

# UMA AVALIAÇÃO DOS CUSTOS DE CONTROLE DA POLUIÇÃO HÍDRICA DE ORIGEM INDUSTRIAL NO BRASIL

**Francisco Eduardo Mendes**

*Coordenadoria de Estudos do Meio Ambiente do IPEA/DIPES*

*e-mail: femendes@ipea.gov.br*

## **Resumo**

*O presente artigo avalia a participação da indústria de transformação nos lançamentos de matéria orgânica e de metais pesados nos principais corpos d'água brasileiros e os custos necessários para a redução destes lançamentos.*

*As estimativas são feitas a partir da análise de uma base de dados contendo mais de 4.600 estabelecimentos industriais, e que abrange 12 dos principais gêneros da indústria de transformação no Brasil em 13 estados, e da aplicação de um modelo para o cálculo dos níveis agregados de remoção e dos custos de controle necessários para a remoção dos poluentes baseado na resposta individual das fábricas a um instrumento de comando-e-controle.*

*O modelo é aplicado para a construção de três cenários: um com a máxima remoção individual possível das cargas poluidoras e outros dois com níveis de remoção mínima individual de 50% e 75%. Os resultados da aplicação do modelo são apresentados desagregados por estado, gênero e bacia hidrográfica, seguidos por uma análise dos eventuais impactos sobre a indústria nacional da aplicação destas políticas.*

*Este artigo é uma versão resumo da Tese de Mestrado defendida pelo autor na COPPE/UFRJ sob a orientação de Emilio La Rovere e Ronaldo Seroa da Motta.*

## **1. INTRODUÇÃO**

As questões ligadas ao meio ambiente no Brasil vêm sendo polarizadas em duas vertentes principais: os problemas das grandes cidades, advindos da crescente concentração populacional, da falta de saneamento básico, da poluição industrial, da circulação de veículos, da disposição de lixo e do uso desordenado do solo urbano e os problemas típicos do interior, relacionados com a exaustão e degradação dos recursos naturais através da expansão do extrativismo mineral e vegetal e da fronteira agrícola.

A solução destes problemas não é única: se nas áreas rurais de fronteira a tomada de decisões sobre o modelo de desenvolvimento ainda está em aberto, permitindo ações mais integradas, nos grandes centros urbanos a estratégia para a melhoria nas condições ambientais é primordialmente a correção dos danos já causados e a adoção de medidas profiláticas visando evitar erros já cometidos.

Estas idéias já estão bem assimiladas pela sociedade, sendo necessária agora a ação em termos concretos no sentido de se não resolver, pelo menos mitigar estes problemas de modo a garantir uma qualidade de vida melhor aos cidadãos do país. E para esta ação é necessário conhecimento da natureza e da extensão de cada um dos temas acima citados.

Os corpos d'água são bens de uso comum, apresentando múltiplos usos para os diversos agentes da sociedade. Dentre eles pode-se citar o abastecimento para as populações, a irrigação das lavouras, a dessedentação de animais, o abastecimento das indústrias, a preservação de ecossistemas, o lazer, a composição da paisagem e a diluição de rejeitos.

Isoladamente, cada uma dessas atividades prejudica, em maior ou menor escala, os outros usos potenciais. O aproveitamento dos corpos d'água como diluidores de despejos domésticos e

industriais, em particular nas áreas urbanas, inviabiliza os seus usos alternativos. Isso ocorre porque a maioria destes -- especialmente aqueles que têm maior utilidade direta para o homem, como o abastecimento de água para as populações e a irrigação das lavouras -- dependem de água com níveis de poluição muito reduzidos.

Como existem modelos que permitem prever a dispersão e a diluição de alguns dos principais poluentes, é comum que as autoridades responsáveis estabeleçam padrões de emissão de poluentes para que uma parte do problema seja sanada, ou que pelo menos, a situação não piore. Assim, é prática comum a adoção de alguns poluentes como indicadores gerais dos níveis de poluição e tratá-los como alvos prioritários das políticas de controle.

Dentre os diversos parâmetros empregados para indicar o nível geral de poluição causada pela indústria dois merecem especial destaque: a quantidade de matéria orgânica na água, medida pela Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a quantidade de metais pesados, indicadora da presença de substâncias tóxicas nos efluentes.

A poluição por carga orgânica é de grande importância para a qualidade final da água em virtude do consumo de Oxigênio dissolvido no seu processo de decomposição, o que eventualmente pode prejudicar e até impedir o florescimento de várias formas de vida aquática. A poluição orgânica pode também, em muitos casos, indicar outras formas de poluição, como a hipereutrofização das águas e a liberação de microorganismos patogênicos.

A poluição por Metais Pesados pode ser muito importante em função de sua cumulatividade na cadeia alimentar. Com o Homem posicionado no final da cadeia, todo o metal acumulado nos degraus inferiores pode ser ingerido pelas populações humanas, causando moléstias muito graves como por exemplo o saturnismo. A poluição por metais pesados indica em muitos casos a presença de outras substâncias altamente tóxicas, como Cianetos e Fluoretos. Muitas vezes são empregados indicadores de carga de metais pesados que agregam várias substâncias. Isto deve-se ao fato de que vários dos processos usuais de remoção de diversos metais são os mesmos para os outros metais, podendo-se assim atacá-los da mesma forma, baseando-se apenas na sua quantidade total. Este é o motivo da agregação de metais pesados em um único indicador para fins de controle.

Este artigo tentará enfocar de maneira objetiva um dos problemas ambientais neste Brasil do final do século XX: a degradação dos recursos hídricos através do seu uso pela indústria de transformação como destino final de seus rejeitos, um problema que vem sendo agravado pela gradativa urbanização do país e crescente industrialização.

Para tanto, serão apresentadas e discutidas uma série de informações a respeito da distribuição espacial e setorial dos lançamentos de dois dos principais poluentes de origem industrial, a matéria orgânica e os metais pesados e estimativas das despesas necessárias para permitir uma redução significativa dos despejos destes poluentes nos corpos d'água brasileiros.

A seção seguinte apresentará uma breve descrição da metodologia empregada para a construção dos indicadores ambientais e econômicos. A terceira seção retratará os níveis de lançamento de matéria orgânica e de metais pesados pela indústria brasileira, enquanto que a quarta seção mostrará os custos necessários para a remoção de 50%, 75% e 100% das cargas destes poluentes originados pela indústria de transformação. Por fim, a quinta seção apresenta algumas considerações finais em termos da validade dos resultados e das perspectivas de uso dos resultados obtidos.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1 BASE DE DADOS**

Três categorias de dados foram necessárias para a elaboração dos indicadores da poluição: (i) dados sobre emissões potenciais e remanescentes de poluentes; (ii) dados sobre custos unitários e

eficiência de remoção de poluentes para diversas tecnologias de uso corrente; e (iii) dados sobre o produto industrial brasileiro, desagregados regional e setorialmente.

Os dados constantes das bases de dados originais foram criticados e adaptados para fornecer informações compatíveis e de qualidade uniforme, como veremos a seguir.

- **Níveis de emissão de poluentes**

A emissão de poluentes apresenta-se nas bases de dados da seguinte maneira: ***Carga Potencial e Carga Remanescente***, como definidas a seguir.

A carga potencial de poluentes é aquela que um dado estabelecimento emitiria em função do tipo e quantidade de produto fabricado e do processo produtivo e matéria-prima empregados em um dado intervalo de tempo, sem considerar qualquer forma de controle de poluição. É um indicador que, agregado, mostra a estrutura da indústria local em relação à emissão de poluentes: se a carga potencial é elevada, é sinal que o *mix* local de indústrias é composto por indústrias potencialmente perigosas para o meio ambiente e que devem ser alvo de atenção especial por parte dos órgãos ambientais.

A carga remanescente é o resultado da multiplicação da carga potencial por fatores de remoção correspondentes a técnicas de remoção de poluentes verificadas em cada estabelecimento ou por ele declarada. É um indicador técnico da quantidade de poluentes que estaria sendo liberada no meio ambiente em função do eventual emprego por algumas fábricas de métodos de controle de poluição.

Agregada por setor ou região, mostra a situação da indústria local em relação à emissão de poluentes: se a carga remanescente é elevada, é sinal de que as indústrias estão efetivamente emitindo quantidades elevadas do poluente, necessitando eventualmente de medidas corretivas.

### **Poluição Industrial**

Há poucas bases de dados disponíveis sobre poluição industrial no Brasil, a maioria destas tendo origem nos órgãos locais de controle de poluição. Em função da falta de uma normatização para estes bancos de dados, é natural que cada um reflita as peculiaridades locais e que a qualidade das informações não seja uniforme. Adicionalmente, a extensão dos dados muitas vezes restringe-se a alguns estabelecimentos que são os principais poluidores locais, ou aqueles que foram objeto de fiscalização em decorrência de acidentes ou outros motivos, mas que por vezes podem não corresponder à maior parte das emissões globais. Consequentemente, deve-se esperar que as diversas bases de dados locais reflitam de maneira viesada as particularidades locais.

Em função disso, descartou-se o emprego das diversas bases de dados locais desde o início, posto que uma enorme quantidade de tempo deveria ser dispendida para uniformizar a informação e optou-se por trabalhar com as bases de dados do PRONACOP (*Programa Nacional de Controle da Poluição*) e da CETESB (*Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental*, do governos do Estado de São Paulo), que apresentam, como veremos adiante, uma compatibilidade que permite o seu uso em conjunto.

A amostra analisada compreende 4.612 estabelecimentos para carga orgânica e 666 para metais pesados. Isto representa, respectivamente, cerca de 4% e 0,6% do número de estabelecimentos arrolados no Censo Industrial de 1985 pelo IBGE.

Este trabalho apresenta os dados de poluição industrial para 13 estados brasileiros para o ano de 1988: Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Maranhão, Minas Gerais, Pará, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo. Estes estados representam em conjunto cerca de 96% do PIB industrial do país.

As bases de dados permitiram também a agregação dos dados pelas bacias hidrográficas que banham os estados estudados. Assim, seguindo a divisão adotada pelo PRONACOP e pela CETESB,

foram identificadas 142 bacias hidrográficas, as quais foram agregadas para simplificação de modo a ter-se um total de 36 bacias principais. A Tabela 2.1 mostra estas principais bacias e sua localização.

**Tabela 2.1**  
**Principais Bacias Hidrográficas Pesquisadas**

|                           |                       |                               |
|---------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Baía da Guanabara - RJ    | Oceano Atlântico - ES | Rio Jequitinhonha - MG        |
| Baía da Ilha Grande - RJ  | Oceano Atlântico - MA | Rio Mucuri - CE               |
| Baía de Marajó - PA       | Oceano Atlântico - PE | Rio Paraíba do Sul - SP/MG/RJ |
| Baía de Sepetiba - RJ     | Oceano Atlântico - PR | Rio Paraná - SP/PR            |
| Costeira Recife - PE      | Oceano Atlântico - RS | Rio Paranapanema - MG         |
| Lagoa de Carapebu - RJ    | Oceano Atlântico - SC | Rio Parnaíba - MA/CE          |
| Lagoa de Jacarepaguá - RJ | Oceano Atlântico - SP | Rio Parnaíba - MG/GO          |
| Lagoa dos Patos - RS      | Rio Grande - MG/SP    | Rio Doce - MG                 |
| Lagoa Mirim - RS          | Rio Guaíba - RS       | Rio São Francisco - MG/BA     |
| Lagoas Costeiras - SC     | Rio Iguaçu - PR       | Rio Tietê - SP                |
| Oceano Atlântico - BA     | Rio Jaguaribe - CE    | Rio Tocantins - MA            |
| Oceano Atlântico - CE     | Rio Jari - PA         | Rio Uruguai - SC/RS           |

O número de gêneros de indústria abordados neste trabalho foi limitado em função dos dados do PRONACOP, que abrangem 12 gêneros de indústria de acordo com a classificação do IBGE. A Tabela 2.2 lista os gêneros de indústria abordados. Estes 12 setores respondem por cerca de 96% do VTI dos estados pesquisados.

