

NIVALDO EDUARDO RIZZI

Avaliação do Benefício Florestal de Proteção à Potabilidade natural das águas para abastecimento da região metropolitana de Curitiba

Dissertação submetida à consideração da Comissão Examinadora, como requisito parcial na obtenção do Título de "Mestre em Ciências — M. Sc.", no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA
1981

NIVALDO EDUARDO RIZZI

AVALIAÇÃO DO BENEFÍCIO FLORESTAL DE PROTEÇÃO À POTABILIDADE
NATURAL DAS ÁGUAS PARA ABASTECIMENTO DA REGIÃO METROPOLITA-
NA DE CURITIBA

Dissertação submetida à conside-
ração da Comissão Examinadora,
como requisito parcial na obten-
ção do Título de "Mestre em Ciên-
cias - M.Sc.", no Curso de Pós-
Graduação em Engenharia Florestal
do Setor de Ciências Agrárias da
Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA

1981



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

P A R E C E R

Os membros da Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado apresentada pelo candidato NIVALDO EDUARDO RIZZI, sob o título "AVALIAÇÃO DO BENEFÍCIO FLORESTAL DE PROTEÇÃO À POTABILIDADE NATURAL DAS ÁGUAS PARA ABASTECIMENTO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA" para obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, área de concentração MANEJO FLORESTAL, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de parecer pela "APROVAÇÃO" da Dissertação, completando assim os requisitos necessários para receber o grau e o Diploma de Mestre em Ciências Florestais.

Observação: O critério de avaliação da dissertação e defesa da mesma a partir de novembro de 1980 é apenas APROVADA ou NÃO APROVADA.

Curitiba, 20 de novembro de 1981

Professor Hércio Pereira Ladeira, DR.
Primeiro Examinador

Professor Laerte Pereira Rodrigues, M.Sc
Segundo Examinador

Professor Ditmar Brepohl, DR.
Presidente



AGRADECIMENTOS

Ao concluir meu trabalho de dissertação como pós-graduando em Engenharia Florestal, deixo meus sinceros agradecimentos:

A Ditmar Brephol, meu orientador e incentivador

A Roberto Hosokawa, meu co-orientador.

A Hans Jakobi, Professor do Departamento de Biologia da UFPr, pela atenciosa revisão da parte biológica deste trabalho.

A Ivette Zanello Jakobi, Professora do Departamento de Química da UFPr, pela revisão e correção da parte química utilizada.

A Comissão Examinadora, meus críticos e, portanto, colaboradores.

Ao Órgão Federal de Capacitação de Pessoal de Ensino Superior (CÁPES), pela ajuda financeira.

À Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), pela excelente receptibilidade e fornecimento do material de estudo. Em particular ao pessoal das Estações de Tratamento, pelas explicações técnicas concernentes.

À Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba (COMEC), pelo fornecimento dos mapas.

Às bibliotecárias do Setor de Ciências Agrárias, pela constante prestatividade e auxílio.

Aos amigos, pela convivência importantíssima.

À minha família, pelo apoio constante.

A todos, meus sinceros agradecimentos pelo auxílio na realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

NIVALDO EDUARDO RIZZI, filho de VERÍSSIMO e CEZIRA RIZZI, nasceu no dia 19 de fevereiro de 1954, na cidade de Pato Branco, Paraná.

Iniciou seus estudos na cidade de Pato Branco, em 1961, na escola Ginásio Nossa Senhora das Graças, terminando o Primeiro Grau no Colégio Ginásio La Salle, em 1970.

Em 1971 iniciou o estudo de Segundo Grau, no Colégio Estadual de Pato Branco, concluindo-o em 1973, no Curso Colégio Barddal de Curitiba.

Ingressou no curso de Engenharia Florestal - UFPr, em 1975, concluindo-o em junho de 1979.

Em 1980 iniciou o curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, na opção de MANEJO FLORESTAL, concluindo-o em novembro de 1980 com a obtenção do Título de "Mestre em Ciências" - M.Sc.

SUMÁRIO

	Página
Lista de Figuras	
Lista de Quadros	
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Avaliação dos benefícios indiretos	4
2.1.1 Indicador custo	8
2.1.2 Indicador benefício	8
2.1.3 Indicador custo de substituição	10
2.1.4 Indicadores de opinião pública	11
2.1.5 Indicador relação custo/benefício	12
2.2 Análises de custos e benefícios do setor florestal	13
2.3 Influência da floresta no ciclo hidrológico ..	18
2.3.1 Precipitação	20
2.3.2 Interceptação	22
2.3.3 Evapotranspiração	24
2.3.4 Infiltração	29
2.3.5 Escoamento superficial	30
2.3.6 Erosão	33
2.3.7 Inundações	35
2.3.8 Rendimento hídrico	37
2.4 Águas superficiais. Poluição e tratamento ..	39
2.4.1 Autodepuração das águas	41
2.4.2 Poluição das águas	42
2.4.3 Biologia das águas	44
2.4.4 Química e física das águas	46
2.4.4.1 Oxigênio e dióxido de carbono	46
2.4.4.2 Turbidez	48

	Página
2.4.4.3	Alcalinidade - Acidez - Dureza 49
2.4.4.4	Outras características 50
2.4.5	Tratamento convencional das águas 51
2.4.5.1	Sedimentação - sulfato de alumínio 52
2.4.5.2	Filtração 54
2.4.5.3	Abrandamento - cal hidratada 55
2.4.5.4	Desinfecção - cloro líquido 55
2.4.5.5	Profilaxia - fluossilicato de sódio 56
2.4.5.6	Reações químicas ocorridas 57
3	MATERIAL E MÉTODOS 59
3.1	Área de estudo 59
3.1.1	Geomorfologia 62
3.1.2	Hidrografia 64
3.1.3	Clima 64
3.1.4	Vegetação 65
3.2	Coleta de dados 69
3.2.1	Determinação da turbidez 70
3.2.2	Determinação da dosagem de produtos químicos (ppm) 78
3.3	Princípio de definição dos consumos máximo, mínimo e médio 82
3.3.1	Parâmetro de definição do atributo A (consumo máximo, mínimo e médio) para sulfato de alumínio 83
3.3.2	Parâmetro de definição do atributo A (consumo máximo, mínimo e médio) para cal hidratada .. 85
3.3.3	Parâmetro de definição do atributo A (consumo máximo, mínimo e médio) para cloro líquido .. 86
3.4	Instrumento de avaliação 87
4	AValiação DO BENEFÍCIO FLORESTAL DE PROTEÇÃO À POTABILIDADE NATURAL DAS ÁGUAS 90
4.1	Considerações sobre o uso de produtos químicos como objeto de avaliação do benefício indireto e da dosagem como característica dos consumos 92

