CATALOGADO

# FUNÇAO DA FLORESTA NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA USO HUMANO.

Nivaldo Eduardo Rizzi*

SUMMARY

*The surface water of reservoirs undergoes a purifying process know as conventional water treatment aimed at making in potalbe. This proces requires the addition of certain chemicals, such as: aluminium sulphate, hidrated lime and liquid chloride. This defines the preservation of the natural reservoir water potabily preventing as additional consumption of chemicals. The protecting forest in the water springs (sources) also benefits indirectly as it protects the natural properties of the water in reservoirs for treatment. The results were obtained from the protection of water springs in the Iguaçu River sources, in wich surface water was kept in reservoirs for treatment and later water supply since 1980 for the meiropolitan área of Curitiba of additional volume of 1130 t/year of sulphate: 450 t / year of hidrated lime and 125 t / year of chloride.*

## 1. INTRODUÇAO

São evidentes as pressões exercidas sobre os ecossistemas naturais dos quais depende a humanidade. A desordenada ocupação do espaço físico ambiental tem tornado problemático a utilização dos recursos naturais. Os recursos hídricos sofrem acentuada degradação à medida em que o processo de ocupação da terra evolui, quer pelo crescimento dos centros urbanos, quer pela própria expansão das fronteiras agrícolas.

O abastecimento de água para a população urbana transforma-se a cada dia problema de segurança de vida maior. Este é ainda mais crítico quando se refere às águas superficiais captadas e purificadas nas Estações de Tratamento de Água.

Como se observa, a dependência e necessidade de tecnologia sofisticada de tratamento relega a plano secundário a proteção das águas na microbacia de captação. Em outras palavras, prioritariza-se a questão da purificação e distribuição da água como produto de consumo e esquece-se da água como matéria-prima.

A floresta desempenha importante papel na conservação dos recursos hídricos na medida em que serve de filtro de impurezas ou conserva intacta uma área de preservação permanente. Além diso, considerando o processo normal de tratamento torna-se fundamental no controle da erosão e consequentemente da turbidez das águas.

A caracterização e posterior avaliação dos benefícios indiretos das florestas de proteção requer conhecimento das mais variadas áreas científicas. No caso por exemplo desse trabalho, a apresentação dos resultados finais exigiu conhecimentos de engenharia sanitária, no entendimento do funcionamento da Estação de Tratamento, de química de purificação no entendimento das reações dos produtos químicos, de hidrologia florestal na questão da influência da floresta no ciclo hidrológico, e finalmente na base econômica de alocação de recursos que fundamenta a análise do valor monetário do benefício indireto de proteção.

Os resultados, considerando o tratamento convencional das águas em Curitiba, mostram que a evolução da turbidez das águas de 1965 a 1980 proporciona atualmente (a partir de 1980) um consumo adicional de produtos químicos de: 1130 toneladas/ano de sulfato de alumínio, 450 toneladas/ano de cal hidratada e 125 toneladas/ano de cloro líquido.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Águas superficiais. Poluição e Tratamento

De acordo com a ocorrência na natureza, BITTENCOURT[3] classifica as águas em: águas meteorológicas, águas superficiais e águas subterrâneas. As águas superficiais apresentando 1,5 a

* Engenheiro florestal, M.Sc., Professor do Departamento de Silvicultura e Manejo da Universidade Federal do Paraná. (CREA 8114-D)

3% do volume total de água doce da Terra, tem suas propriedades físicas, químicas e biológicas definidas pelas características das bacias hidrográficas: formação geológica, atividades da população, utilização do solo, condições climáticas e vegetação de recobrimento. São essas águas aproveitadas para abastecimento público.

As águas captadas para abastecimento público devem satisfazer às exigências agrupadas em dois tópicos: higidez e palatabilidade. A higidez subentende que as águas devem ser livres de contaminação (doenças hídricas), livre de substâncias tóxicas e substâncias minerais e orgânica. A palatabilidade subentende que as águas devem satisfazer as exigências humanas quanto à visão (incolor e límpida), paladar (sabor peculiar), olfato (inodora) e trato (temperatura moderada e saturada de oxigênio).

### 2.1.1 Autodepuração das águas

Segundo muitos autores, entre eles KLEERENKOPER[7] e BITTENCOURT[3], as águas em seu estado natural de equilíbrio apresentam a propriedade de se autopurificarem, conservando assim, suas características naturais originais. SABBAG[3] apresenta esse processo em função de três agentes: agentes físicos (gravidade, luz e aeração), agentes químicos (oxidação e redução) e agentes biológicos (microorganismos). A alteração das interações entre os fatores do ecossistema água altera o seu equilíbrio e consequentemente afeta o processo de autodepuração.

### 2.1.2 Poluição das águas

A alteração dos mananciais hídricos pode ocorrer de três maneiras: sedimentação (erosão), poluição industrial (resíduos industriais) e poluição urbana (resíduos de esgotos). A carreação dos poluentes para os mananciais interfere no ecossistema água proporcionando a formação de turbidez, coloração e gastos inaceitáveis à potabilidade natural, além de promover o assoreamento dos reservatórios.

KITTREDGE citado por GUERREIRO[6], ilustrou o problema da erosão na formação da turbidez das águas, em experimentos realizado na bacia de Coweeta — E.U.A. com 85,8 ha. Antes do corte do povoamento florestal a turbidez das águas apresentavam em média 4 ppm (mg/1). Após o corte a média subiu para 94 ppm, com valor mínimo de 10 ppm e valor máximo de 3.500 ppm.

A poluição urbana trazendo bactérias de esgoto, produz as mais variadas doenças hídricas entre elas a febre tifóide (**Salmonella typhosa**).

O excesso de algas, processo esse chamado eutrofização das águas, liberam compostos ou gases de decomposição produzindo gosto e odor as águas e interferindo no processo de purificação, em particular na filtração (AWWA[2]). KNESSE et al[8] dizem que existe 15 a 20 principais nutrientes que desempenham papel principal na eutrofização das águas.