**Tabela 2.2**  
**Gêneros Industriais Pesquisados**

| <b>Código IBGE</b> | <b>Gênero Industrial</b>              | <b>VTI - 1988<br/>(US\$ bilhões)</b> |
|--------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>11</b>          | Metalurgia                            | 11,6                                 |
| <b>12</b>          | Mecânica                              | 14,8                                 |
| <b>14</b>          | Material de Transportes               | 7,8                                  |
| <b>15</b>          | Madeira                               | 1,3                                  |
| <b>17</b>          | Papel e Papelão                       | 4,0                                  |
| <b>19</b>          | Couros e Peles, Artigos para Viagem   | 0,9                                  |
| <b>20</b>          | Química                               | 15,9                                 |
| <b>21</b>          | Produtos Farmacêuticos e Veterinários | 1,9                                  |
| <b>22</b>          | Perfumaria, Sabões e Velas            | 1,5                                  |
| <b>24</b>          | Têxtil                                | 5,2                                  |
| <b>26</b>          | Produtos Alimentares                  | 13,7                                 |
| <b>27</b>          | Bebidas                               | 1,4                                  |
|                    | <b>Total</b>                          | <b>79,9</b>                          |

#### ***Dados do PRONACOP***

Para este estudo foram aproveitados os dados usados para a elaboração do Relatório I (*Diagnóstico da Poluição Industrial*) de cada um dos 12 estados abordado pelo PRONACOP. Eles são o fruto de uma pesquisa conduzida em 1988 junto aos cadastros dos diversos órgãos ambientais estaduais abrangidos pelo programa, constando de localização (município e bacia hidrográfica),

identificação codificada do estabelecimento, tipo de atividade industrial e produção física de cada estabelecimento (unidade e produção).

Alguns ajustes nos dados do PRONACOP foram necessários para compatibilizá-los com os do IBGE e da CETESB. Assim, algumas atividades foram reclassificadas: transferiu-se (i) para a indústria química as atividades de fabricação de álcool das destilarias anexas (da indústria de alimentos) e da indústria de bebidas, fabricação de alumina, produção de coque metalúrgico e refinação de glicerina e (ii) para a indústria mecânica a fabricação de máquinas domésticas. Outras críticas foram necessárias para corrigir problemas provavelmente originados em sua maioria por falhas na digitação dos dados pelo PRONACOP.

### ***Dados da CETESB***

A base de dados fornecida pela CETESB oferece dados cadastrais da companhia para cada estabelecimento constante do seu cadastro de empresas poluidoras. Os dados compreendem cargas potenciais e remanescentes expressas em kg de poluentes por dia, bacia hidrográfica, município, produto principal e classificação do estabelecimento pelo IBGE.

Foi necessário apenas um ajuste nos dados referentes à produção do setor sucro-alcooleiro: as cargas de DBO referentes à produção de álcool das destilarias anexas foram transferidas da indústria alimentícia para a indústria química, assim como a produção de álcool alocada na indústria de bebidas. Da mesma forma que ocorreu com os dados do PRONACOP, os dados da CETESB também foram alvo de uma minuciosa crítica, com o objetivo de remover possíveis erros de digitação.

### **Outras fontes poluidoras**

#### ***– Matéria orgânica***

Os dados de esgotos domésticos aqui apresentados para o ano de 1988 baseiam-se nos trabalhos de Serôa da Motta, Mendes, Mendes e Young (1992) e Serôa da Motta, Oliveira Filho, Mendes e Nascimento (1993) que contêm as melhores estimativas de dados referentes ao final da década de 80 para o Brasil. Estas estimativas baseiam-se em cálculos que associam a população residente com um fator de emissão internacionalmente aceito (54 gramas de DBO por habitante por dia) para obter as cargas potenciais de poluição e em fatores de remoção usuais para diversas formas de tratamento de esgotos para obter as cargas remanescentes. Os dados de população urbana foram baseados em números dos Censos Demográficos e das PNADs, e os dados de remoção de poluentes foram baseados em dados da ABES e do IBGE (da pesquisa Saneamento Básico - 1989) e PNADs.

As estimativas da contribuição da pecuária são apenas de cargas potenciais, pois não há informações disponíveis sobre o tratamento dos efluentes originados por este tipo de atividade. As estimativas são baseadas na multiplicação do equivalente populacional de bovinos, suínos e galináceos obtidos na literatura (Stocker & Seager, 1981, pág. 168) pela carga de matéria orgânica de um equivalente populacional (54 gramas de DBO/hab.ano) pelo rebanho de cada animal criado em confinamento no país.

Os dados de rebanhos foram obtidos nos Anuário Estatístico do Brasil, com a observação de que para rebanho bovino confinado foram usados os dados de rebanho de gado leiteiro como aproximação do número de reses criadas confinadas (May, 1994 - comunicação pessoal), e considera-se que todo o rebanho suíno e de aves é criado em confinamento. Os animais criados fora de confinamento não são considerados poluidores da água de maneira direta.

Os dados de run-off urbano foram baseados em dados do IBGE e no trabalho de May, Serôa da Motta e Young (1992), que faz estimativas baseadas na multiplicação de fatores de carga orgânica usados pela FEAM/MG no Programa de Saneamento Ambiental nas Bacias Arrudas e Onça da Região Metropolitana de Belo Horizonte por áreas de ação antrópica urbana e rural estimadas para os

estados abrangidos por este trabalho. Como não há dados disponíveis de área urbana no país, este número foi aproximado a partir da área do município da capital ou da região metropolitana do estado, conforme o caso. Os dados foram tirados do Anuário Estatístico do Brasil - 1992. A área de ação antrópica foi baseada em estimativas de Serôa, May e Young, 1991 da área de ação antrópica para o Brasil.

– *Metais pesados*

Internacionalmente, a indústria de transformação é de longe a principal fonte de metais pesados que são lançados nos corpos d'água. Outras fontes de metais são a mineração (especialmente os garimpos de ouro, um problema há muito constatado em certas áreas do Brasil), a poluição atmosférica oriunda da queima de combustíveis fósseis aditivados (especialmente pelo chumbo tetraetila) e resíduos de tintas, pigmentos e outras composições ricas em metais pesados.

Estima-se que, atualmente, cerca de 200 toneladas de mercúrio são lançadas no meio ambiente na Amazônia, cifra pequena se comparada com as quase 25.500 toneladas/ano lançadas pela indústria. Praticamente não há dados adicionais sobre o lançamento de metais pesados no país.

• **Custos Unitários de Remoção**

O relatório *Cost-Effective Pollution Control in Brazil* (Jantzen, 1992) realizado para o Banco Mundial calcula alguns custos de controle para diversas indústrias no Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais e Paraná, e publica as seqüências de tecnologias adequadas para os diversos setores da indústria brasileira, as eficiências de remoção e os custos unitários anualizados para matéria orgânica e metais pesados. Como nenhuma outra publicação disponível apresenta de maneira consolidada custos unitários e eficiências de remoção de poluentes, especialmente com aplicação para o Brasil, os dados de Jantzen foram os escolhidos para este trabalho.

Os custos unitários são dados para faixas de volume de efluentes a serem tratados, o que permite contornar problemas relacionados com economias de escala, e são expressos em dólares americanos (US\$) por kg de poluente removido (DBO ou metais pesados). Este dado é calculado por Jantzen a partir da soma de custos de capital e custos operacionais. O cálculo dos custos de capital é baseado em anuidades, com distinção entre os custos financeiros e os devidos à depreciação para os equipamentos e construção. A anuidade é baseada na taxa de juros (12% ao ano para estabelecimentos privados) e no período de depreciação (tipicamente de 10 anos para equipamentos e 25 anos para construção). Os custos operacionais incorporam parcelas referentes a mão de obra, consumo (ou economia) de energia, manutenção, produtos químicos e disposição de lodos.

O modelo desenvolvido para o cálculo dos custos de controle de poluição usado neste trabalho utiliza apenas o dado de custos unitários totais, não incorporando as suas diversas componentes por questões de simplificação.

A Tabela 2.3 apresenta as tecnologias de remoção propostas por Jantzen, e a Tabela 2.4 a ordem de aplicação das diversas tecnologias para cada tipo de indústria:

**Tabela 2.3**  
**Tecnologias de Remoção de Poluentes Propostas por Jantzen**

**Para Matéria Orgânica:**

| Tecnologia                                      | Ef. remoção, % | Custo Unitário, US\$/kg DQO | Tecnologia   | Ef. remoção, % | Custo Unitário, US\$/kg DQO |
|---|----------------|-----------------------------|--|----------------|-----------------------------|
| Reciclagem água - Têxtil/Papel (>1.25 kt/a)     | 15.0%          | 0.02                        | Trat. anaeróbio, Bebidas (alta concentr.;>1.25 kt/a)       | 90.0%          | 0.06                        |
| Reciclagem água - Têxtil/Papel (.125-1.25 kt/a) | 15.0%          | 0.09                        | Trat. anaeróbio, Bebidas (alta concentr.;25-1.25 kt/a)     | 90.0%          | 0.11                        |
| Reciclagem água - Têxtil/Papel (< 125 kt/a)     | 15.0%          | 0.19                        | Trat. anaeróbio, Bebidas (alta concentr.;1-25 kt/a)        | 90.0%          | 0.17                        |
| Ciclo fechado água - Papel (>1.25 kt/a)         | 85.0%          | 0.12                        | Trat. anaeróbio, Bebidas (alta concentr.;<1 kt/a)          | 90.0%          | 0.24                        |
| Ciclo fechado água - Papel (.125-1.25 kt/a)     | 85.0%          | 0.33                        | Trat. anaeróbio, Bebidas (baixa concentr.;> 1.25 kt/a)     | 80.0%          | 0.32                        |
| Ciclo fechado água - Papel (< 125 kt/a)         | 85.0%          | 0.63                        | Trat. anaeróbio, Bebidas (baixa concentr.;25-1.25 kt/a)    | 80.0%          | 0.41                        |
| Trat. Mecânico (>1.25 kt/a)                     | 30.0%          | 0.82                        | Trat. anaeróbio, Bebidas (baixa concentr.;1-25 kt/a)       | 80.0%          | 0.52                        |
| Trat. Mecânico (.25-1.25 kt/a)                  | 30.0%          | 1.10                        | Trat. anaeróbio, Bebidas (baixa concentr.;<1 kt/a)         | 80.0%          | 0.67                        |
| Trat. Mecânico (.1-25 kt/a)                     | 30.0%          | 1.50                        | Trat. anaeróbio, Alimentos (alta concentr.;>1.25 kt/a)     | 85.0%          | 0.10                        |
| Trat. Mecânico (.025-1 kt/a)                    | 30.0%          | 2.06                        | Trat. anaeróbio, Alimentos (alta concentr.;25-1.25 kt/a)   | 85.0%          | 0.18                        |
| Trat. Mecânico (<.025 kt/a)                     | 30.0%          | 2.85                        | Trat. anaeróbio, Alimentos (alta concentr.;1-25 kt/a)      | 85.0%          | 0.29                        |
| Lodos Ativados (>1.25 kt/a)                     | 80.0%          | 0.51                        | Trat. anaeróbio, Alimentos (alta concentr.;<1 kt/a)        | 85.0%          | 0.42                        |
| Lodos Ativados (.25-1.25 kt/a)                  | 80.0%          | 0.73                        | Trat. anaeróbio, Alimentos (baixa concentr.; > 1.25 kt/a)  | 75.0%          | 0.22                        |
| Lodos Ativados (.1-25 kt/a)                     | 80.0%          | 1.03                        | Trat. anaeróbio, Alimentos (baixa concentr.; 25-1.25 kt/a) | 75.0%          | 0.30                        |
| Lodos Ativados (.025-1 kt/a)                    | 80.0%          | 1.49                        | Trat. anaeróbio, Alimentos (baixa concentr.; 1-25 kt/a)    | 75.0%          | 0.42                        |
| Lodos Ativados (<.025 kt/a)                     | 80.0%          | 2.15                        | Trat. anaeróbio, Alimentos (baixa concentr.; < .1 kt/a)    | 75.0%          | 0.57                        |
| Filtro Carvão ativado (>.05 kt/a)               | 95.0%          | 2.53                        | Trat. anaeróbio, Farmacêutica (>1 kt/a)                    | 85.0%          | 0.20                        |
| Filtro Carvão ativado (.025-.05 kt/a)           | 95.0%          | 2.83                        | Trat. anaeróbio, Farmacêutica (.2-1 kt/a)                  | 85.0%          | 0.27                        |
| Filtro Carvão ativado (.01-.025 kt/a)           | 95.0%          | 3.18                        | Trat. anaeróbio, Farmacêutica (.1-2 kt/a)                  | 85.0%          | 0.36                        |
| Filtro Carvão ativado (.005-.01 kt/a)           | 95.0%          | 3.61                        | Trat. anaeróbio, Farmacêutica (<.1 kt/a)                   | 85.0%          | 0.47                        |
| Filtro Carvão ativado (.002-.005 kt/a)          | 95.0%          | 4.12                        | Trat. anaeróbio, Química (> 1 kt/a)                        | 65.0%          | 0.14                        |
| Filtro Carvão ativado (<.002 kt/a)              | 95.0%          | 4.74                        | Trat. anaeróbio, Química (.2-1 kt/a)                       | 65.0%          | 0.22                        |
|   |                |                             | Trat. anaeróbio, Química (.1-2 kt/a)                       | 65.0%          | 0.33                        |
|   |                |                             | Trat. anaeróbio, Química (< .1 kt/a)                       | 65.0%          | 0.47                        |