	Página
4.2	Análise da turbidez 95
4.2.1	Análise da turbidez da E.T.A. Tarumã 95
4.2.2	Análise da turbidez da E.T.A. Iguazu 97
4.3	Determinação do consumo de produtos químicos 99
4.4	Determinação do benefício florestal de proteção 101
4.4.1	Benefício de proteção máximo do período em estudo 101
4.4.2	Benefício de proteção corrente do período em estudo 107
4.4.3	Benefício de proteção perdido do período em estudo 109
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES 110
	RESUMO 119
	SUMMARY 121
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 123

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
01	Regime hidrológico da floresta	20
02	Tratamento convencional das águas	52
03	Vegetação primitiva do Estado do Paraná	59
04	Localização da área de estudo	60
05	Vegetação da Serra do Mar	66
06	Turbidez média anual - E.T.A. Tarumã	73
07	Turbidez média anual - E.T.A. Iguaçu	74
08	Turbidez média mensal dos anos extremos - E.T.A. Tarumã	75
09	Turbidez média mensal dos anos extremos - E.T.A. Iguaçu	76
10	Precipitação nos anos extremos - Estação I-36-02 (Piraquara)	77
11	Benefícios indiretos	88

LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
01	Interceptação de florestas de <i>Eucalyptus</i> e <i>Pinus</i>	23
02	Temperatura sobre solo nu e solo florestal de <i>Pinus radiata</i> , wm Idaho, E.U.A. (°C)	24
03	Velocidade do vento em campo aberto e sob cobertura florestal de <i>Pinus ponderosa</i> (m/s)... ..	25
04	Valores médios de coeficientes de transpiração para diferentes culturas (ℓ/kg de peso seco)	26
05	Comparação entre povoamentos de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> de 4 anos e uma área livre (cortada) (mm) quanto a diferentes fenômenos hidrológicos	27
06	Dados do regime hídrico para povoamento de <i>Pinus radiata</i> , E.U.A.	31
07	Perda anual de capacidade de armazenamento do reservatório de Gibraltar, E.U.A.	36
08	Poluição das águas do Rio Tietê, Mogi das Cruzes, São Paulo, 1961 (mg/ℓ)	44
09	Critérios e padrões para águas superficiais destinadas ao abastecimento público	53
10	Turbidez média anual do período	71
11	Turbidez média anual dos anos extremos	72
12	Pluviosidade da estação I-36-02 (Fazendinha-Piraquara)	77
13	Teste de floculação COSSMAN	79
14	Consumo de produtos químicos das E.T.As. de Curitiba - período de 1965-80	80

Quadro		Página
15	Consumo máximo de produtos químicos (x_3) (E.T.A. Tarumã e E.T.A. Iguaçu)	102
16	Consumo mínimo de produtos químicos (x_1) (E.T.A. Tarumã e E.T.A. Iguaçu)	103
17	Consumo médio (observado) de produtos químicos (x_2) (E.T.A. Tarumã e E.T.A. Iguaçu)	104
18	Benefícios históricos nas E.T.As. Tarumã e Iguaçu (Cr\$ a preços de junho de 1981)	105

1. INTRODUÇÃO

A floresta traz benefícios diretos e indiretos. Estes são conhecidos na economia florestal como "influências florestais", devido à estreita interação com o meio-ambiente e a sociedade.

Essas influências, como, por exemplo, proteção à fauna, conservação do solo, regularização e proteção dos mananciais hídricos, controle dos ventos, absorção de ruídos ou substâncias poluentes no ar, apresentam-se de elevada importância para a sociedade.

A avaliação desses benefícios indiretos é de difícil realização, ainda mais quando se quer quantificá-los monetariamente. A dificuldade de quantificação monetária torna-se extrema quando se refere às influências psico-fisiológicas do homem, função essa devido à existência de florestas ambientais, parques, reservas ecológicas ou floresta de visualização.

Quando se podem medir os danos fisicamente, é de uso relativamente comum em países desenvolvidos que essa avaliação seja feita em função dos prejuízos ou danos que ocorrem no caso da retirada da floresta de proteção.

Os critérios adotados na avaliação dos benefícios indiretos estão diretamente vinculados à legislação constitucional vigente no país. Sob um enfoque social, um trabalho

científico deve ter como princípio, fundamentalmente regedor dos critérios adotados, a colocação do homem como centro-causa e função de atuação do pesquisador.

A colocação do desenvolvimento como um processo exclusivamente econômico pode tornar inconciliável a curto prazo o aspecto proteção e rendimento econômico. No entanto, em estudos posteriores o uso racional dos recursos naturais vem contribuir para uma maior eficiência do aproveitamento dos recursos econômicos do país.

No Brasil, pouco se tem feito sobre a avaliação dos benefícios sociais proporcionais pela floresta. Casos de preocupação quanto ao valor social da floresta são assumidos por ecólogos ou sociedades de combate ao aproveitamento predatório dos recursos naturais, mas nem sempre tal atitude alcança os limites desejáveis de esclarecimentos, em consequência da falta de abordagem científica comprovada.

Acrescente-se ainda que a visão imediatista do rendimento econômico adotado no país requer que se use uma nova linguagem econômica para o perfeito desenvolvimento do homem na persuasão dos planejadores exclusivamente técnicos do desenvolvimento do país.

Dentro desse prisma, um estudo de avaliação dos benefícios indiretos, além de servir de base científica para melhor definir a utilização dos recursos naturais existentes, poderá contribuir também para um melhor desenvolvimento dos povos.

Baseando-se na influência que tem a floresta de proteção à potabilidade das águas naturais e dada a grande importância que a água desempenha para o homem, este trabalho

terá por objetivo quantificar monetariamente essa função de proteção, ou seja, avaliar um dos aspectos do benefício florestal de proteção dos mananciais hídricos. Este se refere à potabilidade das águas nas nascentes do rio Iguaçu, onde se faz a captação das águas superficiais, tendo em vista o abastecimento de água potável para a população da região metropolitana de Curitiba. Nesta avaliação levar-se-á em conta o consumo de produtos químicos básicos no tratamento convencional de purificação das águas, que são: sulfato de alumínio cal hidratada e cloro líquido.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 AVALIAÇÃO DOS BENEFÍCIOS INDIRETOS

No setor florestal passou-se a realizar análises de custos e benefícios sociais a partir da constatação de que no processo produtivo não só se formam os custos e as receitas sob o aspecto privado, mas também externalidades desse mesmo processo.