### 2.1.3 Química e física das águas

A assimilação fotossintética (algas clorofiladas) e atmosfera (onde existe em 21%) são as duas fontes de oxigênio das águas. As fontes de dióxido de carbono são a decomposição e a respiração de microorganismos. BITTENCOURT[3] afirma que as águas naturais puras sem influência do homem estão normalmente saturadas de oxigênio, variando esses teores de 2 a 5 mg/l. O gás carbônico, além de estar livre no corpo da água, apresenta-se associado com carbonato e bicarbonato.

A DBO — Demenda Bioquímica de Oxigênio, isto é o oxigênio consumido do corpo receptor é de 54 g/dia ou seja, cada indivíduo leva a um consumo diário de 54 g de oxigênio do corpo receptor água. (BRANCO et al[4]).

Além de ser tóxico ao ser humano (acidez) o gás carbônico livre nas águas é agressivo, possuindo alto poder dissolvente em águas tratadas nas canalizações (efeito corrosivo). (KLEEREKOPER[7] e AWWA[2]).

### 2.1.4 Turbidez

As causas da turbidez são toda sorte de substâncias em suspensão, tais como microorganismos, detritos orgânicos,

argilas, matéria orgânica: fibras, colóides orgânicos ou inorgânicos.

A turbidez é importantíssima no processo convencional de tratamento das águas, isto porque, define a quantidade de coagulante a ser adicionado no processo de purificação adotado. São consideradas passíveis de tratamento, águas com turbidez variável e como convenientes águas com turbidez virtualmente ausentes (BRANCO et al[4]).

### 2.1.5 Alcalinidade, Acidez e Dureza

A alcalinidade das águas representa o conteúdo de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos (alcalinidade cáustica) e ocasionalmente boratos, silicatos e fosfatos. A alcalinidade facilita a suspensão coloidal do coagulante sulfato de alumínio. (BORSARI[3], BITTENCOURT[3]).

A acidez ocorre devido a presença de dióxido de carbono, sulfatos de ferro e alumínio, gás sulfídrico e ácidos minerais. A maioria das águas não poluídas apresentam-se com pH dentro da faixa recomendada de 6,0 a 8,5. (BRANCO et al[4]).

A dureza é definida pela quantidade de compostos de cálcio e magnésio que estão geralmente em forma de carbonatos, bicarbonatos e sulfatos e também pela existência de ion ferro, manganês, estrôncio e alumínio em menores proporções (BITTENCOURT[3]). A dureza temporária é função dos carbonatos e bicarbonatos de cálcio e magnésio. A dureza permanente é função dos sulfatos, cloretos e nitratos.

As substâncias que produzem dureza reagem com o sabão formando compostos insolúveis fazendo com que a espuma apareça depois da precipitação completa de sais responsáveis pela dureza. (AWW[2], AZEVEDO[1]).

### 2.1.6 Outras características

Muitos outros aspectos podem ser analisados quanto a qualidade das águas (BITTENCOURT[3]). Entre eles pode-se citar:

a. Cloretos: Teores acima de 250 mg/l (limite permissível de tratamento) dão gosto desagradável às águas.

b. Alumínio: A dosagem exagerada de sulfato de alumínio (os resíduos expresso em quantidade de alumina não deve ultrapassar 0,3 mg/l) pode produzir efeitos tóxicos pois seus compostos não são assimiláveis pelo organismo.

c. Chumbo: Prova casos de saturnismo (intoxicação-cólicas) pelo uso contínuo de águas com concentração desde 0,14 mg/l.

## 2.2 Tratamento convencional das águas

O tratamento de purificação das águas superficiais captadas é conhecido como tratamento convencional das águas.. Tem como finalidade melhorar a sua qualidade para abastecimento em três aspectos: higiênico, estético e econômico. (AZEVEDO[1]).

O tratamento convencional consiste na captação, floculação, decantação, abrandamento ou correção, desinfecção e profilaxia (Figura 1). Isto se dá obedecendo limites permissíveis de poluição para tratamento de águas superficiais. (Quadro 1).

### 2.2.1 Adição de sulfato de alumínio

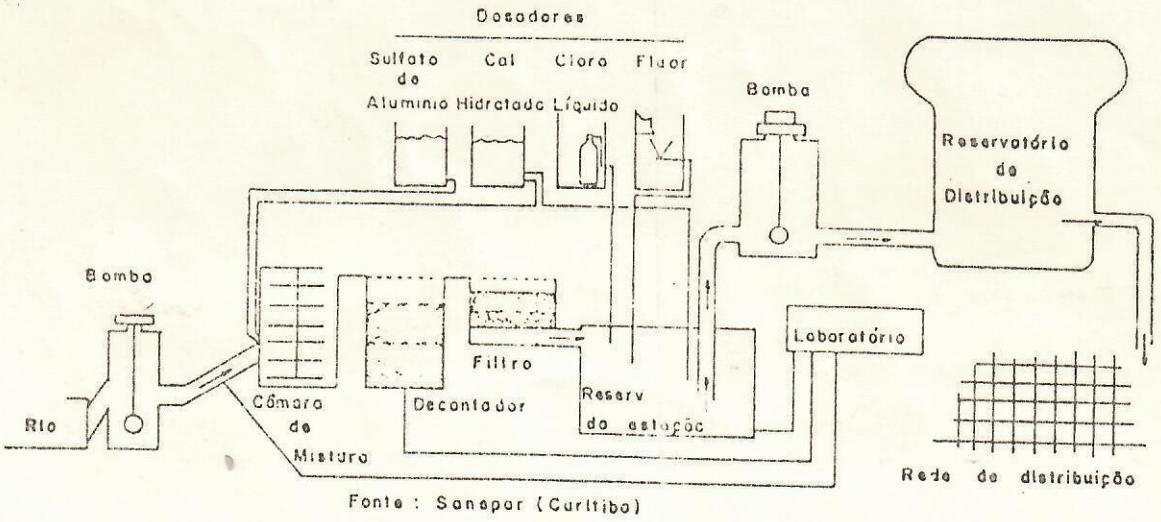
A sedimentação é o processo pelo qual se verifica a deposição de partículas granulares e material floculante. No processo de tratamento de água a floculação é induzida pela adição do coagulante sulfato de alumínio.

O sulfato de alumínio reage com a alcalinidade natural produzindo precipitações floculantes (hidróxido de alumínio). A superfície dos flocos é grande, permitindo a absorção de materiais dissolvidos, envolvendo as partículas em suspensão. Essas impurezas concentradas precipitam-se nos chamados tanques de decantação.