**Para Metais Pesados:**

| Tecnologia                                       | Ef. remoção, % | Custo Unitário, US\$/kg DQO | Tecnologia                             | Ef. remoção, % | Custo Unitário, US\$/kg DQO |
|--|----------------|-----------------------------|--|----------------|-----------------------------|
| Spare bath (0.4-0.8 t/a)                         | 60%            | 167.9                       | DND-contínuo (0.4-0.8 t/a)             | 80%            | 174.6                       |
| Spare bath (0.8-1.6 t/a)                         | 60%            | 134.8                       | DND-contínuo (0.8-1.6 t/a)             | 80%            | 132.1                       |
| Spare bath (1.6-3.2 t/a)                         | 60%            | 91.3                        | DND-contínuo (1.6-3.2 t/a)             | 80%            | 85.3                        |
| Spare bath (>3.2 t/a)                            | 60%            | 66.9                        | DND-contínuo (>3.2 t/a)                | 80%            | 71.7                        |
| Reciclagem simples (0.4-0.8 t/a)                 | 50%            | 122.3                       | DND-batch (0.4-0.8 t/a)(após contínuo) | 90%            | 698.5                       |
| Reciclagem simples (0.8-1.6 t/a)                 | 50%            | 91.3                        | DND-batch (0.8-1.6 t/a)(após contínuo) | 90%            | 574.1                       |
| Reciclagem simples (1.6-3.2 t/a)                 | 50%            | 45.3                        | DND-batch (1.6-3.2 t/a)(após contínuo) | 90%            | 398.2                       |
| Reciclagem simples (>3.2 t/a)                    | 50%            | 34.7                        | DND-batch (>3.2 t/a)(após contínuo)    | 90%            | 338.7                       |
| Reciclagem expandida (0.4-0.8 t/a)(após simples) | 55%            | 152.8                       |  |                |                             |
| Reciclagem expandida (0.8-1.6 t/a)(após simples) | 55%            | 112.6                       |  |                |                             |
| Reciclagem expandida (1.6-3.2 t/a)(após simples) | 55%            | 60.3                        |  |                |                             |
| Reciclagem expandida (>3.2 t/a)(após simples)    | 55%            | 46.7                        |  |                |                             |

**Tabela 2.4**  
**Ordem de Aplicação das Tecnologias de Remoção de Poluentes Propostas por Jantzen**

**Para Matéria Orgânica:**

| Setor                 | Tecnologia 1                         | Tecnologia 2                          | Tecnologia 3          | Tecnologia 4          |
|-----------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Min. não Metálicos    |                                      |                                       |                       |                       |
| Metalúrgica           | Trat. Mecânico                       | Lodos Ativados                        | Filtro Carvão ativado |                       |
| Mecânica              | Trat. Mecânico                       | Lodos Ativados                        | Filtro Carvão ativado |                       |
| Material elétrico     | Trat. Mecânico                       | Lodos Ativados                        | Filtro Carvão ativado |                       |
| Mat. Transportes      | Trat. Mecânico                       | Lodos Ativados                        | Filtro Carvão ativado |                       |
| Madeira               | Trat. Mecânico                       | Lodos Ativados                        | Filtro Carvão ativado |                       |
| Papel e Celulose      | Reciclagem água - Têxtil e Papel     | Ciclo fechado água - Papel            | Trat. Mecânico        | Lodos Ativados        |
| Borracha              | Trat. Mecânico                       | Lodos Ativados                        | Filtro Carvão ativado |                       |
| Couros e Peles        | Trat. Mecânico                       | Lodos Ativados                        | Filtro Carvão ativado |                       |
| Química               | Trat. Anaeróbio, Química             | Lodos ativados                        | Filtro Carvão ativado |                       |
| Química - Refinarias  | Trat. Mecânico                       | Lodos ativados                        | Filtro Carvão ativado |                       |
| Farmacêutica          | Trat. Anaeróbio, Farmacêutica        | Lodos ativados                        | Filtro Carvão ativado |                       |
| Perf., sabões e velas | Trat. Anaeróbio, Farmacêutica        | Lodos ativados                        | Filtro Carvão ativado |                       |
| Têxtil                | Reciclagem água - Têxtil e Papel     | Trat. mecânico                        | Filtro Carvão ativado | Filtro Carvão ativado |
| Alimentos             | Trat. anaeróbio, Aliment. Alta conc. | Trat. anaeróbio, Aliment. Baixa conc. | Lodos ativados        |                       |
| Bebidas               | Trat. anaeróbio, Bebidas Alta conc.  | Trat. anaeróbio, Bebidas Baixa conc.  | Lodos ativados        |                       |

**Para Metais Pesados:**

| Setor              | Tecnologia 1       | Tecnologia 2         | Tecnologia 3         | Tecnologia 4   | Tecnologia 5 |
|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------|--------------|
| Min. não Metálicos | DND - contínuo     | DND - Batch          |                      |                |              |
| Metalúrgica        | Spare Bath         | Reciclagem simples   | Reciclagem expandida | DND - Contínuo | DND - Batch  |
| Mecânica           | Reciclagem simples | Reciclagem expandida | DND - Contínuo       | DND - Batch    |              |
| Material elétrico  | Reciclagem simples | Reciclagem expandida | DND - Contínuo       | DND - Batch    |              |
| Mat. Transportes   | Spare Bath         | DND - Contínuo       | DND - Batch          |                |              |
| Madeira            | Reciclagem simples | DND - Contínuo       | DND - Batch          |                |              |
| Papel e Celulose   | DND - Contínuo     | DND - Batch          |                      |                |              |
| Couros e Peles     | Reciclagem simples | DND - Contínuo       | DND - Batch          |                |              |
| Química            | Reciclagem simples | Reciclagem expandida | DND - Contínuo       | DND - Batch    |              |
| Têxtil             | Spare Bath         | DND - Contínuo       | DND - Batch          |                |              |
| Alimentos          | DND - Contínuo     | DND - Batch          |                      |                |              |

- **Valor da Transformação Industrial**

Os dados do valor da transformação industrial para cada estado foram obtidos a partir do censo industrial de 1985, em função da não realização do Censo Industrial de 1990, e ajustados para valores de 1988 mediante a aplicação combinada de índices de quantum publicados pelo IBGE para cada setor industrial de cada estado<sup>1</sup> e de preços publicados pela Fundação Getúlio Vargas (IPA-OG). Esses valores foram convertidos para dólares americanos usando-se a taxa de câmbio média para o ano de 1988.

O cálculo do VTI para 1988 foi feito de acordo com a seguinte fórmula:

$$VTI_{1988} = VTI_{1985} \times IQS \times IPA-OG \times C$$

onde:

**VTI<sub>1988</sub>** = Valor da Transformação Industrial para o ano de 1988;

**VTI<sub>1985</sub>** = Valor da Transformação Industrial do Censo Industrial de 1985;

**IQS** = Índice de quantum da produção física setorial 1985-1988;

**IPA-OG** = Índice de Preços de Atacado 1985-1988 para oferta global;

**C** = Taxa de câmbio dólar americano - cruzeiro média para 1988.

## 2.2 O MODELO DE CONTROLE DE POLUIÇÃO

Esta seção discute os procedimentos estimativos necessários para o cálculo dos custos associados ao controle da poluição hídrica industrial no país.

O cálculo dos custos de controle e das eficiências de remoção foram feitos com o uso de um modelo matemático que multiplica os dados disponíveis sobre as cargas de matéria orgânica e metais pesados remanescentes lançadas nos corpos d'água brasileiros pela indústria por fatores de remoção e custos unitários típicos de diversas tecnologias de remoção de poluentes adequadas para cada tipo de indústria e poluente. As tecnologias são aplicadas em uma ordem também adequada ao tipo de indústria e poluente em questão, permitindo assim a remoção dos poluentes através de seqüências que, em cascata, alcançam eficiências de remoção bastante elevadas.

O modelo foi usado para fazer simulações de 3 cenários de políticas de controle de poluição: um primeiro onde todas as indústrias removem pelo menos 50% das suas cargas de poluição potencial, outro onde as remoções mínimas individuais são de 75% das cargas potenciais e um terceiro cenário onde toda a poluição possível é removida, como será mostrado no Capítulo seguinte.

Para avaliar-se o impacto que medidas no sentido de aumentar o controle da poluição causariam sobre as indústrias foi construído um modelo matemático capaz de simular diferentes cenários de remoção de poluentes, calculando os custos de remoção e as cargas remanescentes de para carga orgânica e metais pesados de modo que as condições impostas para cada cenário sejam atendidas.

O modelo basicamente age da seguinte forma:

a) Para todas as fábricas um limite mínimo de remoção é estabelecido: se a taxa mínima de remoção de poluentes é de **x%**, todas as fábricas têm que remover *pelo menos x%* de suas emissões.

---

<sup>1</sup> Como esses índices de quantum somente estão disponíveis para os estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Bahia e Pernambuco, os índices para o Ceará e o Maranhão foram os dados para a Região Nordeste e os para os estados de Goiás, Pará e Espírito Santo os índices gerais para o Brasil. Adicionalmente, alguns setores industriais (Madeira, Couros e Peles, Farmacêutica) não tiveram seus índices de quantum publicados, sendo usados então nestes casos os índices de quantum gerais da indústria de transformação para cada estado.



b) Todos os estabelecimentos obedecem à determinação e investem em remoção de poluentes, indiferentemente ao seu tamanho, atividade ou localização.

c) As tecnologias de remoção aplicáveis para cada indústria são aplicadas em uma ordem fixa de acordo com a escala do estabelecimento, e assume-se que os custos marginais de remoção associados a cada tecnologia em cada escala são iguais para todas as plantas.

O modelo necessita das seguintes informações para entrada:

- Limite de remoção mínimo de poluentes;
- Atividade industrial, segundo o IBGE, de cada estabelecimento;
- Carga potencial de poluentes de cada estabelecimento;
- Carga remanescente de cada estabelecimento;
- Fator de conversão DQO-DBO para cada estabelecimento.

Em seguida, o modelo cria e zera variáveis de memória para a carga remanescente final, o custo de controle para a tecnologia, o custo final de controle para o estabelecimento e para a remoção percentual de poluentes. Em seguida,

1) Verifica se o estabelecimento já atende à condição de remoção prevista para o cenário. Caso sim, passa para o próximo estabelecimento; senão, começa os cálculos para a primeira tecnologia prevista para o setor IBGE do estabelecimento.