Os benefícios e custos sociais não são necessariamente mensuráveis monetariamente. Desse fato começam a ocorrer dificuldades nas análises, visto a adoção de diferentes unidades de medidas e da limitação da transformação para unidades monetárias, o que afeta o processo decisório que se baseia em tais análises.

KOHLER³⁶ identifica quatro formas de avaliar custos e/ou benefícios sociais, propondo índices quantitativos de benefícios, índices comparativos de benefícios, índices quantitativos de custos e valores monetários de custos e benefícios.

A avaliação dos custos e benefícios sociais pode ocorrer, portanto, de acordo com diferentes métodos, sendo todos discutíveis quanto à sua efetividade.

No setor florestal, dada a sua característica como

parte do meio-ambiente e parte do sistema social produtivo, a análise dos benefícios indiretos da floresta, bem como dos custos e benefícios externos à atividade produtiva, passou a ser objeto de pesquisa e aplicação prática, especialmente nos países industrializados.

Na procura de formas de avaliação dos benefícios indiretos proporcionados pelas formações florestais, há necessidade de que os conhecimentos para tal abranjam concepções correlatas da teoria de análise de custos e benefícios. Essa análise é uma disposição da teoria de alocação dos recursos.

MISHAN⁴² diz que, na análise de custos e benefícios, o economista substitui o conceito mais preciso de receita pelo conceito menos exato, embora significativo, de 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.

Em termos globais, a longo prazo, a redução da poluição, segundo ROSS⁵², poderá elevar ligeiramente o verdadeiro Produto Nacional Bruto - PNB. Diz que um decréscimo significativo na poluição do ar, por exemplo, pode contribuir para diminuir o absenteísmo e aumentar a produtividade, ou, ainda, algumas indústrias poderiam ter que pagar menos em gastos com assistência à saúde dos empregados, reduzindo também as despesas com freqüente aperfeiçoamento da mão-de-obra rotativa.

ROSS⁵² propõe ainda que, para se chegar a um indicador aproximado do crescimento anual em bem-estar, ter-se-ia que deflacionar o PNB de um valor que se poderia chamar de Efluente Nacional Bruto - ENB. O ENB seria um coletor estatístico

de todos os bens e serviços negativos produzidos no curso (ou resultado) da produção de bens e serviços positivos. Os bens e serviços negativos neste sentido incluíram transporte extra para escapar dos efeitos da deteriorização ambiental, limpeza adicional, serviços médicos extras, substituição prematura de bens devido a depósitos ou corrosão e equipamento de controle de poluição.

O problema comumente observado quando da avaliação do benefício indireto é quanto à taxa de desconto a ser usada na atualização monetária do benefício preferencial de conservação.

Se, por exemplo, a sociedade for considerada indifferente entre ter 100 milhões hoje e 106 milhões no próximo ano, a taxa social de preferência temporal é de 6% a.a. Colocando essa definição para projetos de preservação natural, a sociedade poderia se colocar indiferente em relação a outros projetos (MISHAN⁴²). A taxa de desconto social, nesse caso, é de 6% a.a.

Há que se colocar, no entanto, que a escolha de determinado investimento é função do grau de informação e de poder de influência que a sociedade como um todo exerce. Se em uma análise de custos e benefícios conclui-se que há um ganho x na execução de determinado projeto, isto não significa, necessariamente, que todos os indivíduos compartilhem desses ganhos.

A mensuração de qualquer tipo de investimento, segundo MISHAN⁴², cria problemas, em especial quando se reconhece que os benefícios a serem colhidos pela comunidade não assumem apenas a forma de produção mais alta, mas também de melhora-

mento direto da saúde e estado de espírito da população.

Segundo esse autor, os benefícios ou perdas sem preço ou com preços inadequados podem ser avaliados de três maneiras:

1) adotando-se os preços de coisas semelhantes em outra parte: o valor social de um local de recreação, ou um museu a ser construído em um local pode ser estimado por referência aos preços cobrados pelos mesmos serviços realizados em outra parte do país;

2) calculando-se os preços de um "bem ou mal" implícito na decisão do governo em empreender determinados projetos: quando a análise custos/benefícios mensuráveis em projeto público autorizado revelou um excesso de custos sobre os benefícios mensuráveis, o valor do benefício não calculado é igual a esse excedente de custos;

3) Calculando-se externalidades mediante referência aos preços de mercado: a existência de externalidades exige que os preços de mercado sejam corrigidos por perdas e ganhos acidentais de outras pessoas que não sejam os produtores ou usuários imediatos dos bens.

Considerando a problemática abordada até o presente, pode-se, no entanto, de acordo com FRANCOIS¹⁵, apresentar os seguintes indicadores de benefícios florestais indiretos:

2.1.1 Indicador custo

O custo é expresso em unidades monetárias, ou seja, o preço da influência ou do benefício, sendo conhecido como custo social. Esse indicador assume o valor máximo e mínimo de manutenção ou implantação de floresta protetoras.

O custo social pode, no entanto, ser considerado como um montante economizado pela sociedade, quando da troca de área preservada por outro tipo de aproveitamento. Por exemplo, substituindo um parque florestal que requer um custo social de manutenção (fiscalização, limpeza etc) por uma área de exploração, o custo social será semelhante à despesa economizada pela sociedade, que deixará de ter obrigação sobre o ex-parque. No entanto, futuros custos sociais, como, por exemplo, poluição das água que requerem programas de recuperação e proteção por parte do governo, podem não ser computados em uma análise conclusiva imediata na preferência de projetos de exploração do ex-parque.

Esse indicador pode também ser expresso em horas de trabalho, quer na área de proteção, ou quando as influências assumem valores comercializáveis, uma vez que o trabalho é quantificado em moeda.

2.1.2 Indicador benefício

Considerado como sendo os danos causados pela ausência da influência, esse indicador é o mais difícil de quantificação. Essa dificuldade de mensuração torna-se extrema quando

se refere à melhoria da saúde humana pela atuação indireta da floresta de proteção.

Quando se trabalha com dados concretos de períodos passados, a avaliação é relativamente facilitada, devido à análise comparativa que se pode fazer entre os danos ocorridos que poderiam ser evitados. Pode-se citar esse tipo de indicador como o princípio do objetivo deste trabalho, que é a avaliação de uma das externalidade da floresta protetora da potabilidade das águas, devido ao consumo adicional de produtos químicos que poderiam ter sido evitados no período precedente em análise.

A não existência da floresta de proteção, por exemplo, poderá acarretar prejuízos quantificados na destruição de casas, decorrentes de inundações, onde a floresta atua como regularizadora dos fluxos.