### 2.2.2 Filtração

A adição de sulfato de alumínio, mistura, floculação e decantação, reduz a matéria em suspensão que vai para os filtros e muda o material fino para uma forma que é mais facilmente removida pelos filtros. Os filtros eliminam a matéria fina em suspensão através de elementos porosos.

FIGURA 1. Tratamento convencional das águas




Fonte : Sanepar (Curitiba)

### 2.2.3 Abrandamento

De acordo com AWWA[2] e AZEVEDO[1], o processo de abrandamento pela adição da cal hidratada tem a finalidade de removar a acidez das águas devido a adição do coagulante, elevando o pH para aproximadamente 8,5 e evitando a ocorrência do gás carbônico livre o qual é corrosivo e tóxico.

### 2.2.4. Desinfecção

A finalidade da adição do cloro líquido é destruir bactérias entérica vegetativas (p. ex. causadoras de febre tifóide), bactérias que formam esporos (gênero **Anthrax**), protozoários (**E. histolytica**), vermes (**Esquistossoma**), virus (**Hepatite infecciosa**) e algas que provocam gosto e odor às águas.

### 2.2.5 Profilaxia

Aplicação de fluor nas águas de abastecimento tem a função de evitar a ocorrência de cáries ou má-formação dos dentes e ossos na população jovem abastecida de água tratada. (BITTENCOURT[3]).

### 2.3 Floresta como proteção das águas de Tratamento

A importância das florestas na proteção e conservação dos manaciais pode ser basicamente resultante das seguintes ações:

a. Ação mecânica, servindo de obstáculo físico aos agentes poluidores.

b. Ação de absorção e filtração, interferindo nos agentes poluidores de maneira indireta pela influência no ciclo hidrológico, como filtro de ar.

Especificamente nesse trabalho, a importância maior refere-se à interferência da floresta nos procesos do ciclo hidrológico (MOLCHANOV[10]). A floresta intercepta a chuva, evita a ação desestruturalizada das gotas, propicia condições ótimas de infiltração, reduz o escoamento superficial evitando o fenômeno da erosão que tem como efeito a sedimentação das águas, isto é, reduz ao mínimo o teor de turbidez.

A floresta nativa é considerada o tipo de vegetação que permite menores teores de turbidez em rios que as atravessam. Considerando, como exemplo, os dados fornecidos por JORGE citado por BRANCO et al.[4], que determinou para as condições históricas de uso dos solos no Estado de São Paulo um período de 15 anos a erosão média de 4 kg/ha/ano em mata nativa, 400 kg/ha/ano em pastagens e 26.000 kg/ha/ano em pastagens, pode-se conceituar o seguinte exemplo:

Considerando um reservatório de água de 10.000 m³ de águas captadas em

QUADRO 1 — Critérios e padrões de águas superficiais destinadas ao abastecimento público

| | Constituintes ou Características | Permissível | Conveniente |
|---|---|---|---|
| Físicas | Cor (unidade de cor) | 75 | 10 |
| | Odor (qualitativo) | Descritivo | Virt. Ausente |
| | Temperatura* | Variável | Virt. Ausente |
| | Turbidezz | Variável | Virt. Ausente |
| Microbiológicas | Coliformes totais** (NMP/100 ml) | 10.000 | 100 |
| | Coliformes fecais** (NMP/100 ml) | 2.000 | 20 |
| SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS | Alcalinidade (mg/l) | Descritivo | Traços |
| | Amônia (mg/l) | 0,5 (como N) | 0,01 |
| | Arsênico* (mg/l) | 0,05 | Ausente |
| | Bário* (mg/l) | 1,0 | Variável |
| | Boro* (mg/l) | 1,0 | Variável |
| | Cadmio* (mg/l) | 0,01 | Variável |
| | Cloreto* (mg/l) | 250 | 25 |
| | Cromo hexavalente* (mg/l) | 0,05 | Ausente |
| | Cobre* (mg/l) | 1,0 | Virt. Ausente |
| | Oxigênio dissolvido (mg/l) | 4 (média mensal) | Próxima a Saturação |
| | Fluoreto* (mg/l) | Traços | Descritivo |
| | Dureza* (mg/l) | Variável | Variável |
| | Ferro (filtrável) (mg/l) | 0,3 | Virt. Ausente |
| | Chumbo (mg/l) | 0.05 | Ausente |
| | Manganês (filtrável)* (mg/l) | 0,05 | Variável |
| | Nitratos + Nitritos* (mg/l) | 10 (como N) | Virt. Ausente |
| | pH (faixa) | 6,0 — 8,5 | Descritivo |
| | Fósforo* (mg/l) | Descritivo | Variável |
| | Selênio* (mg/l) | 0,01 | Ausente |
| | Prata* (mg/l) | 0,05 | Brando |
| | Sulfato* (mg/l) | 250 | 50 |
| | Sólidos totais* (filtrável) | 500 | 200 |
| | fons de urânio* (mg/l) | 5,0 | Ausente |
| | Zinco* (mg/l) | 5,0 | Virt. Ausente |
| | Cianeto* (mg/l) | 0,20 | Ausente |
| | Ólcos e graxas* | Virtual Ausente | Ausente |
| SUBSTÂNCIAS ORGÂNICAS INSETICIDAS | Aldrin* | 0,017 | Ausente |
| | Clordano* | 0,003 | Ausente |
| | DDT* | 0,042 | Ausente |
| | Dieldrin* | 0,017 | Ausente |
| | Endrin* | 0,001 | Ausente |
| | Heptacloro* | 0,018 | Ausente |
| | Lindano | 0,056 | Ausente |
| | Organofosfatos + carbonatos | 0,1 | Ausente |
| Radioatividade | Radio 226* | 3 | 1 |
| | Estrôncio 90* | 10 | 2 |

FONTE: BRANCO et al.4 (Water Quality Critéria, 1968).

* O tratamento convencional tem pequeno efeito sobre esses constituintes.