2) Para cada tecnologia, o modelo zera a variável de memória de custo de controle para a tecnologia, calcula a nova carga remanescente, a remoção percentual e o custo de controle da tecnologia e armazena nas respectivas variáveis de memória os novos valores de carga remanescente, remoção percentual e custo de controle. Em seguida, soma o valor desta última ao custo de controle total para o estabelecimento. A seguir, testa a remoção percentual para ver se o limite do cenário foi atendido. Caso sim, substitui os valores de carga remanescente final, remoção percentual e custo de controle total no banco de dados pelos armazenados nas variáveis de memória e passa para o próximo estabelecimento. Caso contrário, passa para a próxima tecnologia. O modelo repete este processo até que a condição imposta pelo cenário seja atendida ou que se chegue à última tecnologia prevista para o setor IBGE do estabelecimento.<sup>2</sup>

A carga remanescente de poluentes decorrente da aplicação de uma dada tecnologia é obtida através da multiplicação da carga de poluentes lançada antes da adoção da tecnologia por um fator de remoção específico da tecnologia. Os fatores de remoção são retirados da base de dados fornecida por Jantzen. As cargas finais de poluentes são definidas pelas relações:

$$Q_f = Q_a - Q_r$$

$$Q_r = Q_a \times F_r$$

---

<sup>2</sup> Caso o cenário preveja uma remoção demasiado elevada, é possível que nem a combinação das remoções de todas as tecnologias satisfaça a condição proposta. Neste caso, o modelo permite que todas as tecnologias sejam aplicadas, mesmo não sendo obtida a remoção pedida pelo cenário. Isto ocorre quando o cenário prevê a máxima remoção possível de poluentes (remoção de 100%): como nenhuma tecnologia adotada remove 100% da carga do poluente, uma remoção consideravelmente grande (tipicamente superior a 99%) é conseguida, mas nunca toda a poluição é removida.

onde:

$Q_f$  = carga remanescente final de poluentes após a adoção da tecnologia;

$Q_a$  = carga de poluentes emitida antes da adoção da tecnologia;

$Q_r$  = carga a ser removida de cada estabelecimento;

$F_r$  = fator de remoção de poluentes específico da tecnologia;

O custo de remoção de poluentes pode ser estimado a partir do produto entre as cargas a serem removidas e o custo unitário de remoção de poluentes. Estes custos unitários são dependentes da escala e da tecnologia a ser aplicada na remoção de poluentes:

$$CC = (Q_r \times CC_u)$$

onde:

$CC$  = custo de controle para a tecnologia dada;

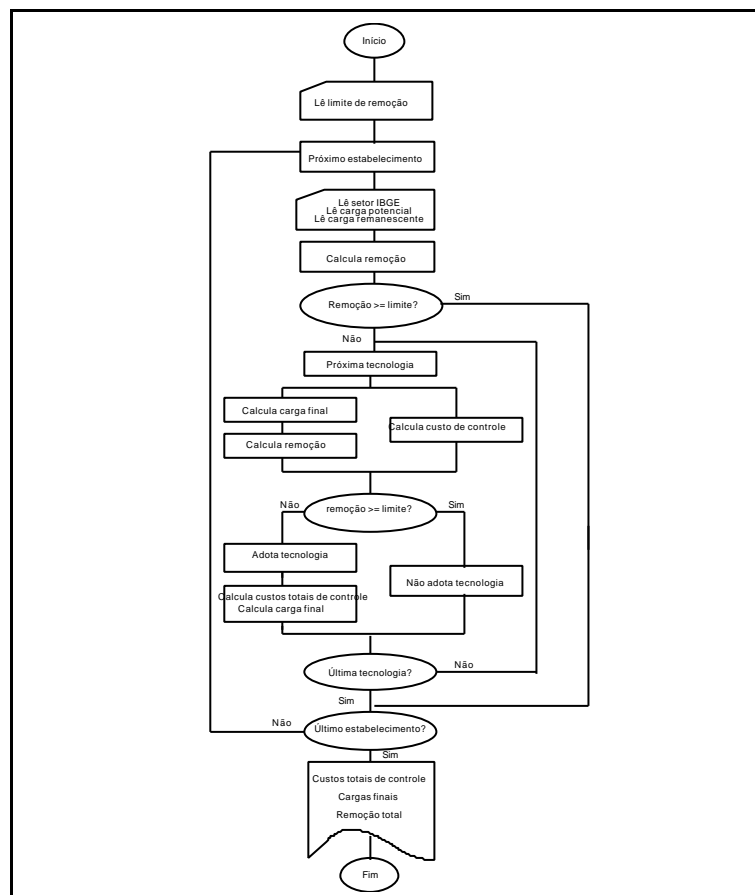
$Q_r$  = carga a ser removida de cada estabelecimento;

$CC_u$  = custo unitário de remoção de poluentes para a tecnologia e escala dada;

3) Após todos os estabelecimentos serem processados, o modelo totaliza e imprime os resultados agregados por setor IBGE, estado ou bacia hidrográfica.

A Figura 2.1 ilustra de maneira gráfica a lógica do modelo:

**Figura 2.1**  
**Modelo de Estimação de Custos de Controle e Remoção de Poluentes Industriais**



## 2.3 INDICADORES DE INTENSIDADE POLUIDORA E DE PASSIVO AMBIENTAL

Dois indicadores adicionais foram construídos a partir dos dados anteriormente descritos, os indicadores de intensidade poluidora e de passivo ambiental, conforme descritos a seguir.

O indicador de intensidade poluidora refere-se à quantidade de poluição emitida por unidade de produção. Mostra a eficiência ambiental da indústria: uma baixa intensidade poluidora indica uma alta eficiência ambiental, ou seja, os agentes geram muito produto com uma poluição relativamente pequena. É um indicador da relação custo-benefício da poluição gerada para fins de comparação entre indústrias.

O indicador de intensidade poluidora (IIP) é dado pela relação

$$IIP = \text{Carga remanescente} / \text{VTI do setor}$$

O indicador de (IPA) é a razão entre os custos de controle de poluição e o VTI de um dado agente. Neste trabalho ele é calculado de forma agregada. Indica o déficit ambiental de um dado agente: um IPA elevado indica que o agente deverá dispendir uma quantidade grande de recursos em relação ao seu VTI.

O IPA serve para indicar a viabilidade do controle de poluição proposto para um grupo de indústrias. Um IPA muito elevado indica que os custos de controle são muito elevados.

O IPA é estimado a partir da seguinte relação:

$$IPA = \text{Custo de controle} / \text{VTI do setor}$$

## 3. A POLUIÇÃO HÍDRICA INDUSTRIAL NO PAÍS

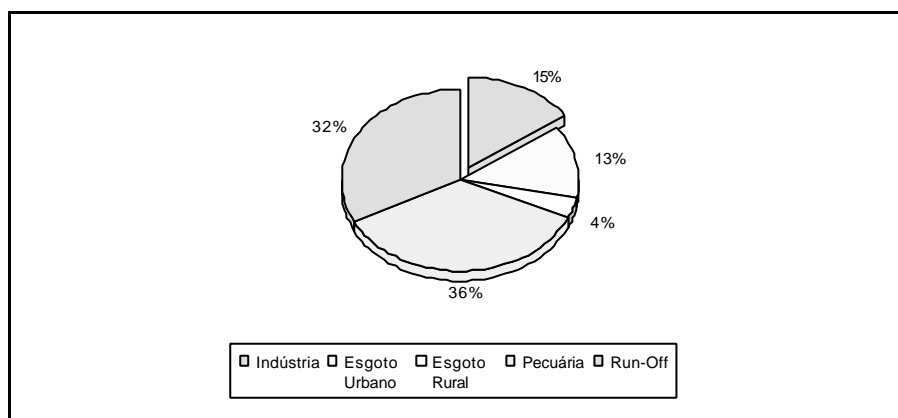
### 3.1 A EXTENSÃO DA POLUIÇÃO HÍDRICA DE ORIGEM INDUSTRIAL NO BRASIL

A Tabela 3.1 e o Gráfico 3.1 mostram a participação das diversas fontes poluidoras das águas no Brasil. Em termos de matéria orgânica, a participação da indústria de transformação era pouco superior a 2,2 milhões de toneladas por ano de DBO, algo em torno de 15% do total de cargas potenciais lançadas no país. Este total nacional alcançaria cerca de 14 milhões de toneladas/ano, considerando-se também os esgotos domésticos, a pecuária e o run-off urbano e rural. A remoção de matéria orgânica promovida pela indústria, de cerca de 73% em termos nacionais, certamente deve reduzir consideravelmente esta participação, visto que boa parte dos lançamentos oriundos de esgotos, pecuária e run-off não sofrem forma alguma de redução da carga poluidora. Desta forma, é possível afirmar que a participação da indústria de transformação no lançamento de cargas orgânicas nos corpos d'água brasileiros é relativamente reduzida, alcançando uma maior importância nas áreas próximas aos centros urbanos, onde é maior a concentração de indústrias.

**Tabela 3.1**  
**Cargas de Matéria Orgânica Lançadas no Brasil - 1988**  
*(1000 toneladas DBO/ano)*

| Estado | Carga Potencial |             |            |            |           |           | Carga Remanescente |           |             |           |
|--------|-----------------|-------------|------------|------------|-----------|-----------|--------------------|-----------|-------------|-----------|
|        | Indústria       | Esg. Urbano | Ind + Esg. | Esg. Rural | Pecuária  | Run-Off   | Total              | Indústria | Esg. Urbano | Total     |
| BA     | 44 885          | 122 527     | 167 412    | 95 255     | 427 577   | 606 204   | 1 296 448          | 10 907    | 103 600     | 114 507   |
| CE     | 29 640          | 71 957      | 101 597    | 44 859     | 230 831   | 276 530   | 653 816            | 22 470    | 50 663      | 73 133    |
| ES     | 37 526          | 30 288      | 67 815     | 13 601     | 95 842    | 84 012    | 261 270            | 18 611    | 26 991      | 45 602    |
| GO     | 49 048          | 65 622      | 114 669    | 18 087     | 626 167   | 503 702   | 1 262 625          | 30 236    | 63 994      | 94 230    |
| MA     | 47 265          | 34 578      | 81 844     | 57 091     | 180 412   | 75 314    | 394 661            | 14 678    | 30 345      | 45 023    |
| MG     | 212 036         | 218 601     | 430 637    | 80 240     | 1 091 010 | 917 340   | 2 519 228          | 150 283   | 217 292     | 367 575   |
| PA     | 11 532          | 48 098      | 59 630     | 45 540     | 166 772   | 334 046   | 605 988            | 9 948     | 37 665      | 47 613    |
| PE     | 209 107         | 97 927      | 307 034    | 42 367     | 151 607   | 119 820   | 620 829            | 51 781    | 92 753      | 144 534   |
| PR     | 321 064         | 118 171     | 439 235    | 48 641     | 461 043   | 399 962   | 1 348 881          | 80 601    | 95 980      | 176 581   |
| RJ     | 81 599          | 247 496     | 329 095    | 13 407     | 127 394   | 121 728   | 591 624            | 39 695    | 181 766     | 221 461   |
| RS     | 101 185         | 121 480     | 222 665    | 44 135     | 513 994   | 549 790   | 1 330 584          | 53 644    | 83 193      | 136 837   |
| SC     | 60 988          | 51 144      | 112 131    | 26 997     | 334 492   | 130 760   | 604 380            | 45 577    | 31 810      | 77 388    |
| SP     | 999 999         | 569 103     | 1 569 102  | 47 633     | 643 863   | 492 060   | 2 752 659          | 65 800    | 514 149     | 579 948   |
| Total  | 2 205 873       | 1 796 993   | 4 002 866  | 577 854    | 5 051 004 | 4 611 268 | 14 242 993         | 594 232   | 1 530 201   | 2 124 433 |

**Gráfico 3.1**  
**Distribuição das Cargas de Matéria Orgânica Lançadas no Brasil - 1988**  
*(% do total)*



Comparando as maiores fontes de matéria orgânica nas zonas urbanas, que são os esgotos domésticos e os lançamentos industriais, observamos que, em termos remanescentes, cerca de 28% das cargas têm origem industrial e 72% têm origem nos esgotos domésticos. Mais, as indústrias removem cerca de 73% da carga orgânica de seus efluentes, enquanto que a remoção de matéria orgânica dos esgotos domésticos não passa de 15%, o que demonstra que no caso particular de remoção de poluentes, os agentes privados são consideravelmente mais eficientes do que os prestadores de serviços públicos de saneamento.

A poluição por metais pesados carece de maiores informações sobre a contribuição de outras fontes, como a mineração (especialmente o garimpo de ouro). Um dos poucos dados disponíveis informa que cerca de 200 toneladas de mercúrio por ano são lançadas pelos garimpos na Amazônia. Este número é bastante reduzido se comparado com as 25.500 toneladas que este trabalho estima que foram lançadas em 1988 nos corpos d'água brasileiros pela indústria de transformação.