O aumento do índice de doenças da pele e respiratórias pela falta de áreas de proteção ambiental, com conseqüente aumento do consumo de medicamentos ou perdas em horas de trabalho da população, são prejuízos que, quando evitados, tornam-se benefícios.

A apresentação do benefício em forma de moeda é também dificultada quando se necessita de obras auxiliaadoras de proteção, como por exemplo, pequenas barragens ou diques (FRANÇOIS¹⁵). Aqui as influências se combinam, tornando-se indefinida a separação do valor de cada influência separadamente.

Os benefícios assumem valores ainda mais abstratos nas relações psicofisiológicas dos indivíduos quando:

- da redução do índice de mortalidade infantil, influência essa direta das condições sanitárias, onde a floresta desempenha grande função de proteção das águas, veículo de transporte de doenças hídricas;

- do aumento da expectativa de vida da população, devido à melhoria do ambiente pela existência de áreas verdes de lazer;

- do menor índice de incidência de neuroses da população urbana, pela melhor qualidade de vida, efeito esse em grande parte influenciado pela existência de áreas de recreação ou parques florestais. Tal redução do stress da população adquire consequências amplas, podendo influir, inclusive, na redução dos acidentes de trânsito.

O valor do benefício pode, no entanto, variar para habitantes das diferentes partes de uma cidade, região ou país.

2.1.3 Indicador custo de substituição

Refere-se a outros meios de influir no benefício sem contudo ser necessária a preservação ou reflorestamento da área.

O custo da influência da floresta é igual ao custo de um outro projeto qualquer que evitaria os mesmos danos. Coloca-se como exemplo o caso das estações de tratamento de água para abastecimento público: o aumento gradativo da área útil de funcionamento da estação (mais filtros, decantadores) e consumo de produtos químicos compensaria ou igualaria o custo de preservação da área (perda de área para urbanização) de

proteção à potabilidade natural das águas (turbidez e poluição) que a sociedade deixaria de ter.

O problema dos benefícios complementares desse indicador é de grande importância. Ilustrativo disso pode ser a função da floresta protetora e regularizadora dos mananciais hídricos que, em comparação com as estações de tratamento, além de proteger as qualidades da água, proporciona o benefício complementar de regularização do regime hídrico, evitando futuros prejuízos de inundações e assoreamento dos rios.

Ainda como exemplo pode-se citar a escolha de palçadas protetoras do vento em preferência a pequenas cortinas vivas, onde, além de só ser possível para pequenas áreas não contribui para a manutenção do equilíbrio hídrico da área.

2.1.4 Indicadores de opinião pública

Esses indicadores são de maior aplicação na criação de infra-estrutura protecionista. A apresentação de indicadores à população poderá alertar a mesma para os benefícios de manutenção da área de preservação. Tal conscientização levaria a população a pressionar o governo na elaboração de políticas preservacionistas ou ecológicas.

É evidente que todos nós aspiramos a uma maior segurança, a um nível de vida mais elevado, resultante do melhor aproveitamento da terra, do bem-estar e das possibilidades de recreação que, em quase todos os climas, supõem a presença das árvores e florestas (FRANCOIS¹⁵)

A sondagem da opinião pública pode ser expressa em termos de percentagem de áreas existentes ou números de parques para determinada população.

2.1.5 Indicador relação custo/benefício

Nota-se que os indicadores citados não apresentam uma visão completa de todas as relações existentes entre o melhor aproveitamento ou alocação dos recursos.

A relação custo/benefício é a que melhor qualifica as influências ou externalidade no caso de comparação de alternativas e só é possível em termos monetários. Permite a avaliação do interesse ou prioridade de um projeto em relação a outro, em alternativa de opção melhor.

Necessários se faz definir hipóteses, tanto para custos como para benefícios. Para os benefícios, necessário seria calcular todos os danos atuais devido à ausência da floresta, com vantagens potenciais que poderiam ocorrer no futuro com a criação de influências.

A relação custo/benefício permite escolher determinados projetos de influências nas correções dos movimentos ou danos indesejáveis, mas não analisa os benefícios complementares das diferentes influências. A relação pode ser, assim, baixa a curto prazo e alta no decorrer do tempo.

Haverá, também, que se colocar em destaque o fato de que, em geral, um tal indicador não deve ser parcial e refletir apenas alguns benefícios do futuro bosque em matéria de proteção e produção.

Por outro lado, MISHAN⁴² observa que, na análise de custos e benefícios, interessa-nos a sociedade em seu conjunto, o bem-estar da sociedade definida e não de qualquer uma de suas partes.

Conforme este autor, de acordo com a lei da constituição virtual, a análise custo/benefício procura determinar se os ganhos excedem os custos. Esta lei precisa também determinar a natureza ampla das externalidades que devem ser contadas normalmente em todos os cálculos econômicos, "ou em termos mais comuns, o que deve ser contado e o que não deve, tem que ser decidido com base naquilo que homens de boa vontade consideram razoável".

2.2 ANÁLISES DE CUSTOS E BENEFÍCIOS NO SETOR FLORESTAL

MISHAN⁴², em considerações sobre análises de custos e benefícios, cita o trabalho de HUFSCHMIDT* que considerou o período de cinquenta anos passados como amostra razoável de ocorrência de danos de inundações para estimar o benefício de proteção de barragens. Usou o princípio de que "o benefício esperado de uma obra destinada a impedir danos acima de uma certa cifra é o valor dos danos que ela pode evitar multiplicado pela probabilidade de sua ocorrência".

* HUFSCHMIDT, M.M. "Applications of Basic Concepts: Graphic Techniques" em A. Mass e outros, Design of water. Resource Systems, Londres: MacMillan, 1962.

Os danos de inundações referem-se à destruição de culturas agrícolas no período passado. As dimensões da represa, caso estudado, é fornecido como consequência do maior excesso de benefícios, isto é, danos evitados, sobre o custo de construção.

Há que se considerar que a estimativa dos danos futuros está baseada na repetição das influências do período de 50 anos passados, para um idêntico período futuro.

Esse método de avaliação do benefício indireto pode ser aplicado no setor florestal como forma de definir algum programa de arborização em áreas sujeitas a inundações. Os danos podem referir-se à destruição de culturas agrícolas, como também à destruição de obras civis. A área a ser reflorestada pode ser aquela que apresentar maior excedente de benefícios sobre os custos de implantação e manejo.

A consideração sobre um método de avaliação dos benefícios indiretos de proteção à saúde humana pode ser colocada em relação ao controle das doenças hídricas em população ribeirinha, como também doenças da pele em áreas de grande concentração urbana ou industriais, onde a floresta de proteção dos caudais poluídos ou absorvedora de resíduos industriais em suspensão no ar desempenham funções importantes.