** São médias aritméticas de 5 amostras mensais.

NMP (Número Máximo Provável).

rios que atravessam uma área de 30 ha de floresta nativa, pastagens ou culturas de algodão deduz-se que: se 50% das partículas errodidas não são filtráveis e produz turbidez, o reservatório que capta água do rio que atravessa a mata nativa, apresenta águas com 6 ppm de turbidez. As águas do reservatório da área de pastagens 600 ppm e águas provindas da área de cultura de algodão 39.900 ppm.

Pelas condições de funcionamento das estações de tratamento a dosagem média determinada pelo teste COSSMAN (conforme Quadro 2), a dosagem média de sulfato de alumínio seria de 10 ppm para águas provenientes de áreas de mata e acima de 42 ppm para aquelas de pastagens. Para as águas provenientes da área de cultura de algodão a dosagem necessária ultrapassa à condição normal de funcionamento. Nesse caso há necessidade de diminuição de vazão, aumento do tempo de decantação etc.

QUADRO 2 — Dosagens para o teste de floculação COSSMANN

| | Dosagem de sulfato de alumínio (ppm ou mg/l) | | |
|---|---|---|---|
| Turbidez | Mínima | Máxima | Média |
| 10 | 5 | 17 | 10 |
| 15 | 8 | 20 | 14 |
| 20 | 11 | 22 | 17 |
| 40 | 13 | 25 | 19 |
| 60 | 14 | 28 | 21 |
| 80 | 15 | 30 | 22 |
| 100 | 16 | 32 | 24 |
| 150 | 18 | 37 | 27 |
| 200 | 19 | 42 | 30 |
| 300 | 21 | 51 | 36 |
| 400 | 22 | 62 | 39 |
| 500 | 23 | 70 | 42 |

FONTE: SANEPAR

### 2.4 Instrumentos de avaliação de Benefícios indiretos

Na procura de formas de avaliação dos benefícios indiretos há necessidade de que os conhecimentos para tal abranjam concepções correlatas da teoria de análise de custos e benefícios.

MISHAN[9] diz que na análise de custos e benefícios, o economista substitui o conceito mais preciso de receita pelo conceito menos exato, embora significativo, do benefício social. Trabalha então com um custo de oportunidade, isto é, o valor social a que se renuncia quando os recursos em questão são transferidos para atividades econômicas alternativas.

ROSS[13] propõe que para se chegar a um indicador aproximado de crescimento anual em bem-estar, ter-se-ia que deflacionar o PNB — Produto Nacional Bruto — de um valor que se poderia chamar de ENB — Efluente Nacional Bruto. O ENB seria um coletor estatístico de todos os serviços negativos produzidos no curso da produção de bens e serviços positivos.

FRANÇOIS[5] apresenta como instrumento de avaliação de benefícios indiretos, os seguintes instrumentos:

a. Indicador custo social
b. Indicador benefício
c. Indicador custo de substituição
d. Indicadores de opinião pública
e. Indicador relação custo/benefício

## 3. ESTUDO DE CASO — AVALIAÇÃO DO PREJUÍZO

### 3.1 Caracterização da área de estudo

A área estudada é de aproximadamente 67 mil hectares e está localizada na região nordeste-leste de Curitiba, correspondente às nascentes do Rio Iguaçu e encosta da Serra do Mar. (Figura 2). Apresenta em seu espaço físico os centros urbanos de Colombo, Quatro Barras, Piraquara e área nordeste de Curitiba.

As águas para abastecimento da região metropolitana de Curitiba, provém de duas Estações de Tratamento de Água. A E.T.A. Tarumã, funcionando desde 1947, inicialmente tratava águas captadas no rio Piraquara e posterior à 1965 no rio Iraí. A E.T.A. Iguaçu, operando desde 1969 recebe águas da nascente do rio Iguaçu.

A vegetação original compondo a paisagem da área é de floresta subtropical pluvial (Serra do Mar), região de

matas de araucária (Primeiro planalto) e região de campos gerais (Primeiro Planalto).