Em suma, a participação da indústria nos lançamentos de cargas orgânicas nos corpos d'água brasileiros é relativamente pequena se comparada com as outras fontes, enquanto que o papel da indústria nos lançamentos de metais pesados é relativamente bem maior.

### 3.2 DISTRIBUIÇÃO SETORIAL DA POLUIÇÃO INDUSTRIAL

A Tabela 3.2 mostra que as maiores cargas remanescentes de matéria orgânica vêm da indústria Química, que lançou em 1988 cerca de 257 mil toneladas de DBO por ano, o que equivale a 44% do total da indústria nacional. Outros gêneros que têm contribuição destacada são a indústria de Alimentos, com 26% do total (155 mil toneladas/ano) e as indústrias de Bebidas e de Papel e Celulose, que participam com 10% e 9% do total nacional, respectivamente.

**Tabela 3.2**  
**Indicadores da poluição industrial por Matéria Orgânica**

| Setor                       | carga remanescente | remoção percentual | IIR         |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|-------------|
| <b>Alimentos</b>            | 154.774,80         | 59,5%              | 11,31       |
| <b>Bebidas</b>              | 57.898,13          | 61,0%              | 40,98       |
| <b>Couros e Peles</b>       | 18.621,70          | 52,2%              | 21,69       |
| <b>Farmacêutica</b>         | 2.820,27           | 34,6%              | 1,47        |
| <b>Madeira</b>              | 11.131,58          | 55,5%              | 8,82        |
| <b>Mat. Transporte</b>      | 1.385,04           | 63,8%              | 0,18        |
| <b>Mecânica</b>             | 8.891,34           | 18,3%              | 0,60        |
| <b>Metalurgia</b>           | 448,23             | 96,6%              | 0,04        |
| <b>Papel e Celulose</b>     | 52.106,87          | 65,4%              | 12,91       |
| <b>Perf. Sabões e Velas</b> | 6.664,81           | 34,7%              | 4,58        |
| <b>Química</b>              | 256.783,93         | 81,4%              | 16,15       |
| <b>Têxtil</b>               | 22.705,51          | 38,2%              | 4,40        |
| <b>Total</b>                | <b>594.232,21</b>  | <b>73,1%</b>       | <b>7,44</b> |

Se considerarmos a intensidade de poluição, medida como a razão entre a carga de poluentes lançada e o Valor da Transformação Industrial de cada gênero, veremos que a indústria de Bebidas é a que mais polui por unidade de valor produzida, com um IIR de pouco mais de 40,9 gramas de DBO por dólar de VTI. Outros gêneros que apresentam IIR elevados em termos nacionais são Couros e Peles (21,7 g/US\$), Química (16,1 g/US\$) e Papel e Celulose (12,9 g/US\$). Em contrapartida, alguns gêneros que pouco poluem com matéria orgânica e que têm um VTI importante, como as indústrias Mecânica e de Material de Transporte apresentam IIR inferior a 1 g/US\$.

Em termos absolutos, a indústria que mais remove matéria orgânica é a indústria Química, que em 1988 evitou que 1,12 milhões de toneladas de DBO fossem lançadas nos corpos d'água brasileiros, o que equivale a mais de 70% do total nacional. Num segundo lugar distante, a indústria de Alimentos removeu cerca de 227 mil toneladas, e as indústrias de Papel e Celulose e de Bebidas removeram respectivamente 98,6 e 90,6 mil toneladas de DBO cada. A participação das outras indústrias individualmente pouco passa de 1% do total nacional cada.

Este número da indústria Química é ainda mais importante na medida que os 1,2 milhões de toneladas/ano correspondem a pouco mais de 80% de suas cargas potenciais, o que revela um alto índice de remoção de matéria orgânica. Apenas a indústria Metalúrgica é mais eficiente em termos percentuais, removendo cerca de 97% do seu potencial, mas em termos absolutos a sua participação é ínfima: não ultrapassa os 0,8% do total de DBO removida no país.

As indústrias menos eficazes em termos de remoção de matéria orgânica, como Mecânica (remove apenas 18% das cargas potenciais), Perfumaria, Sabões e Velas (35%), Farmacêutica (35%)

e Têxtil (38%) têm uma pequena participação no total nacional, alcançando em conjunto cerca de 6,5% do total das cargas remanescentes no país. Assim, um incremento no controle destes gêneros surtiria um efeito pequeno no total das cargas de matéria orgânica lançadas no país, exceto por efeitos localizados.

A indústria Metalúrgica responde por cerca de 81% das 12,3 mil toneladas de metais pesados lançadas anualmente pela indústria de transformação em termos remanescentes, como mostra a Tabela 3.3. Outros gêneros da indústria brasileira que poluem com metais pesados, com participações bem mais modestas, são as indústrias Mecânica e de Couros e Peles, que lançaram em 1988 respectivamente 995 e 650 toneladas de metais.

**Tabela 3.3**  
**Indicadores da poluição industrial por Metais Pesados**

| Setor                   | carga remanescente | remoção percentual | IIR         |
|-------------------------|--------------------|--------------------|-------------|
| <b>Couros e Peles</b>   | 650                | 58,9%              | 0,76        |
| <b>Mat. Transporte</b>  | 371                | 62,3%              | 0,05        |
| <b>Mecânica</b>         | 996                | 58,7%              | 0,07        |
| <b>Metalurgia</b>       | 9.872              | 50,6%              | 0,85        |
| <b>Papel e Celulose</b> | 1                  | 88,8%              | 0,00        |
| <b>Química</b>          | 427                | 18,2%              | 0,03        |
| <b>Têxtil</b>           | 5                  | 62,1%              | 0,00        |
| <b>Total</b>            | <b>12.321</b>      | <b>51,7%</b>       | <b>0,15</b> |

A indústria brasileira tem um indicador de intensidade poluidora para metais pesados médio de 0,15 gramas de metais pesados por dólar de VTI. Os maiores valores, que indicam aqueles gêneros que poluem muito em relação ao valor que agregam, pertencem à indústria Metalúrgica (0,85 g/US\$) e Couros e Peles (IIR de 0,76 g/US\$). As demais indústrias poluem consideravelmente menos, com valores de IIR sempre inferiores a 0,1 g/US\$.

Mais de 3/4 das cargas de metais pesados removidas no país o são pela indústria Metalúrgica, que remove pouco mais de 10 mil toneladas/ano. Outras indústrias que removem metais pesados em quantidade são as indústrias Mecânica (1,4 mil ton/ano), de Couros e Peles (933 ton/ano) e de Material de Transporte (613 ton/ano).

Em termos relativos, a indústria que mais remove metais pesados é a indústria de Papel e Celulose, que consegue retirar quase 90% de suas cargas potenciais. O maior poluidor, a indústria Metalúrgica, remove apenas 51% de suas cargas potenciais, o que a coloca como alvo preferencial de uma política de controle de lançamentos de metais pesados. Outra indústria que remove muito pouco de suas cargas potenciais é a indústria Química, que tem uma eficiência de remoção de metais de apenas 18%. A sua participação no total das cargas lançadas, porém, é bastante pequena, de cerca de apenas 0,7%.

### 3.3 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA POLUIÇÃO INDUSTRIAL

Os maiores lançamentos de matéria orgânica no país em termos remanescentes verificam-se no estado de Minas Gerais, alcançando a cifra de 150 mil toneladas de DBO/ano, o que corresponde a cerca de 24% do total dos lançamentos nacionais. Este número elevado deve-se em parte ao fato de que os dados coletados para a indústria sucro-alcooleira, que responde por cerca de 69% do total de lançamentos de DBO do estado, revelarem um baixíssimos índices de remoção de matéria orgânica (na casa de 25%) comparados com a de estados como São Paulo, que apresenta uma remoção em torno

de 98%. Há duas possibilidades: ou a FEAM não considera que formas de aproveitamento de resíduos para fertilização da lavoura não devem ser consideradas como técnica de remoção de poluentes ou então simplesmente estas técnicas não são empregadas em grande escala em Minas.

Este mesmo viés ocorre em estados como o Paraná, Rio de Janeiro e Pernambuco, estados onde a participação da indústria do açúcar e do álcool são importantes na composição das cargas de poluição por matéria orgânica.

Outros estados com lançamentos importantes de matéria orgânica são Paraná, com cerca de 80.000 toneladas de DBO/ano (14% do total nacional) e São Paulo (66 mil toneladas/ano, 11% do total).

**Tabela 3.4**  
**Indicadores da poluição industrial por Matéria Orgânica**

| Estado       | carga remanescente | remoção percentual | IIR         |
|--------------|--------------------|--------------------|-------------|
| BA           | 10.907             | 75,7%              | 3,67        |
| CE           | 22.470             | 24,2%              | 28,73       |
| ES           | 18.611             | 50,4%              | 17,81       |
| GO           | 30.236             | 38,4%              | 60,85       |
| MA           | 14.678             | 68,9%              | 63,40       |
| MG           | 150.283            | 29,1%              | 21,40       |
| PA           | 9.948              | 13,7%              | 24,29       |
| PE           | 51.781             | 75,2%              | 42,49       |
| PR           | 80.601             | 74,9%              | 17,78       |
| RJ           | 39.695             | 51,4%              | 5,07        |
| RS           | 53.644             | 47,0%              | 8,16        |
| SC           | 45.577             | 25,3%              | 17,85       |
| SP           | 65.800             | 93,4%              | 1,49        |
| <b>Total</b> | <b>594.232</b>     | <b>73,1%</b>       | <b>7,44</b> |

A Tabela 3.5 mostra que, como seria de se esperar, as bacias hidrográficas que recebem maiores cargas de matéria orgânica de origem industrial são aquelas que têm maior concentração de indústrias. São elas as bacias dos rios Tietê, em São Paulo (54,3 mil toneladas de DBO em 1988) e do rio Grande, na divisa Minas Gerais - São Paulo (50,7 mil toneladas/ano). As bacias dos rios Paraíba do Sul, Paranapanema, Parnaíba, São Francisco, da região Costeira do Recife e do rio Guaíba recebem cada uma cargas superiores a 30 mil toneladas/ano de DBO.

**Tabela 3.5**  
**Bacias com Maiores Lançamentos de Matéria Orgânica**  
*(1000 toneladas de DBO/ano)*

| <b>bacia</b>            | <b>estado</b> | <b>carga orgânica remanescente</b> |
|-------------------------|---------------|------------------------------------|
| Rio Tietê               | SP            | 54,3                               |
| Rio Grande              | SP / MG       | 50,7                               |
| Rio Paraíba do Sul      | SP / MG / RJ  | 39,7                               |
| Rio Paranapanema        | MG            | 36,3                               |
| Rio Parnaíba            | MG / GO       | 36,2                               |
| Rio São Francisco       | MG / BA       | 34,6                               |
| Reg. Costeira do Recife | PE            | 33,2                               |
| Rio Guaíba              | RS            | 31,8                               |
| Rio Uruguai             | SC / RS       | 29,0                               |
| Rio Paraná              | SP / PR       | 26,6                               |

A Tabela 3.6 mostra que os lançamentos de metais pesados pela indústria brasileira concentravam-se em 1988 em três estados, que respondiam em conjunto por cerca de 76% de todas as cargas remanescentes lançadas no país: Rio de Janeiro, com cerca de 3.500 toneladas de metais por ano, São Paulo, com pouco mais de 2.900 toneladas/ano e Minas Gerais, com lançamentos de cerca de 2.860 toneladas/ano de metais. A participação individual das indústrias dos outros estados não ultrapassou neste ano a casa dos 6% do total nacional de 12,3 mil toneladas/ano de metais.

Diferentemente de Rio de Janeiro e Minas Gerais, onde as respectivas indústrias Metalúrgicas respondem por mais de 85% das cargas de metais, a poluição por metais em São Paulo é dividida entre as indústrias Metalúrgica (48%), Mecânica (33%) e de Material de Transporte(12%).