Mais comuns no setor florestal são as análises de benefícios indiretos proporcionados por áreas de recreação.

ATKINSON* (DUEER¹² e JOHNSTON et al.³⁰), utilizou a razão

*ATKINSON, W.A. A Method for the Recreational Evaluation of Forest Land, tese para Master, University of California, Berkeley, 1956.

valor da floresta em pé/homem dia visitante em áreas florestais como método para escolha de florestas com função recreativa.

Selecionou 34 áreas na Califórnia, 21 das quais são parques estaduais ou reservas florestais nacionais e 13 propriedades florestais com fins industriais. Obteve o registro visitante/dia referente ao ano de 1959.

A menor razão das florestas com fins industriais define a margem de escolha para a troca por florestas de recreação.

Usa, por conseguinte, o princípio de que

quando a sociedade decide utilizar uma dada propriedade florestal como parque, tal decisão significa que se confere um maior valor às suas possibilidades para recreio, à exploração do material lenhoso, que de outro modo, viria a ser produzido (MISHAN⁴²).

JOHNSTON et al.³⁰ observam, entretanto, que é fundamental para validade desse método que os aproveitamentos dessas áreas comparativas sejam feitos sob pressão social, isto é, o manejo é definido antes de tudo pelo objetivo social de recreação.

Ainda sobre florestas de recreação CLAWSON* (MISHAN³³ e JOHNSTON et al.³⁰) com base nos gastos da população visitante do Yosemite National Park derivou curvas de demanda de atividades de recreação para a população de três áreas localizadas a diferentes distâncias desse parque, estabelecendo curvas de cobrança de ingresso.

*CLAWSON, M. "Method of measuring the demand for and value of outdoor recreation". Resources for the Future, Washington, D.C. 1959.

Essa metodologia tem como princípio a mensuração da disposição de pagar da população como indicador de benefícios proporcionados. Consiste em descobrir, para cada pessoa próxima e freqüentador do parque, a soma máxima (incluindo despesas de viagem) que está disposta a pagar para uma, duas, n viagens feitas ao parque, até que não pagaria coisa alguma por mais uma viagem adicional) anual. "O agregado dessas somas máximas de todas as pessoas constitui a medida do benefício social direto anual" (MISHAN⁴²).

Considere-se que a elaboração dessas curvas de demanda não avalia a problemática do crescimento urbano, variação da renda real da população, condições de transporte ou, ainda, a própria demanda das atividades de recreação preferencial da população no futuro.

Referindo-se à comparação entre projetos alternativos de aproveitamento dos recursos naturais, JOHNSTON et al.³⁰ esclarecem o problema das externalidades através de suposições teóricas. Recoloca a problemática constante na análise de custos e benefícios, dizendo que é

difícil a comparação de projetos alternativos nos quais os benefícios resultantes de uma determinada atividade, tal como exploração florestal, não podem ser medidos em unidades homogêneas, sendo alguns avaliados em termos físicos (como a pureza da água de uma captação) e outros em termos monetários (como o valor da produção em madeira).

A qualidade da água é considerada por GRAYSON et al²⁰, quando em análise do benefício de manutenção do rendimento hídrico proporcionado por uma represa. Colocam como exemplo teórico que o reflorestamento de uma área requer 100 m³ de água/ha/ano e que o custo da represa ao armazenar água é de Cr\$ Y/m³/ano. Conclui então que o benefício proporcionado por essa represa seria 100 x Y.

Na Grã-Bretanha foi realizada uma análise interpartamental de custos e benefícios pela Forestry Commission,¹⁴ buscando avaliar a situação do setor florestal naquele país.

Também para a Grã-Bretanha GRAYSON et al.²¹ analisaram a questão no tocante ao planejamento da recreação, partindo da constatação de ser essa uma das mais novas e crescentes formas de benefícios da floresta.

Na República Federal da Alemanha, reconhecidamente KAPP* (PABST⁴⁸; KOHLER³⁷) lançou as bases de teoria dos custos sociais aplicada ao setor florestal.

HEDTKE²⁶ preocupou-se com a avaliação da análise de custos e benefícios como instrumento decisório de cunho político-econômico no tocante às medidas a serem tomadas ao setor agrário.

Por outro lado, PABST⁴⁸ discutiu as possibilidades de avaliação dos benefícios indiretos, os quais denominou de "rendimentos sociais". Nessa mesma linha KOHLER³⁷ discute as possibilidades de contabilização de fatos de importância social e de ordem indireta vinculados à atividade florestal.

BECHMANN⁵ discute a possibilidade de aplicação da análise de custos e benefícios como instrumento de avaliação básica para planejamento paisagístico, discorrendo sobre aspectos conceituais de custos e de benefícios no âmbito daquele tipo de análise.

*KAPP, W. Volkswirtschaftliche Kosten der Privatwirtschaft 1950. Deutsche Ausgabe Tübingen 1959.

Na análise da problemática da avaliação no tocante a decisões quanto às áreas de produtividade marginal, BERNAUER⁶ discute a aplicação das análises de valor-utilidade e de custos e benefícios, considerando especificamente o caso da atividade florestal.

Por outro lado, GRUT²² analisa a aplicação da análise de custos e benefícios no setor florestal, reportando-se especificamente aos benefícios sociais de recreação e de geração de emprego e os custos sociais evitados no tocante à erosão e transporte.

Finalmente, HAMMEL²⁵ apresenta sucintamente uma análise de custos e benefícios para uma fábrica de papel realizada em país subdesenvolvido da Ásia, na qual foi adotado o critério de que os preços no mercado internacional representariam de forma mais adequada os custos de oportunidade. Uma série de efeitos indiretos não foram considerados, como, por exemplo, o efeito externo de cunho tecnológico na economia. Nessa análise determinou-se a taxa interna de retorno social em torno de 9%.

2.3 INFLUÊNCIA DA FLORESTA NO CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo das águas, isto é, o movimento da água na biosfera está compreendido, segundo GARCEZ¹⁷ e WISLER⁵⁵, em quatro etapas:

- precipitação atmosférica: chuvas, granizo, neve.
- escoamento subterrâneo: infiltração e águas subterrâneas.
- escoamento superficial: torrentes, rios e lagos.
- evaporação: na superfície das águas e solo.