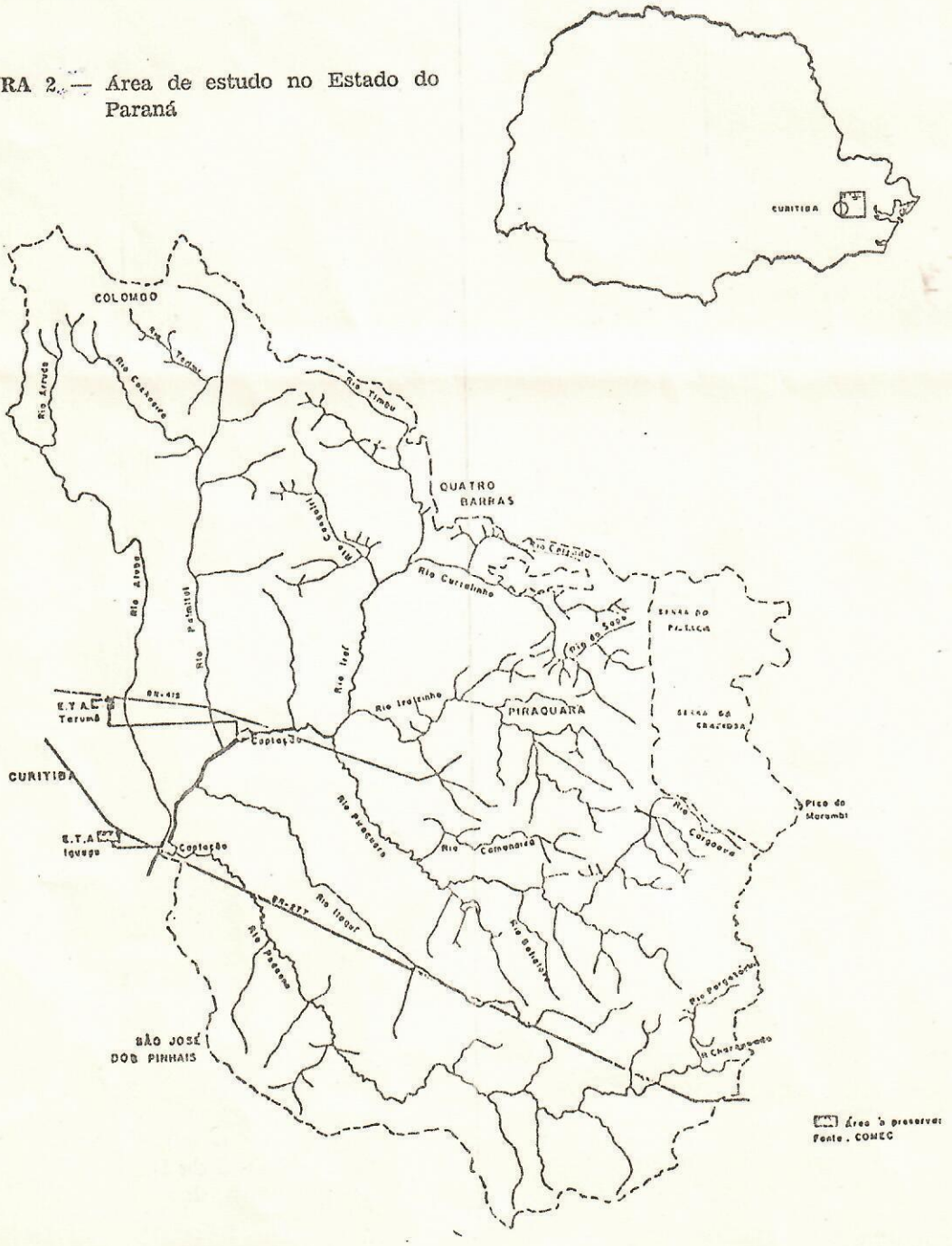
### 3.2 Turbidez das águas in natura

Os dados de turbidez das águas e consumo de produtos químicos do período de 1965-1980 foram obtidos dos boletins quinzenais das E.T.As de Curitiba, fornecidos pela SANEPAR — Companhia de Saneamento do Paraná.

### 3.2.1 Evolução da turbidez na E.T.A. Tarumã

A turbidez das águas captadas para tratamento na E.T.A. Tarumã apresenta teores menores quando comparado à E.T.A. Iguaçu, por ser a captação feita mais próxima às nascentes dos mananciais e também pelo menor grau de influência urbana. Entretanto como mostra o Quadro 3 tendem a igualar-se pela consequente ocupação da região.

FIGURA 2. — Área de estudo no Estado do Paraná



Observando-se o quadro 3, nota-se um gradativo aumento da turbidez média nos anos subsequentes a 1965. A turbidez atinge o máximo de 38,80 ppm no ano de 1979, o que representa 7,4 vezes mais que a turbidez do início do período (1965).

A amplitude de variação entre a menor e maior média anual indica também a deteriorização das condições originais. No ano de 1966 essa amplitude foi de 7,00 ppm, enquanto que em 1975 foi de 111,06 ppm, conservando-se daí até 1980 com variação próxima de 90 ppm.

### 3.2.2 Evolução da turbidez na E.T.A. Iguaçu

O reservatório de captação das águas para a E.T.A. Iguaçu, por estar localizada mais distante das nascentes e conseqüentemente pela maior influência recebida das atividades de aproveitamento do solo, apresenta águas com teores de turbidez maiores em relação a E.T.A. Tarumã. Por exemplo, no ano de 1970 a turbidez média anual era de 19,42 ppm na E.T.A. Iguaçu e 7,96 ppm na E.T.A. Tarumã. (Quadro 3)

Isoladamente o problema é mais grave: além de apresentar um aumento de 22,28 ppm na média anual para o ano de 1976 em relação à 1970, observa-se que a amplitude de variação entre a menor e maior média diária verificada anualmente chega a atingir 182,40 ppm (1978).

A amplitude da diferença entre a menor e maior média diária nos anos do período sofre variações consideráveis, não havendo tendência de aumento, motivo esse dado pelo já alto grau de aproveitamento das bacias contribuintes quando da entrada em funcionamento da estação em 1979.

### 3.3 Consumo de produtos químicos nas E.T.As.

O quadro 4 mostra o consumo de produtos químicos para tratamento de um certo volume anual de água tratada. Refere-se também a dosagem média anual desses mesmos produtos para o período em estudo.

QUADRO 3 — Turzidez média anual do período

| Ano | Menor média | | Média | Maior média | | Obs. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ppm | Dia | ppm | ppm | Dia | |
| **E.T.A. TARUMÃ** | | | | | | |
| 1965 | 0,90 | 07/07 | 4,95 | 18,00 | 09/12 | * |
| 1966 | 4,43 | 01/12 | 6,82 | 11,43 | /09 | * |
| 1967 | — | — | — | — | — | ** |
| 1968 | — | — | — | — | — | ** |
| 1969 | 3,20 | 01/11 | 8,17 | 25,00 | 12/02 | * |
| 1970 | 2,85 | 11/03 | 7,96 | 23,85 | 21/03 | * |
| 1971 | 3,30 | 15/06 | 7,71 | 21,00 | 26/05 | * |
| 1972 | 3,40 | 08/05 | 8,75 | 42,00 | 08/01 | * |
| 1973 | 8,65 | 31/12 | 19,97 | 78,49 | 18/05 | *** |
| 1974 | 7,01 | 04/06 | 15,83 | 93,28 | 28/12 | *** |
| 1975 | 5,23 | 14/07 | 16,55 | 117,39 | 26/01 | *** |
| 1976 | 7,74 | 03/07 | 20,23 | 93,73 | 17/10 | *** |
| 1977 | 9,56 | 14/06 | 20,07 | 94,64 | 08/02 | *** |
| 1978 | 11,00 | 06/06 | 38,80 | 105,00 | 22/06 | * |
| 1979 | 13,00 | 03/06 | 34,18 | 120,00 | 31/09 | * |
| 1980 | 13,00 | 05/06 | 28,51 | 112,00 | 30/03 | * |
| **E.T.A. IGUAÇU** | | | | | | |
| 1970 | 7,30 | 24/08 | 19,42 | 80,00 | 08/09 | * * |
| 1971 | 8,00 | 27/07 | 19,02 | 61,00 | 07/08 | * |
| 1972 | 8,00 | 02/03 | 26,55 | 110,00 | 19/11 | * |
| 1973 | 11,83 | 08/02 | 29,42 | 190,00 | 30/11 | *** |
| 1974 | 9,56 | 03/06 | 31,93 | 173,81 | 01/09 | *** |
| 1979 | 13,65 | 10/10 | 34,54 | 132,41 | 02/10 | *** |
| 1976 | 13,65 | 28/07 | 41,70 | 165,62 | 09/12 | *** |
| 1977 | 13,2 | 31/12 | 36,40 | 161,07 | 02/03 | *** |
| 1978 | 13,60 | 31/05 | 34,02 | 196,60 | 04/02 | * |
| 1979 | 13,50 | 02/04 | 30,96 | 176,00 | 27/01 | * |
| 1980 | 10,00 | 09/06 | 31,22 | 145,00 | 10/06 | * |