**Tabela 3.6**  
**Indicadores da poluição industrial por Metais Pesados**

| <b>Estado</b> | <b>carga remanescente</b> | <b>remoção percentual</b> | <b>IIR</b>  |
|---------------|---------------------------|---------------------------|-------------|
| <b>BA</b>     | 291                       | 67,3%                     | 0,10        |
| <b>CE</b>     | 215                       | 1,0%                      | 0,27        |
| <b>ES</b>     | 398                       | 40,4%                     | 0,38        |
| <b>GO</b>     | 8                         | 79,2%                     | 0,02        |
| <b>MA</b>     | 1                         | 87,8%                     | 0,00        |
| <b>MG</b>     | 2.862                     | 2,9%                      | 0,41        |
| <b>PA</b>     | 1                         | 35,7%                     | 0,00        |
| <b>PE</b>     | 790                       | 2,0%                      | 0,65        |
| <b>PR</b>     | 531                       | 29,3%                     | 0,12        |
| <b>RJ</b>     | 3.472                     | 62,8%                     | 0,44        |
| <b>RS</b>     | 708                       | 56,6%                     | 0,11        |
| <b>SC</b>     | 111                       | 16,5%                     | 0,04        |
| <b>SP</b>     | 2.934                     | 63,6%                     | 0,07        |
| <b>Total</b>  | <b>12.321</b>             | <b>51,7%</b>              | <b>0,15</b> |

As indústrias localizadas nas bacias dos rios Paraíba do Sul e Tietê responderam, sozinhas, por cerca de 55% dos lançamentos de metais pesados nos corpos d'água brasileiros em 1988, como mostra a Tabela 3.7.



**Tabela 3.7**  
**Bacias com Maiores Lançamentos de Metais Pesados**  
*(1000 toneladas de metais/ano)*

| <b>bacia</b>            | <b>estado</b> | <b>carga de metais remanescente</b> |
|-------------------------|---------------|-------------------------------------|
| Rio Paraíba do Sul      | SP / MG / RJ  | 4,15                                |
| Rio Tietê               | SP            | 2,57                                |
| Rio Doce                | MG            | 1,00                                |
| Reg. Costeira do Recife | PE            | 0,78                                |
| Baía da Guanabara       | RJ            | 0,66                                |
| Rio Grande              | SP / MG       | 0,61                                |
| Rio Guaíba              | RS            | 0,58                                |
| Rio Iguaçu              | PR/SC         | 0,50                                |
| Oceano Atlântico - ES   | ES            | 0,40                                |
| Oceano Atlântico - BA   | BA            | 0,29                                |

Analisando-se em conjunto os dados de lançamentos remanescentes de matéria orgânica e de metais pesados da indústria nacional, nota-se que as bacias hidrográficas que recebem maiores aportes de poluição são as dos rios Tietê e Paraíba do Sul, ambos entre os três mais poluídos tanto por carga orgânica como por metais.

#### **4. CUSTOS DE CONTROLE DA POLUIÇÃO HÍDRICA INDUSTRIAL**

##### **4.1 TRÊS CENÁRIOS DE CONTROLE DA POLUIÇÃO**

Neste capítulo serão apresentados três cenários para os quais foram calculados os custos de controle de poluição necessários para que seus objetivos sejam atingidos. Obviamente, os cenários propostos são arbitrários e servem tão somente para mostrar o impacto que políticas de controle de poluição poderiam acarretar sobre a emissão de poluentes e o desempenho econômico da indústria.

Deve-se ter sempre em mente que as estimativas de custos de controle anuais apresentadas não são a única informação necessária para a elaboração de políticas de controle de poluição eficientes. Outras questões como os benefícios trazidos pela redução dos lançamentos de poluentes e o montante dos financiamentos a serem assumidos ainda ficam em descoberto, exigindo esforços muito grandes para a sua avaliação. De qualquer forma, os números que serão apresentados em seguida são de grande relevância para a tomada de decisão em qualquer nível.

O primeiro cenário propõe que cada fábrica no Brasil remova *pelo menos* 50% das suas cargas potenciais de matéria orgânica e de metais pesados. É um cenário bastante conservador, posto que em média 52% dos metais pesados e 73% da carga orgânica já é removida pelo parque industrial.

No segundo cenário, todas as indústrias removem no mínimo 75% das suas emissões individuais de matéria orgânica e de metais pesados. Com a adoção deste cenário, cerca de 93% da poluição por matéria orgânica e 84% da poluição por metais pesados seria removida, aproximando o país de níveis de remoção internacionalmente aceitos.

O terceiro cenário propõe que todas as fábricas removam toda a poluição possível, reduzindo assim as emissões ao nível mínimo possível. Este cenário serve como referencial do máximo impacto possível de uma política agressiva de controle da poluição industrial, apesar de ter viabilidade técnica e econômica discutíveis.

Como neste trabalho são abordados dois poluentes e propostos três diferentes limites de remoção mínima obrigatória (50%, 75% e 100%), somados à possibilidade de não ser adotada nenhuma medida de controle, 16 combinações de políticas de controle são possíveis, porque como os dois poluentes que estão sendo analisados não têm, em princípio, uma ação sinérgica sobre o outro, cada

alternativa de controle poderiam ser analisada em separado para cada poluente. A análise das conseqüências de cada alternativa proposta sobre as emissões será discutida nas próximas Seções, que por uma questão de simplificação agruparão essas 16 possibilidades em três grandes cenários: remoção mínima obrigatória de 50% para matéria orgânica e metais pesados, remoção mínima obrigatória de 75% para matéria orgânica e metais pesados e máxima remoção possível para matéria orgânica e metais pesados

Já os resultados de cada ação sobre os custos de controle e a economia podem ser agregados, gerando várias possibilidades. A Tabela 4.1 sumariza os custos de controle de poluição necessários para cada uma das 16 possibilidades:

**Tabela 4.1**  
**Custos Anuais de Controle Previstos para Cada Remoção de**  
**Poluentes Proposta**  
*(US\$ milhões / ano)*

|                 | metais: 0% | metais: 50%  | metais: 75%    | metais: 100%   |
|-----------------|------------|--------------|----------------|----------------|
| <b>DBO: 0%</b>  | 0          | 664,8        | 819,9          | 1.314,6        |
| <b>DBO:50%</b>  | 149,8      | <b>814,6</b> | 969,7          | 1.464,4        |
| <b>DBO:75%</b>  | 186,1      | 850,9        | <b>1.006,1</b> | 1.500,7        |
| <b>DBO:100%</b> | 344,2      | 1.009,0      | 1.164,1        | <b>1.658,8</b> |

Um primeiro dado que pode ser observado é que os custos podem chegar à casa do bilhão de dólares anuais para o cenário de 75%-75% (onde é alcançado um nível de remoção de padrão internacional) e no máximo chegarem a 1,65 bilhões de dólares por ano, o que equivale a cerca de 2% de todo o valor da transformação industrial da amostra de estados e setores em valores de 1988. Um maior número de poluentes somente aumentaria este valor, o qual poderia chegar a ser alto o suficiente para inviabilizar alguns setores industriais do país.

Pode-se observar também que com um maior número de poluentes, a quantidade de cenários aumentaria consideravelmente, exigindo um grande esforço de análise de dados de forma a encontrar quais alternativas seriam economicamente viáveis.

Um cuidado adicional deve ser tomado durante a leitura destes resultados. Como não estão disponíveis dados sobre o desempenho econômico individualizado de cada estabelecimento industrial pesquisado pela CETESB e pelo PRONACOP, as análises são feitas de maneira agregada, por estado, setor e bacia hidrográfica. Assim, eventualmente setores aparentemente viáveis podem ocultar estabelecimentos que seriam inviabilizados pela adoção de um cenário mais exigente, com efeitos eventualmente nefastos para a economia local e nacional. Assim, no caso de um determinado setor ser considerado "*viável*" sob uma certa política, não se está levando em conta a viabilidade ambiental de *cada* estabelecimento, o que idealmente deveria ser feito para permitir uma tomada de decisões mais justa.

Uma questão interessante é a do corte que deve ser feito para estabelecer a partir de qual ponto uma indústria deixa de ser "ambientalmente viável". Este ponto deve ser indicado, por exemplo, pelo passivo ambiental da empresa: uma firma que tenha que dispendir uma parcela significativa de seu VTI em controle de poluição pode ser inviabilizada sob o ponto de vista econômico<sup>3</sup>.

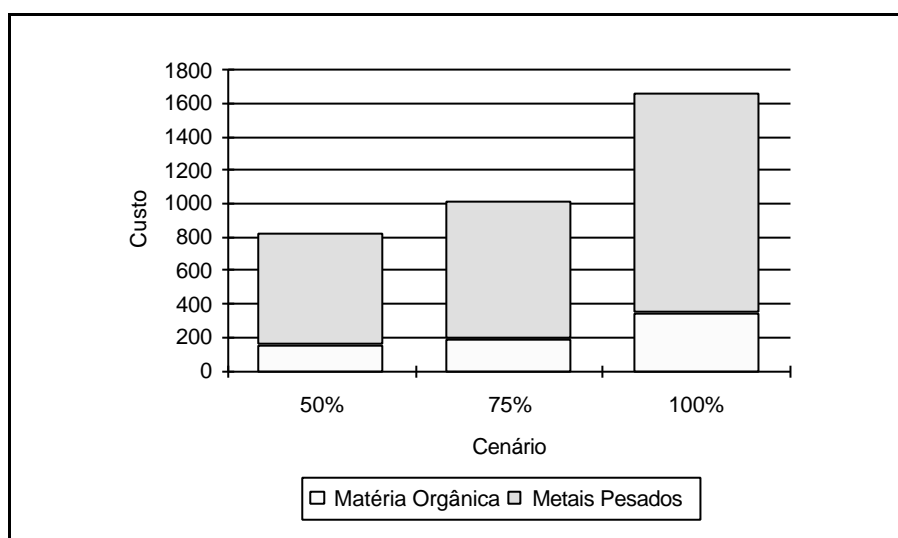
---

<sup>3</sup> Isto nem sempre é tão simples assim: a adoção de medidas de controle de poluição muitas vezes permite a reciclagem de algumas substâncias, gerando receitas por vezes importantes. Dois exemplos disso são a recuperação de cromo perdido em processos de eletrodeposição e o emprego dos rejeitos orgânicos oriundos da

Um dado interessante a respeito é que o item *salários, retiradas, etc.* corresponde a cerca de 20% do VTI dos setores pesquisados, ou seja, um IPA de 20% já corresponde *em média*, à folha de pagamento das empresas, conforme dados do Censo Industrial de 1985 apresentados no Anuário Estatístico do Brasil - 1992. Esta relação **Salários / VTI** não chega a ser inferior a 10% em nenhum setor da indústria, número este que será arbitrado como ponto de corte nas análises. Desta maneira, serão consideradas como indústrias "*ambientalmente inviáveis*" aquelas que deverão dispendir mais de 10% do seu VTI em medidas de controle de poluição, ou seja, com um IPA superior a 10%. A restrição imposta pela agregação dos dados em gêneros de indústria por estado de modo que eventualmente alguns estabelecimentos "*inviáveis*" podem passar despercebidos, é claro, é válida para a análise dos indicadores de passivo.

O Gráfico 4.1 mostra os custos calculados para a indústria brasileira de 1988 conforme estes cenários propostos:

**Gráfico 4.1**  
**Custos de Remoção da Poluição Hídrica de Origem Industrial no Brasil para o Ano de 1988**  
(US\$ milhões/ano)



Como pode-se observar no Gráfico 4.1, os elevados custos de remoção de metais pesados influenciam os custos totais de remoção. No cenário de 50% seriam necessários 150 milhões de dólares anuais para remover as cargas orgânicas e 665 milhões para remover as cargas de metais pesados. No cenário de 75%, US\$ 186 milhões/ano para matéria orgânica e 820 milhões/ano para metais e no cenário de máxima remoção possível, 344 milhões/ano para matéria orgânica e 1,31 bilhões/ano para metais pesados.