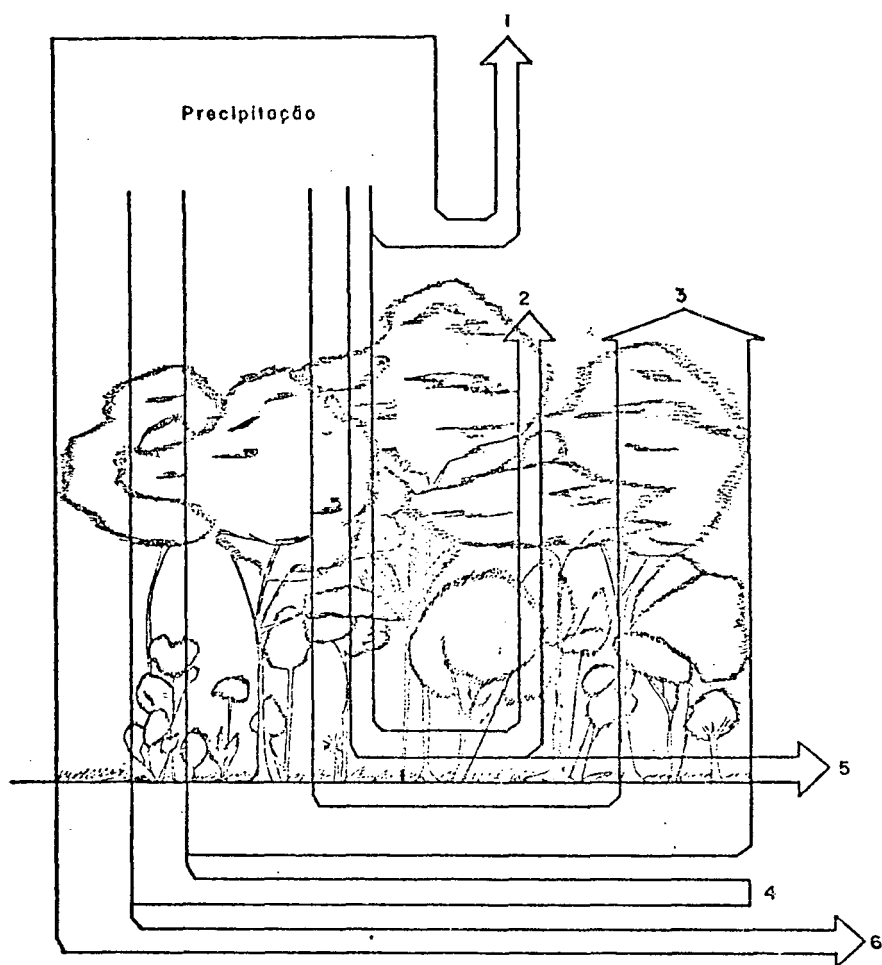
A hidrologia florestal relaciona o ciclo hidrológico em função da influência que a floresta exerce sobre o movimento das águas nas etapas acima citadas, além de colocar também em relevo a transpiração das plantas, mostrando ainda a interceptação da precipitação pela vegetação (Figura 01).

Os índices característicos do regime hidrológico da floresta são: queda pluviométrica, interceptação pelas partes aéreas das plantas, evaporação à superfície do solo, escoamento superficial, escoamento subsuperficial e vazão da bacia hidrológica. ANDRAE² os apresenta através da equação a seguir:

$$P = I + R + D_s + E + T + X$$

onde:

- P = Precipitação em campo aberto
- I = Interceptação pela biomassa
- R = Escoamento superficial
- D_s = Escoamento subterrâneo (incluindo infiltração)
- E = Evaporação do solo
- T = Transpiração pelas plantas
- X = Modificação da reserva d'água do solo



De: Melchionov⁴³

1. Interceptação
2. Evaporação
3. Transpiração
4. Infiltração
5. Escoamento superficial
6. Escoamento subsuperficial

FIGURA 01. Regime hídrico da floresta

2.3.1 Precipitação

A queda pluviométrica é determinada principalmente por chuvas de natureza ciclônica e relevos montanhosos, onde a floresta pode exercer retardamento na locomoção das camadas de ar saturadas de umidade (KITREDGE³¹).

A evaporação, segundo KITTREDGE³¹, a partir das terras e florestas apresenta um papel considerável quando se realiza sobre grandes áreas. Em áreas mais restritas a água evaporada é transportada por correntes de vento para outros locais.

MOLCHANOV⁴³ afirma que a cobertura vegetal, as pequenas clareiras, as cortinas florestais protegendo os campos e todos os acidentes que alteram a planura da superfície do terreno têm grande influência no aumento da precipitação localizada.

HURSH* (GUERREIRO²³), em estudos realizados na estação experimental de Copper Basin em Tennessee, admitiu a hipótese de que é possível que a floresta aumente a precipitação pluviométrica anual: considerando uma região de solo nu, região coberta de relva (*Andropogon scoparius*) e floresta natural de *Pinus*, observou precipitações de 1 277 mm, 1 341 mm e 1 458 mm, respectivamente. Tal diferença KITTREDGE** atribui às temperaturas elevadas e correntes de ar na superfície do solo nu e com relva.

MOLCHANOV⁴³ afirma que as florestas fazem aumentar as quantidades de precipitação e que, quando é tomado em consideração o vapor de água que é condensado no interior da floresta, durante a chuva, pode atingir até 10% da precipitação.

Segundo RUBNER***, a precipitação sob cobertura flo-

*HURSH, C.R. Local Climate in the Copper Basin of Tennessee as Modified by the Removal of Vegetation, USD of Agric, Circ nº 774, 1948.

**KITTREDGE, J. Forest Influences. The Effects of Woody Vegetation on Climate, Water and Soil With Application to the Conservation of Water and the Control of Floods and Erosion, McGraw-Hill, New York, 1948.

***RUBNER, K. Der Nebelniederschlag im Wald und seine Messung, 1932.

restal pode exercer a precipitação ao ar livre de 30% a 50% devido à formação de orvalho e neblina (MOLCHANOV⁴³).

2.3.2 Interceptação

A precipitação é interceptada pela cobertura vegetal dos solos. A floresta expõe uma maior superfície quando da precipitação (folhas, galhos e troncos) sendo assim a mais importante vegetação de captação das chuvas. Uma parte dessa água interceptada escorre posteriormente até os solos, outra sofre evaporação nas próprias superfícies da vegetação e ainda outra é armazenada nas copas.

A interceptação depende da estrutura e textura da floresta bem como da manta morta que recobre a camada superficial do solo e da densidade do povoamento.

CHEO* (KITREDGE³¹) determinou a interceptação para diferentes densidades de *Pinus resinosa* de 25 anos em Minnesota, USA, apresentadas em percentagem de precipitação.

Número de árvores por ha	6 530	3 790	2 180	1.310
Interceptação (%)	40	31	21	11

Em análise da interceptação para florestas tropicais, GOLLEY et al.¹⁹ citam observações feitas por CLEGG**, que de-

*CHEO, K.H. Ecology changes due to thinning red pine. J. For., 1946. 44:369-371.