FONTE: SANEPAR

* Média das médias diárias observadas

** Dados inexistentes

*** Médias corrigidas (média da máx. e mín. diária)

* Média da turbidez observada nos últimos 4 meses do ano

Nota-se que os teores de turbidez não apresentam correta relação com as dosagens de produtos químicos verificadas no período. Isto se deve às condições de funcionamento histórico das estações de tratamento, ou seja, evolução tecnológica e capacitação de pessoal e que podem ser analisadas considerando:

a. Vazão não uniforme da água tratada

b. Concentração da solução química adicionada

c. Regulagem de dosadores

d. Problemas nos filtros e decantadores alterando a vazão ou fluxo de água tratada

e. Demanda de água em períodos de pique

f. Antecedência do teste de dosagem química

Um aspecto importante é o uso em anos mais recentes (a partir de 1976) do teste COSSMAN para a determinação da dosagem certa de sulfato de alumínio.

QUADRO 4 — Consumo de produtos químicos nas E.T.As. (1965-1980)

| ANO | VOLUME TRATADO (m³) | E.T.A. TARUMÃ | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | SULFATO DE ALUMÍNIO | | CAL HIDRATADA | | CLORO LÍQUIDO | | FLUOSSILICATO DE SÓDIO | |
| | | kg | ppm | kg | ppm | kg | ppm | kg | ppm |
| 1965 | 26.583.025,00 | 705.699,593 | 26,55 | 384.230,000 | 14,45 | 20.278,200 | 0,76 | 36.350,000 | 1,37 |
| 1966*1 | 28.160.268,00 | 717.414,609 | 25,48 | 386.450,000 | 13,72 | 23.424,000 | 0,83 | 33.056,000 | 1,37 |
| 1967*1 | 29.737.511,00 | 729.129,624 | 24,52 | 388.669,100 | 13,07 | 26.569,800 | 0,89 | - | *0 |
| 1968 | 30.183.057,00 | 817.471,493 | 27,08 | 439.481,880 | 14,56 | 32.065,080 | 1,06 | - | *0 |
| 1969 | 30.189.834,00 | 829.650,700 | 27,48 | 447.124,000 | 14,81 | 33.498,000 | 1,11 | 38.400,000 | 1,27 |
| 1970 | 28.566.349,00 | 684.402,400 | 23,15 | 393.207,000 | 13,30 | 32.750,450 | 1,11 | 40.220,000 | 1,36 |
| 1971 | 31.006.196,00 | 700.129,800 | 22,58 | 410.436,000 | 13,24 | 45.041,500 | 1,45 | 40.000,000 | 1,29 |
| 1972 | 30.751.467,00 | 677.551,900 | 22,03 | 441.322,000 | 14,35 | 37.541,000 | 1,22 | 42.376,900 | 1,38 |
| 1973 | 28.136.161,00 | 535.750,700 | 19,04 | 391.427,600 | 13,91 | 36.559,000 | 1,30 | 39.234,100 | 1,39 |
| 1974 | 25.442.603,00 | 579.694,900 | 22,78 | 370.760,00 | 14,57 | 41.305,000 | 1,62 | 28.065,100 | *2 |
| 1975 | 27.014.456,00 | 707.674,226 | 26,20 | 440.868,500 | 16,32 | 52.723,830 | 1,95 | 13.912,100 | *3 |
| 1976 | 23.705.125,00 | 557.555,800 | 23,52 | 346.326,000 | 14,61 | 47.600,000 | 2,01 | 9.400,000 | *4 |
| 1977 | 24.701.631,00 | 616.283,500 | 24,95 | 369.826,000 | 14,97 | 50.500,000 | 2,04 | 12.146,000 | *5 |
| 1978 | 22.148.187,00 | 661.250,000 | 29,86 | 359.510,000 | 16,23 | 53.132,000 | 2,40 | 5.513,000 | *6 |
| 1979 | 20.050.429,00 | 737.940,700 | 36,80 | 425.590,000 | 21,23 | 56.650,900 | 2,83 | 19.557,000 | 0,95 |
| 1980 | 23.004.039,00 | 721.570,200 | 31,37 | 389.315,000 | 16,93 | 55.162,500 | 2,40 | 14.018,300 | *7 |
| TOTAL | 430.380.338,00 | 10.979.170,140 | | 6.384.543,880 | | 644.799,260 | | - | |
| | | E.T.A. IGUAÇU | | | | | | | |
| 1970 | 6.370.780,00 | 215.545,000 | 33,83 | 80.104,000 | 12,57 | 9.465.500 | 1,49 | - | |
| 1971 | 5.921.668,00 | 208.956,000 | 35,29 | 69.806,000 | 11,79 | 9.757,000 | 1,65 | - | |
| 1972 | 9.755.945,00 | 391.034,000 | 40,09 | 134.944,000 | 13,83 | 17.131,000 | 1,76 | - | |
| 1973 | 13.993.535,00 | 405.131,000 | 28,95 | 184.591,000 | 13,19 | 25.539,000 | 1,83 | - | |
| 1974 | 25.210.150,00 | 762.227,000 | 30,23 | 285.106,000 | 11,31 | 46.330,000 | 1,83 | - | |
| 1975 | 38.806.325,00 | 1.225.344,00 | 31,58 | 432.960,000 | 11,16 | 70.298,000 | 1,81 | - | |
| 1976 | 43.710.410,00 | 1.152.016,000 | 26,36 | 463.642,000 | 10,61 | 74.780,000 | 1,71 | 18.725,000 | *8 |
| 1977 | 42.353.531,90 | 1.490.194,000 | 35,18 | 596.283,000 | 14,08 | 104.393,000 | 2,46 | 32.069,000 | *9 |
| 1978 | 45.036.828,00 | 1.519.709,000 | 33,74 | 582.931,000 | 12,94 | 113.391,000 | 2,52 | 21.248,50 | *10 |
| 1979 | 54.497.789,00 | 1.906.178,000 | 34,98 | 752.912,000 | 13,82 | 141.682,000 | 2,60 | 81.831,00 | 1,50 |
| 1980 | 55.960.248,00 | 2.199.640,000 | 39,31 | 852.876,000 | 15,24 | 159.470,000 | 2,85 | 58.732,00 | *11 |
| TOTAL | 341.617.209,90 | 11.475.974,000 | | 4.436.155,000 | | 772.236,500 | | - | |
| TOTAL GERAL | 771.997.248,90 | 22.455.144,140 | | 10.820.698,88 | | 1.417.035,760 | | - | |