Os gêneros de indústria que devem arcar com os maiores custos para remover toda a sua poluição orgânica e de metais pesados são justamente aqueles que devem dispendir elevadas somas para remover as cargas de metais: Metalurgia (US\$ 1,040 bilhões/ano), Química (US\$ 190 milhões/ano), Couros e Peles (US\$ 137 milhões/ano) e Mecânica (US\$ 108 milhões/ano), Material de Transporte (US\$ 51 milhões/ano), Alimentos (US\$ 39 milhões/ano), Têxtil (US\$ 38 milhões/ano) e Papel e Celulose (US\$ 22 milhões/ano). Note-se a importância do controle de metais pesados oriundos da indústria Metalúrgica: somente este item responde por cerca de 63% de todos os custos necessários

---

produção do álcool na fertilização das lavouras. A adoção de técnicas como estas reverte em benefícios para a indústria que infelizmente não são contabilizados pelo modelo de estimação de custos de controle.

para remover toda a poluição possível. A Tabela 4.2 mostra estes dados em detalhe para cada cenário proposto.

**Tabela 4.2**  
**Custos Anuais de Controle e Indicadores de Passivo Ambiental no**  
**Brasil nos 3 Cenários Propostos para Matéria Orgânica e Metais**  
*(US\$ milhões/ano)*

|                      | <i>Custos</i> |              |              | <i>IPA</i>   |              |              |
|----------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Estado</b>        | <b>50%</b>    | <b>75%</b>   | <b>100%</b>  | <b>50%</b>   | <b>75%</b>   | <b>100%</b>  |
| BA                   | 18            | 21           | 39           | 0,60%        | 0,70%        | 1,30%        |
| CE                   | 19            | 25           | 34           | 2,46%        | 3,17%        | 4,37%        |
| ES                   | 29            | 29           | 46           | 2,75%        | 2,76%        | 4,39%        |
| GO                   | 5             | 6            | 12           | 0,99%        | 1,20%        | 2,51%        |
| MA                   | 2             | 2            | 8            | 0,83%        | 0,96%        | 3,31%        |
| MG                   | 204           | 256          | 365          | 2,91%        | 3,64%        | 5,19%        |
| PA                   | 1             | 2            | 3            | 0,33%        | 0,41%        | 0,69%        |
| PE                   | 68            | 83           | 111          | 5,58%        | 6,79%        | 9,13%        |
| PR                   | 49            | 60           | 103          | 1,08%        | 1,32%        | 2,28%        |
| RJ                   | 223           | 235          | 400          | 2,85%        | 3,01%        | 5,12%        |
| RS                   | 52            | 53           | 134          | 0,79%        | 0,81%        | 2,04%        |
| SC                   | 16            | 20           | 33           | 0,62%        | 0,79%        | 1,29%        |
| SP                   | 129           | 215          | 371          | 0,29%        | 0,49%        | 0,84%        |
| <b>Gênero</b>        |               |              |              |              |              |              |
| Alimentos            | 17            | 19           | 39           | 0,13%        | 0,14%        | 0,29%        |
| Bebidas              | 4             | 4            | 9            | 0,26%        | 0,29%        | 0,61%        |
| Couros e Peles       | 43            | 51           | 137          | 5,01%        | 5,96%        | 16,01%       |
| Farmacêutica         | 1             | 1            | 1            | 0,03%        | 0,03%        | 0,06%        |
| Madeira              | 13            | 13           | 17           | 1,00%        | 1,06%        | 1,37%        |
| Mat. Transporte      | 16            | 25           | 53           | 0,20%        | 0,32%        | 0,68%        |
| Mecânica             | 14            | 50           | 108          | 0,10%        | 0,34%        | 0,73%        |
| Metalurgia           | 613           | 715          | 1.040        | 5,30%        | 6,18%        | 8,99%        |
| Papel e Celulose     | 7             | 7            | 22           | 0,16%        | 0,18%        | 0,55%        |
| Perf. Sabões e Velas | 2             | 2            | 3            | 0,11%        | 0,11%        | 0,24%        |
| Química              | 62            | 91           | 190          | 0,39%        | 0,57%        | 1,19%        |
| Têxtil               | 25            | 28           | 38           | 0,48%        | 0,53%        | 0,74%        |
| <b>Total</b>         | <b>815</b>    | <b>1.006</b> | <b>1.659</b> | <b>1,02%</b> | <b>1,26%</b> | <b>2,08%</b> |

Observando-se os comportamento dos custos destas indústrias em cada cenário, constatamos que a participação da Metalurgia é sempre elevada, o que a obriga a assumir maiores custos de controle em qualquer dos cenários apresentados.

As Bacias que têm indústrias com maiores custos de controle são as bacias dos rio Paraíba do Sul, Tietê, Doce, Guaíba, região Costeira do Recife, Rio Grande e Baía da Guanabara, todas com custos totais superiores a 100 milhões de dólares por ano no cenário de máxima remoção possível. As duas primeiras devem arcar com custos totais de, respectivamente, 451 e 313 milhões de dólares anuais para que as suas indústrias não mais lancem matéria orgânica e metais pesados.

## 4.2 COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS

Esta seção apresenta uma breve comparação entre os resultados obtidos para os três cenários apresentados. Para tanto, as Tabelas 4.3, 4.4 e 4.5 foram elaboradas, colocando respectivamente lado a lado os resultados para os vários cenários dos indicadores relacionados com os

lançamentos e eficiências de remoção de matéria orgânica e metais pesados e com os custos anuais de controle observados e calculados ao longo deste trabalho.

A Tabela 4.3 mostra que a remoção de matéria orgânica pela indústria brasileira em 1988 já era consideravelmente adequada em termos globais, atingindo um nível de 73% das cargas potenciais (cenário de 0%). Com a adoção do proposto no cenário de 50%, a remoção das cargas potenciais chegaria a cerca de 90%, a um custo anual de cerca de 150 milhões de dólares. O aumento da restrição para 75% de remoção individual mínima levaria a remoção das cargas para pouco mais de 93% das cargas potenciais, com um aumento dos custos anuais de cerca de 19%.

Em termos globais, pode-se notar que o aumento da restrição teria um custo consideravelmente elevado (cerca de mais 155 milhões de dólares/ano) para uma remoção adicional de cerca de 65 mil toneladas de DBO/ano, ou pouco mais de 10% das cargas remanescentes efetivamente lançadas. Em suma, para remover mais 10% da poluição orgânica efetivamente lançada seria necessária uma elevação de 19% dos custos anuais de controle.

Na passagem do cenário de 75% para o de 100% de remoção mínima permitida, para remover mais 26% do total de poluição remanescente seria necessário quase dobrar os custos anuais de remoção de matéria orgânica, de 186 para 344 milhões de dólares anuais.

**Tabela 4.3**  
**Comparação dos Cenários para Lançamentos de Matéria Orgânica**

| Indicador                            | Unidade             | Cenário de Remoção de Poluentes |         |          |          |
|--------------------------------------|---------------------|---------------------------------|---------|----------|----------|
|                                      |                     | 0 %                             | 50 %    | 75 %     | 100 %    |
| carga remanescente                   | 1000 ton de DBO/ano | 594,23                          | 226,37  | 161,52   | 3,71     |
| intensidade de poluição remanescente | g de DBO/US\$       | 7,44                            | 2,83    | 2,02     | 0,05     |
| remoção, base cargas potenciais      | 1000 ton DBO/ano    | 1.611,64                        | 1979,50 | 2.044,35 | 2.202,16 |
| remoção, base cargas potenciais      | %                   | 73%                             | 90%     | 93%      | 99,8%    |
| remoção, base cargas remanescentes   | 1000 ton DBO/ano    | --                              | 367,86  | 432,71   | 590,51   |
| remoção, base cargas remanescentes   | %                   | --                              | 62%     | 73%      | 99,4%    |
| custos de controle                   | US\$ 1000/ano       | --                              | 149.785 | 186.148  | 344.188  |
| IPA                                  | %                   | --                              | 0,19%   | 0,23%    | 0,43%    |

No caso dos metais pesados, observa-se a partir da Tabelas 4.4 que a remoção de metais pesados, os contrário do observado para matéria orgânica, ainda está bastante abaixo de níveis aceitáveis, ficando em apenas 52% das cargas potenciais. Lembre-se que o ideal no caso de metais pesados é a completa remoção das cargas de poluentes, em função dos danos que os metais causam ao ambiente e à baixa capacidade de assimilação do meio para estes elementos.

**Tabela 4.4**  
**Comparação dos Cenários para Lançamentos de Metais Pesados**

| Indicador                            | Unidade             | Cenário de Remoção de Poluentes |         |         |           |
|--------------------------------------|---------------------|---------------------------------|---------|---------|-----------|
|                                      |                     | 0 %                             | 50 %    | 75 %    | 100 %     |
| carga remanescente                   | 1000 ton metais/ano | 12,32                           | 6,24    | 3,96    | 0,03      |
| intensidade de poluição remanescente | g de metais/US\$    | 0,32                            | 0,08    | 0,05    | 0,0003    |
| remoção, base cargas potenciais      | 1000 ton metais/ano | 13,17                           | 19,25   | 21,52   | 25,45     |
| remoção, base cargas potenciais      | %                   | 52%                             | 76%     | 84%     | 99,9%     |
| remoção, base cargas remanescentes   | 1000 ton metais/ano | --                              | 6,08    | 8,36    | 12,29     |
| remoção, base cargas remanescentes   | %                   | --                              | 49%     | 68%     | 99,7%     |
| custos de controle                   | US\$ 1000/ano       | --                              | 664.771 | 819.939 | 1.314.601 |
| IPA                                  | %                   | --                              | 0,83%   | 1,03%   | 1,65%     |

A remoção conseguida no cenário de 50% é ainda relativamente baixa, da ordem de 76%, o que leva à necessidade de ser adotada uma política mais restritiva, de pelo menos 3/4 de remoção mínima individual das cargas potenciais, onde é conseguido um resultado de 84% de redução dos lançamentos potenciais.

Este resultado é conseguido com custos da ordem de 820 milhões de dólares anuais, ou seja, cerca de 1,03% do VTI da indústria amostrada.

**Tabela 4.5**  
**Comparação dos Cenários para Custos Anuais de Controle de Matéria Orgânica e Metais Pesados**

| Indicador  | Unidade                  | Cenário de Remoção de Poluentes |         |         |
|--|--------------------------|---------------------------------|---------|---------|
|  |                          | 50 %                            | 75 %    | 100 %   |
| custos de controle anuais totais                   | US\$ milhões/ano         | 814,6                           | 1.006,1 | 1.658,8 |
| IPA total  | %                        | 1,02%                           | 1,26%   | 2,08%   |
| custos de controle anuais para matéria orgânica    | US\$ milhões/ano         | 149,8                           | 186,1   | 344,19  |
| custos marginais de controle para matéria orgânica | US\$/kg DBO removidos    | 0,41                            | 0,43    | 0,58    |
| IPA para matéria orgânica                          | %                        | 0,19%                           | 0,23%   | 0,43%   |
| custos de controle anuais para metais pesados      | US\$ milhões/ano         | 664,8                           | 819,9   | 1.314,6 |
| custos marginais de controle para metais pesados   | US\$/kg metais removidos | 109,3                           | 98,1    | 107,0   |
| IPA para metais pesados                            | %                        | 0,83%                           | 1,03%   | 1,65%   |

No caso de metais, o cenário de máxima remoção individual possível é, apesar das dificuldades técnicas, ambientalmente desejável e deve ser considerado. Para conseguir-se uma redução de cerca de 99,7% dos lançamentos de metais seria necessário incorrer em custos anuais de cerca de 1,34 bilhões de dólares, ou cerca de 1,65% do VTI. Porém, como já foi visto anteriormente, esta opção pela completa remoção de metais pesados pode inviabilizar alguns setores da indústria nacional.

### 4.3 IMPACTOS SOBRE A ECONOMIA

Em termos globais a remoção de toda a poluição hídrica por matéria orgânica e metais pesados de origem industrial no país custaria cerca de 1,66 bilhões de dólares anuais, o que representaria pouco mais de 2% do valor da transformação industrial da amostra de estados e gêneros industriais, que corresponde como já foi dito a cerca de 86% da indústria de transformação nacional.

Analisando os outros cenários, o comprometimento do VTI seria da ordem de 1,02% para a remoção mínima de 50% e de 1,26% no cenário de 75%. Em termos globais, o impacto sobre a indústria nacional seria assim consideravelmente pequeno em qualquer cenário, mesmo o de máxima remoção possível.

Deve-se lembrar aqui que estes custos são avaliados para apenas dois poluentes, podendo portanto o comprometimento do VTI chegar a valores mais elevados.