**CLEGG, A.G. Rainfall interception in a tropical forest. Caribbean Forester, 1963. 24:75-0.

terminou 43% de interceptação na floresta tropical de Porto Rico e em experiências próprias determinaram para a floresta tropical úmida de Santa Fé, Panamá, cerca de 19% para uma precipitação anual de 1 933 mm.

Há, entretanto, condições próprias de cada floresta, que determinam uma variação na interceptação da precipitação. ANDRAE², citando CHU-SAN-LIN*, diz que a floresta tropical atlântica do Rio de Janeiro intercepta até 29% da precipitação anual de 1 950 mm o que a floresta tropical pluvial do Norte e Nordeste da América do Sul intercepta cerca de 25%-30% da precipitação anual.

O vento influi também na quantidade de água interceptada, pela agitação das folhagens e auxiliar da evaporação em locais de altas temperaturas.

A variação da interceptação, de acordo com a espécie, é mostrada por LIMA** (ANDRAE²), que apresenta (Quadro 01) a porcentagem sobre a precipitação com base nas médias de chuvas de diferentes intensidades e duração em povoamentos de 6 anos.

QUADRO 01: Interceptação de florestas de *Eucalyptus* e *Pinus*.

	PRECIPITAÇÃO INTERNA	ESCOAMENTO P/TRONCO	INTERCEPTAÇÃO
<i>Eucalyptus saligna</i>	83,6	4,2	12,2
<i>Pinus caribaea</i>	90,4	3,0	6,6

*CHU-SAN-LIN, 1968. S/citação.

**LIMA, W.P. Interceptação da chuva em povoamentos de *Eucalyptus* e *Pinus*. IPEF. (Piracicaba), 1976. 13:75-90

Observações referentes à floresta tropical pluvial da Malásia feitas por COIMBRA* (ANDRAE²) determinaram que, em média, 33% da precipitação alcança o solo, 20% é interceptada (posteriormente evaporada) e 46% escorre pelos troncos.

2.3.3 Evapotranspiração

Na computação da evaporação e transpiração de uma área florestal é de uso prático agruparem-se os fenômenos da evaporação a transpiração do regime hidrológico sob a denominação de evapotranspiração.

A floresta homogeneiza as temperaturas sobre o solo, reduzindo as máximas e mínimas e conseqüente evaporação, o que mostra o Quadro 02, fornecido pelos ensaios de ROTCHACHER** (KITTREDGE³¹).

QUADRO 02: Temperatura sobre solo nu e solo florestal de *Pinus radiata* em Idaho, E.U.A. (°C)

ALTURA SOBRE O SOLO (cm)	TEMPERATURA (°C)	
	SOLO NU	SOLO FLORESTAL
305	27,2	25,0
213	27,8	25,6
152	27,2	25,3
61	27,8	25,3
15	30,0	25,6
6	31,7	25,6
- 0,9	35,6	25,6

FONTE: KITTREDGE³¹

*COIMBRA, ... s/citação

**ROTCHACHER, J.S. Summary of exploratory phase of the Clear Creek transpiration study. Knoxville, Tenn. USA. Tennessee Vally Authority. Division of Forest Relation, 1949. 10 p.

A floresta reduz a velocidade do vento junto à superfície do solo. Esse aspecto é confirmado por FONS* (KITREDGE³¹), em pesquisa em floresta pura de *Pinus ponderosa* de 45 a 50 anos de idade, altura média de 21 m, com copas vivas até 3 m e 2 100 árvores/ha, localizada na Califórnia U.S.A. (Quadro 03).

QUADRO 03: Velocidade do vento em campo aberto e sob cobertura florestal de *Pinus ponderosa* (m/s)

ALTURA ACIMA DO SOLO (m)	VELOCIDADE DO VENTO	
	CAMPO ABERTO	FLORESTA
43	4,5	4,5
27	4,4	3,8
21	4,3	1,7
3,0	3,3	0,7
1,9	3,0	0,8
0,2	2,1	0,6

FONTE: KITREDGE³¹

Para conter a evaporação do solo com um mínimo de consumo de água, indicam-se as espécies de caráter xerófito, com folhagem rala e pouca densidade (PAVARI⁴⁹).

*FONS, W.L. Influence of forest cover on wind velocity. J. For., 1940. 38:481-486.

A profundidade das raízes é importante na retirada da água do solo e conseqüentemente na transpiração. PEREIRA* (HOOVER²⁷), em experiência com *Pinus patula* na África Oriental, determinou que essa espécie extrai toda a água disponível nos 4,3 m superficiais do solo e uma grande porção de água até 5,9 m de profundidade.

A transpiração sofre influência do período vegetativo das espécies; a isto KRAMER et al.³⁵ atribui a maior atividade fisiológica, colocando ainda que 95% dessa água absorvida é transpirada.

A transpiração das espécies é função ainda da produção das mesma, ANDRAE² diz que, em geral, as árvores em floresta possuem um coeficiente de transpiração inferior às culturas agrícolas, o que é mostrado no Quadro 04.

QUADRO 04: Valores médios de coeficientes de transpiração para diferentes culturas (l/kg de peso seco)

Milho	370*	<i>Pinus silvestris</i>	300*
Arroz	689*	<i>Eucalyptus saligna</i>	678**
Trigo	540*	<i>Araucaria angustifolia</i>	278**

FONTE: ANDRAE²

* LARCHER (Europa)

** Resultados obtidos em estufa (UFESM).

*PEREIRA, H.C. Water use by forest covers on the Abedares. East African Forest Research Org. Report., 1951, 1952. 68 p.

Deve-se considerar a espécie quanto à transpiração.

Ilustrativos dessa colocação são os dados do Quadro 05, obtidos de experiência realizada por KARSCHON* (ANDRAE²), que comparou áreas cortados em regime de talhadia com povoa-mentos de *Eucalyptus* de 4 anos.

QUADRO 05: Comparação entre povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* de 04 anos e uma área livre (cortada) (mm) quanto a diferentes fenômenos hidrológicos.

	EUCALYPTUS (4 anos)	ABERTO (cortado)
Evapotranspiração	505	303
Interceptação	40	0
Escoamento (deflúvio)*	51	243
Água no solo	-33	+17
Precipitação		563 mm

FONTE: ANDRAE²

* Deflúvio = Drenagem e escoamento p/rios = RUNOFF.