FONTE: SANEPAR

*0 Dados inexistentes
*1 Dados estimados
*2 Dosagem paralizada 08/11 a 07/12
*3 Dosagem paralizada 01/02 a 30/04
*4 Dosagem paralizada 01/05 a 12/11
*5 Dosagem paralizada 20/05 a 26/10
*6 Dosagem paralizada 15/01 a 26/03 e 01/05 a 08/12
*7 Dosagem paralizada 17/06 a 20/08 e 10/11 a 13/12
*8 Dosagem paralizada 01/04 a 15/04 e 03/05 a 31/10
*9 Dosagem paralizada 01/06 a 19/10 e 16/10 a 10/12
*10 Dosagem paralizada 16/01 a 15/03 e 01/05 a 06/12/78
*11 Dosagem paralizada 17/06 a 20/08 e 10/11 a 31/12/80

Anteriormente essa dosagem era feita empiricamente com base no teor mínimo de turbidez da água distribuída, independentemente da mínima dosagem necessária para igual teor de turbidez.

As dosagens de sulfato de alumínio dos anos de 1973 (E.T.A. Tarumã) e 1976 (E.T.A. Iguaçu) subentendem melhores condições relativas que regeram o processo de tratamento das águas no período, uma vez que a turbidez nesses anos é consideravelmente maior que a dos anos iniciais.

Dessa forma a utilização da dosagem verificada como parâmetro de análise do consumo adicional de produtos químicos reduz a diferença entre o consumo mínimo e o consumo máximo e consequentemente o benefício de proteção com base nos prejuízos evitados. Isto porque, conforme a própria tabela do teste COSSMAN, a dosagem de produtos para tratar águas in-natura em 1965 (menor turbidez) seria muito inferior aquela obtida nos boletins das E.T.As.

Por outro lado, a evolução da dosagem de cloro líquido proporciona uma melhor visualização do problema da poluição hídrica dos mananciais. Observa-se pelo quadro 4 que a dosagem desse produto evoluiu na E.T.A. Tarumã, de 0,76 ppm em 1965 para 2,83 ppm em 1979 e na E.T.A. Iguaçu de 1,49 ppm em 1969 para 2,85 ppm em 1980.

### 3.4 Avaliação do benefício indireto de proteção

Este trabalho adota o conceito do indicador benefício entendido da seguinte forma: A não existência da floresta de proteção acarreta em prejuízos que podem ser quantificados posteriormente a sua ocorrência. De outra maneira: O benefício é semelhante aos danos que poderiam ser evitados.

A sistemática adotada define como primeiro passo a caracterização do prejuízo físico, ou seja, o volume adicional de produtos químicos. Posteriormente com base nos custos atuais dos produtos, avaliação econômica dos prejuízos. (RIZZI[12])

#### 3.4.1 Quantificação física

Considerando o exposto até o presente momento e considerando que a avaliação proposta é de análise do benefício histórico pode-se dentro dos dados de consumo do período de 1965-1980 definir a dosagem mínima ideal e a dosagem efetivamente observada nos boletins. A diferença entre essas dosagens multiplicada pelo volume de água tratada é igual ao prejuízo ou consumo adicional de produtos químicos que poderia ser evitado caso as águas conservassem suas qualidades naturais de 1965.

A quantificação desse volume refere-se ao prejuízo a partir de 1980, tomando como base o volume de água tratada nesse mesmo ano. O quadro 5 mostra o consumo adicional de produtos químicos bem como a média anual de consumo adicional à partir de 1980. Utiliza a dosagem mínima e máxima históricas.

Para cálculo, considerou-se o tratamento de 23.004.039 m³ de água na E.T.A. Tarumã e 55.960.248 m³ na E.T.A. Iguaçu.

Observa-se pelo quadro 5 que o consumo adicional de produtos químicos em 1980, considerando as duas estações de tratamento e processando aproximadamente 79 milhões de m³ de água, foi de cerca de 1133 toneladas de sulfato de alumínio, 446,8 toneladas de cal hidratada e 125 toneladas de cloro líquido.

#### 3.4.2 Quantificação monetária

O quadro 6 mostra os custos do volume adicional de produtos químicos. Esses custos foram calculados com base no preço do quilograma de junho de 1985, ou seja: Cr$ 587,00/kg de sulfato, Cr$ 392,00/kg de cal e Cr$ 1.300,00/kg de cloro.

Observa-se no Quadro 6 que o prejuízo verificado no ano de 1980 é de Cr$ 1.001.144.000,00. Diz-se que o benefício indireto, de proteção dos manaciais, conservando-se os teores de turbidez de 1965, é semelhante a esse custo. Seria considerado como o valor do benefício gerado pelas matas de proteção caso ainda existissem. Considerando o custo adicional por m³ de água tratada, observa-se um prejuízo anual de Cr$ 27,49/m³.