Estes dados são, porém, gerais. Os passivos ambientais de algumas indústrias podem ser extremamente elevados, como no caso da indústria Metalúrgica de Pernambuco, onde seriam necessários quase 70% do VTI para a remoção total dos poluentes e quase 45% do VTI num cenário de 50% de remoção mínima obrigatória. Estas indústrias podem ser inviabilizadas no caso de adoção de cenários muito restritivos, que exigiriam a alocação de recursos demasiado grandes pelas indústrias para o controle da poluição. Considerando-se que mesmo este número é uma média dos estabelecimentos do setor, pode-se esperar que alguns estabelecimentos sejam inviabilizados mesmo com a adoção de políticas pouco restritivas.

Isto ajuda a fundamentar uma importante conclusão: a adoção de metas únicas para a remoção de poluentes deve ser vista com muita reserva. As políticas devem ser elaboradas com um constante controle da razão custos de controle - recursos das empresas locais, pois é relativamente fácil inviabilizar alguns estabelecimentos industriais importantes com a adoção de metas de controle de poluentes que, vistas de maneira global, representariam apenas uma ínfima parte dos custos das empresas. As análises a nível macro como as feitas neste trabalho devem ser usadas para o estabelecimento de metas globais, que devem ter a sua aplicação avaliada caso a caso através de negociação entre o órgão ambiental e os agentes envolvidos.

Uma solução possível seria a exigência de níveis de remoção mais elevados para alguns estabelecimentos que possam individualmente arcar com os custos de remoção. Este procedimento por um lado permite evitar o fechamento de algumas fábricas, mas exige informações criteriosamente levantadas, um modelo sofisticado de previsão de custos de controle e, principalmente, a negociação caso a caso com os industriais. Isto só é possível em áreas relativamente restritas, mas é certo que sem um planejamento mais amplo as metas não podem ser estabelecidas e toda a discussão sobre a remoção de poluentes seria esvaziada pela falta de um ponto de partida.

## **5. CONCLUSÕES**

Este trabalho apresenta várias limitações importantes, das quais podemos citar, entre outras:

- Não contempla a qualidade da água resultante da poluição industrial como medida do dano ambiental causado pela poluição, e sim usa o lançamento de poluentes como aproximação deste efeito. Como se sabe, a carga de poluentes lançada é apenas um indicador muito tênue da qualidade da água;
- Trabalha com apenas dois poluentes, da infinidade de poluentes que afetam a qualidade da água, e não contempla importantes efeitos sinérgicos que advêm da presença de ambos no meio ambiente;
- Focaliza apenas alguns gêneros da indústria de transformação, representados por alguns poucos produtos-chave. Por exemplo, sabe-se a partir da literatura (Stocker/Seager, 1981) que a indústria Editorial e Gráfica (setor 28 do IBGE) é uma das mais importantes fontes de metais pesados, juntamente com certas formas de extração mineral, que não estão contempladas neste estudo;
- O modelo de estimação de custos de controle adota como premissa que todos os agentes poluidores deverão remover a mesma quantidade relativa de poluentes e comportar-se-ão

conforme previsto. Isto, obviamente, não é possível no mundo real e serve apenas para indicar tendências e não resultados finais;

- O modelo usa dados de custo para apenas a implantação de usinas de tratamento de poluentes, e não incorpora outras alternativas de redução;
- Os modelo dá como resultado apenas os custos de controle anuais de poluição. Seria de fundamental importância para o planejamento que também fossem produzidas informações sobre os investimentos necessários, custos financeiros, custos com mão de obra, empregos gerados pelas atividades de controle de poluição.
- O modelo não contempla a evolução do processo de controle da poluição ao longo do tempo, fornecendo apenas resultados estáticos;
- O modelo usa uma abordagem política idealizada, onde todos os poluidores obedecem à legislação de maneira cega. No mundo real, os poluidores têm a chance de arcar com sanções e/ou incentivos, sempre olhando para os seus custos marginais antes de decidir dar o passo seguinte no sentido de aumentar a sua remoção de poluentes.

Em função dessas limitações, entre outras, os resultados apresentados neste trabalho devem ser encarados apenas como indicadores da situação da poluição hídrica de origem industrial no Brasil no ano de 1988, não sendo números absolutos nem tampouco definitivos.

Os custos de controle calculados para a indústria podem ser comparados com os encontrados por Serôa da Motta *et alii* (1992) para o controle dos lançamentos de matéria orgânica pelos esgotos domésticos urbanos. Naquele trabalho, estimou-se que seriam necessários cerca de US\$ 1,8 bilhões anuais (a preços de 1980) para coletar e tratar de maneira adequada os esgotos domésticos no país. Este número é da mesma ordem de grandeza que o encontrado neste trabalho para a remoção total da matéria orgânica e dos metais pesados lançados nas águas pela indústria, que chega a 1,66 bilhões de dólares anuais a preços de 1988.

Os resultados são válidos para uma primeira análise da situação nacional, mas deve-se ressaltar que os dados que servem de base para o estudo são datados de 1988, antes do grande movimento ambientalista que teve como marco a Rio-92 e que trouxe para o país em geral e para a indústria em particular a internalização cada vez mais acentuada das questões ambientais.

Em função disso, este trabalho poderá ser de grande utilidade quando puder ser comparado com os resultados de novos levantamentos, permitindo a constatação dos avanços alcançados pelas novas práticas de modernização dos meios de produção e de controle ambiental implantados principalmente nos estados mais industrializados do país.

Salvo esforços isolados de vários órgãos ambientais estaduais, não existe hoje uma base de dados atualizada sobre a atividade industrial no país e a sua emissão de poluentes. Estados como Rio de Janeiro, Paraná e São Paulo mantêm bases de dados relativamente atualizadas, mas que face aos custos elevados do trabalho de manutenção, eventualmente contêm informações datadas, com pouca utilidade na formulação de políticas de controle.

A base de dados mais atualizada, consolidada de maneira que seja possível uma comparação entre os estados, ainda é a oriunda do PRONACOP, que somada às informações sobre São Paulo provenientes da CETESB permitiram a realização deste trabalho. Conseqüentemente, é importante o levantamento de uma nova base de dados sobre a emissão de poluentes industriais, que devem ser constantemente atualizados, de forma a permitir a elaboração de políticas de controle de poluição mais justas e de resultados mais garantidos sem desperdícios importantes de recursos.

Tal base de dados poderia ser levantada e mantida por um órgão como o IBGE em conjunto com o Ministério do Meio Ambiente e os órgãos ambientais estaduais. A iniciativa de centralizar as informações teria como vantagens a redução dos custos de informação, a uniformidade dos dados e o



livre acesso por parte não só dos órgãos ambientais estaduais, mas de comissões de planejamento integrado de bacias hidrográficas, prefeituras, pesquisadores e permitiria um acompanhamento transparente da evolução da problemática da poluição industrial no país.

Nos programas de despoluição da Baía de Guanabara e do Tietê, já foi constatado o que a primeira parte deste trabalho salienta: a poluição hídrica de origem industrial é apenas uma parte (por vezes menor) do problema da poluição dos corpos d'água como um todo. Deve-se ter em mente que o esgoto doméstico, o lixo sólido e o run-off urbano e rural são grandes fontes de poluentes, que afetam efetivamente a qualidade da água dos rios e que em função disso também devem ser alvo de ações do poder público, mesmo porque os agentes poluidores nestes casos não são tão facilmente identificáveis como no caso das indústrias. E, como já foi dito anteriormente, que os custos de controle da poluição industrial (metais e matéria orgânica) são da mesma ordem que os necessários para controlar a poluição oriunda dos esgotos domésticos urbanos (através de coleta e de tratamento adequado).

Como pode ser visto no transcorrer deste trabalho, um longo caminho ainda está por ser trilhado no sentido de se ter uma remoção significativa da contribuição da indústria na poluição de nossos corpos d'água.

E um primeiro passo neste sentido é definir prioridades, e para tanto, é necessária a construção e manutenção de uma rede de informações que permita monitorar os progressos alcançados e alocar da melhor forma possível os recursos disponíveis.

Este trabalho tenta mostrar que tal rede de informações é plenamente viável, bastando apenas vontade política de por à mostra os problemas nacionais e tentar resolvê-los de maneira objetiva.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- BERNSTEIN, J.D. - Alternative approaches to pollution control and waste management: regulatory and economic instruments, UNDP/World Bank/UNCHS, **Draft Report**, janeiro 1991.
- CETESB. Estimativa de emissão de carga orgânica e de metais pesados. **Tabulação especial**, 1992.
- ESTACHE, A. and ZHENG, K. - **Managing Pollution Control in Brazil: The Potential Use of Taxes and Fines by Federal and State Governments**, The World Bank Working Papers, July 1992.
- FELDMAN, F., relator. Parecer Preliminar da Comissão de Defesa do Consumidor, Meio Ambiente e Minorias sobre o PL 2.249-A, de 1991. **Câmara dos Deputados**, Brasília, junho de 1993.
- FGV - **Conjuntura Econômica**, vol.43, no.8, 31 de agosto de 1989.
- IBGE - **Anuário Estatístico do Brasil - 1992**. IBGE, 1992.
- IBGE - **Censos Econômicos - 1985**, IBGE, 1991.
- IBGE - **Indicadores**, vol.7 (1988), no. 4,6,9 and 12 ; vol.8 (1989), no.2.
- JANTZEN, J. **Cost-Effective Pollution Control in Brazil**. Draft Final Report. Institut voor Toegepaste Milieu-Economie, comissionado pelo Banco Mundial, Holanda, outubro 1992.
- JONES, E. **dBase IV - Guia do Usuário**. McGraw-Hill, São Paulo, 1989.
- MENDES, F.E. Uma Avaliação dos Custos de Controle da Poluição Hídrica de Origem Industrial no Brasil. **Tese de M.Sc.** PPE/COPPE/UFRJ, maio de 1994.
- PANAYOTOU, T. - Economic incentives in environmental management and their relevance to developing countries, In: ERÖCAL, D.(ed.) **Environmental Management in Developing Countries**, OECD, 1991.

- PRONACOP. **Relatório Final**. Secretaria Especial do Meio Ambiente, 1989.
- SABESP. - Subsídios para um programa de recebimento de efluentes não domésticos na área de concessão da Sabesp, **mimeo**, Diretoria Financeira/Sabesp, July 1991.
- SERÔA DA MOTTA, R. - Uma proposta metodológica para estimativas de contas ambientais no Brasil. **Relatório Interno**, IPEA/Rio, no.4, 1991.
- SERÔA DA MOTTA, R. - Water services control and management in Brazil, **mimeo**, The World Bank, LA1IN, April 1991a.
- SERÔA DA MOTTA, R. - Mecanismos de mercado na política ambiental brasileira, In: **Perspectivas da Economia Brasileira - 1992**, IPEA, 1991b.
- SERÔA DA MOTTA, R. - Indicadores de poluição na indústria brasileira, In: **Perspectivas da Economia Brasileira - 1993**, IPEA, 1993.
- SERÔA DA MOTTA, R., OLIVEIRA FILHO, G., MENDES, F.E. & NASCIMENTO, C.A. Current status of water pollution in Brazil. **Texto para discussão**, IPEA/ Rio, no. 289, fev. 1993
- SERÔA DA MOTTA, R. & MENDES, F.E. Estimativas de custos de controle da poluição hídrica na indústria brasileira. **mimeo**, IPEA/ Rio, abril de 1993.
- STOCKER, H.S. & SEAGER, S.L. **Química Ambiental: Contaminación del Aire y del Agua**. Editorial Blume, Barcelona, Espanha, 1981.
- SUREHMA - **Qualidade das Águas Interiores no Estado do Paraná**, SUREHMA, 1987.
- THE WORLD BANK. Brazil water pollution control management issues and opinions. Main report, **mimeo**, The World Bank, LA1 Dept, draft confidential report, december 1, 1992.
- WHO. **Rapid Assessment of Sources of Air, Water and Land Pollution**. WHO Offset Publication no. 62, WHO, Geneva, 1982.
- YASSUDA, E.R. O gerenciamento de bacias hidrográficas. **Cadernos FUNDAP** 16(9): 46-53. São Paulo, FUNDAP, junho de 1989.