
- 7 CORDEIRO NETTO, O. M. 1995. Estimativa do valor econômico da água: uma discussão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11., 1995, Recife. Anais. ABRH. v. 3, p. 45-50.
- 8 CORREA, S. L. 1983. La gestion integree des ressources en eau - le cas du Brésil. Paris: Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales.
- 9 FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA. 1995. Censo sócio-econômico dos municípios do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- 10 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.
- 11 GIASANTE, A. E. 1995. Cobrança pelo uso do recursos hídricos: uma contribuição. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11., 1995, Recife. Anais. ABRH. v. 3, p. 69-72.
- 12 GRANZIERA, M. L. M., 1993. Direito de águas e meio ambiente. São Paulo: Icone Editoras. 378p.
- 13 LANNA, A. E., Schwarzbach, M. 1989. MODHAC - Modelo Hidrológico Auto-calibrável. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. 55f. (Recursos Hídricos, Publicação n. 21).
- 14 LANNA, A. E. 1993. Gerenciamento de bacia hidrográfica. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. 76f. (Recursos Hídricos, Publicação n. 29).
- 15 LANNA, A. E. 1995a. 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.
- 16 LANNA, A. E. 1995b. Cobrança pelo uso da água: reflexões sobre sua aplicação no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11., 1995, Recife. Anais. ABRH. v. 3, p. 79-84.

- 33 THE WORLD BANK. 1995a. Toward sustainable management of water resources. Philadelphia.
- 34 THE WORLD BANK. 1995b. ECONOMICS NOTES - BRAZIL: MANAGEMENT OF WATER RESOURCES. Philadelphia.