QUADRO 5 — Média anual de consumo adicional a partir de 1980

| E.T.A. | Dosagem (mg/l) | Consumo (kg) | Consumo adicional (t) | Dosagem média adicional a partir de 1980 (g/m³ de água tratada) |
|---|---|---|---|---|
| TARUMÃ | SULFATO DE ALUMÍNIO | | 408,5 | 17,76 |
| | Mín. 19,04 | 437.996,90 | | |
| | Máx. 36,80 | 846.548,60 | | |
| | CAL HIDRATADA | | 187,7 | 8,16 |
| | Mín. 13,07 | 300.662,80 | | |
| | Máx. 21,23 | 488.375,70 | | |
| | CLORO LÍQUIDO | | 47,6 | 2,07 |
| | Mín. 0,76 | 17.483,10 | | |
| | Máx. 2,83 | 65.101,30 | | |
| IGUAÇU | SULFATO DE ALUMÍNIO | | 724,7 | 12,95 |
| | Mín. 26,36 | 1.475.112,10 | | |
| | Máx. 39,31 | 2.199.791,30 | | |
| | CAL HIDRATADA | | 259,1 | 4,63 |
| | Mín. 10,61 | 593.738,20 | | |
| | Máx. 15,24 | 852.834,20 | | |
| | CLORO LÍQUIDO | | 76,1 | 1,36 |
| | Mín. 1,49 | 83.380,80 | | |
| | Máx. 2,85 | 159.486,70 | | |

FONTE: RIZZI[12] (1981).

QUADRO 6 — Valores monetários do volume adicional de produtos químicos

| E.T.A. | Produto químico | Consumo adicional (t) | Custo total do volume adicional Cr$ | Custo por m³ de água tratada (Cr$) |
|---|---|---|---|---|
| TARUMÃ | Sulfato de Al | 408,5 | 239.789.500,00 | 10,42 |
| | Cal hidratada | 187,7 | 73.578.400,00 | 3,20 |
| | Cloro líquido | 47,6 | 61.800.000,00 | 2,69 |
| | SUB-TOTAL | | 375.247.900,00 | 16,31 |
| IGUAÇU | Sulfato de Al | 724,7 | 425.398.900,00 | 7,60 |
| | Cal hidratada | 259,1 | 101.567.200,00 | 1,81 |
| | Cloro líquido | 76,1 | 98.930.000,00 | 1,77 |
| | SUB-TOTAL | | 625.896.100,00 | 11,18 |
| | TOTAL | | 1.001.144.000,00 | 27,49 |

* Preços de junho/1985

## 4. CONCLUSÕES

Quando se trabalha com avaliação dos benefícios florestais indiretos é frequente observar que existem muitos aspectos intimamente relacionados e que envolvendo em seu conjunto outras áreas, precisariam ser objetos de uma análise mais detalhada.

O obstáculo maior no cálculo do benefício indireto não está em conceituar o princípio de avaliação, mas sim, definir o parâmetro de conceituação dos prejuízos evitados, isto é determinar fisicamente os danos.

O valor do benefício perdido (prejuízo verificado) mostra perfeitamente a importância da floresta de proteção, quanto apenas ao aspecto dos produtos químicos, não avaliando os benefícios complementares dessas mesmas formações florestais, como por exemplo recreação.

Dentro da exposição deste trabalho existem aspectos da influência da floresta, que poderiam perfeitamente serem objeto de avaliação como por exemplo: controle da erosão, assoreamento e dragagem de rios, prejuízos de inundações, doenças hídricas, danos econômicos, consumo adicional de sabão, précloração evitada, etc.

Por outro lado, a conservação dos recursos hídricos necessitam de um planejamento da ocupação da microbacia de captação que leve em consideração o equilíbrio ecológico natural. (NEGRET[11]).

## 5. RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo a avaliação econômica do benefício indireto de proteção a qualidade das águas in-natura através da análise da evolução do teor de turbidez das águas captadas para abastecimento da região metropolitana de Curitiba.

Foi concluído que, considerando o processo convencional de tratamento e a evolução da turbidez das águas superficiais captadas para o período de 1965 a 1980, o prejuízo anual à partir de 1980 atinge a soma de Cr$ 1.001.144.000,00 à custo de junho de 1985.

Dessa forma fica evidente que a degradação das qualidades naturais das águas pela ineficiente política de conservação das matas ciliares, complementado pela falta de planejamento da ocupação do espaço físico tem fornecido conseqüências econômicas importantes.

## 6. BIBLIOGRAFIA

1. AZEVEDO, N. Tratamento de águas de abastecimento. S.P.E.P.U. 1966. 329 p.
2. A.W.W.A. American Water Works Association. Água tratamento e qualidade. Zed. Rio de Janeiro. Liv. Tec. 1964. 465 p.
3. BITTENCOURT, A.J.; BORSARI, N. & SABBAG. O Controle da qualidade da água. Curitiba. Organização Pan-Americana da Saúde. OMS. 1966. 313 p.
4. BRANCO, S.M. & ROCHA, A.A. Poluição: proteção e usos múltiplos de represas. S.P.Blücker. 1977. 185 p.
5. FRANÇOIS, T. Evaluacion de la utilidad de las influencias de los montes. In: La influencia de los montes. Roma. F.A.O. 1962. p. 267-310.
6. GUERREIRO, M.G. A floresta na conservação do solo e da água. Lisboa. Sá da Costa. 1962. 193 p.
7. KLEEREKOPER, H. Introdução ao estudo da limnologia. R.J. Imprensa Nacional. 1944. 329 p.
8. KNEESE, A.J.; ROLFE, S.E. & HARMED, J.W. Ecologia y contaminacion, formas de cooperacion internacional. Buenos Aires. Marymar. 1974. 366 p.
9. MISCHAN, E.J. Análise de custos-benefícios: uma introdução informal. R.J. Zahar. 1976. 488 p.
10. MOLCHANOV, A.A. Hidrologia florestal. Lisboa. Fund. Cal. Gulbenkian. 1971. 595 p.
11. NEGRET, R. Ecossistema: unidade básica para o planejamento da ocupação territorial. R.J. F.G.V. 1982. 99 p.
12. RIZZI, N.E. Avaliação do benefício florestal de proteção à potabilidade natural das águas para abastecimento da região metropolitana de Curitiba. Curitiba, UFPR. 1981. 127 p. (tese de mestrado).
13. ROSS, S. Economia do meio ambiente. In: CONSERVAÇÃO AMBIENTAL: uma missão nacional para a década dos setenta. R.J. Fortune. 1972. p. 61-78.