Em regiões de grande insolação e precipitação, a evapotranspiração é fundamental, como demonstra o estudo realizado por MARQUES et al.⁴⁰ na região amazônica, havendo deter-

*KARSCHON, R. The effect of coppice cutting on the water balance of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. Israel J. Agric. 1971. Res. 21:115-126.

minado que 54% do total de precipitação anual (2 328 mm) provém da evapotranspiração.

Embora a evapotranspiração apresente valores elevados, essa perda é compensada pela melhor economia do restante da água que atravessa as etapas do regime hidrológico, pois, por exemplo, de acordo com GUERREIRO²³, a infiltração num solo florestal é no horizonte superficial até 50 vezes maior que em solo fora da floresta.

Essa função regularizadora é observada por HOOVER²⁷, que calculou, de acordo com as condições climáticas e fisiológicas das espécies, uma taxa de evapotranspiração de solo descoberto, áreas de povoamento de *Pinus* e áreas de pastagens de 6,4 mm/dia. As raízes dos *Pinus* alcançam profundidades superiores a 1,8 m, enquanto que em pastagem 0,8 m. Nos primeiros 4 dias a evaporação na área descoberta é 6,4 mm/dia, decaindo e permanecendo 1,0 mm/dia até 14 dias, perfazendo um total de 35,6 mm. Nos campos a evapotranspiração é de 76,8 mm (6,4 mm/dia) durante 12 dias, sendo a partir daí insignificante. Em área de *Pinus*, que tem sistema radicular mais profundo, conserva a média de 6,4 mm/dia, totalizando 89,6 mm em 14 dias.

Isso significa que, após 14 dias, havendo chuvadas, o solo descoberto terá capacidade de retenção de 35,6 mm, o solo sob campo 76,8 mm e solos sob cobertura de *Pinus* 89,6 mm, acima dos quais o escoamento para os rios se daria até o limite de detenção (água gravitacional no solo) ocorrendo daí escoamento superficial (HOOVER²⁷).

2.3.4 Infiltração

As águas que atravessam o dossel da floresta penetram no corpo do solo de forma descendente sobre a superfície dos mesmos. As condições de porosidade dos solos determinam essa infiltração que depende grandemente da vegetação que os recobre.

MOLCHANOV⁴³ diz que o regime da água no solo se processa em três frases: umedecimento, que depende do afluxo de água; redistribuição da água pelos horizontes do solo e a perda de água devida à evaporação (e transpiração em solos arborizados).

Essas fases são função da capacidade de retenção e infiltração dos solos. Os solos florestais apresentam maior índice de infiltração de chuvas em relação aos campos, pastagens e agricultura, motivo esse decorrente da excelente porosidade dos solos florestais proporcionais pela maior penetração das raízes, maior número de microorganismos, insetos e também pela função estruturalizadora da manta morta.

Em experiências realizadas por GUERREIRO²³, em solos iguais, a velocidade de infiltração para uma unidade equivalente a uma chuvada de 100 mm foi de $3,6 \pm 1,3$ minutos em solos sob mata de carvalhos e $6,6 \pm 2,7$ min. para solos de 1 ano de agricultura.

A floresta apresenta grande valor nas condições de infiltração, devido também à quantidade de manta morta depositada anualmente. Essa camada protege o solo do impacto da chuva, retendo as partículas finas que obstruem os poros, atuando como esponja regularizadora do fluxo descendente das

águas de precipitação. Além disso, proporciona alimentos e proteção aos insetos e animais contribuintes do aumento da porosidade.

Devido à força de penetração das gotas de água e ação desagregadora do escoamento há uma desestruturação dos solos provocando entupimento dos poros com partículas finas. Isso provoca a remoção das camadas superficiais após chuvadas, devido à diminuição dos poros e entupimento dos canais. Em solo florestais o dinâmico movimento das raízes perfura continuamente o solo, conservando a sua porosidade original, evitando assim esse problema (MOLCHANOV⁴³)

2.3.5 Escoamento superficial

A capacidade de infiltração atua de forma a reduzir o escoamento superficial e este está intimamente relacionado com a remoção da camada superficial do solo, isto é, a erosão. Além do mais, as cotas máximas de vazão dos fluxos hídricos são reduzidas em solos de grande infiltração, o que vem a determinar a não ocorrência de inundações em períodos de chuvas intensas.

O escoamento superficial pode ser resumido conforme a equação a seguir: HOLZMAN*, KITTREDGE** (GUERREIRO²³).

$$Q = P - (I + T + E + X) \pm S$$

*HOLZMAN, B. Flood Hazardland Flood Control. Yearbook Separate nº 1817:531-578. 1941.

**KITTREDGE, J. Forest Influences, McGraw-Hill. Book Company. New York, 1948.

onde:

- Q = Quantidade total de água que escorre à superfície
- P = Precipitação total
- I = Infiltração
- T = Transpiração
- E = Evaporação
- X = Quantidade de água que desaparece por infiltração p/horizontes inferiores
- S = Mudança do teor de umidade para o período considerado.

O Quadro 06 apresenta os resultados de experiências realizadas por MITSCHERLICH* (ANDRAE²) em povoamentos de *Pinus radiata*, E.U.A., mostrando que a floresta pode reduzir o escoamento superficial em até 25%, aumentar a infiltração em cerca de 31% e reduzir a evaporação do solo em 17%.

QUADRO 06: Dados do regime hídrico para povoamento de *Pinus radiata*. E.U.A.

TIPO DE COBERTURA	IDADE (ANOS)	PRECIP. (mm)	ESC. SUP. (%)	INFILT. (%)	EVAFORAÇÃO (COPA e M.M)
Solo descoberto		577	26	27	47
Espessura manta morta					
0,6 cm	5-10		10	52	38
1,3 cm	10-15		2	65	33
1,9 cm	15-20		1	68	31
3,2 cm	25-30		2	68	30

FONTE: ANDRAE²

*MITSCHERLICH, G. Wald, Wachstun und Umwelt, Vol. 3: Poden, Luft und Produktion, J.D. Saurlander's Verlag, Frankfurt am Main, 1975. 352 p.

A função da floresta é transformar o escoamento superficial em infiltração e escoamento subsuperficial. MOLCHANOV⁴³ analisou essa função em povoamentos de *Picea* após o corte, na Bulgária: para povoamento com camada de raízes não decompostas (solo florestal intacto) apresentaram 17% de escoamento superficial, 3% de escoamento subsuperficial até 25 cm de profundidade e 0,4% à profundidade de 25-50 cm e 79,6% de infiltração profunda. Quando o escoamento superficial era de 1,1%, o escoamento subsuperficial desceu para 0,5% na camada até 25 cm de profundidade e apresentou-se nulo na camada 25-50 cm, aumentando, no entanto, a infiltração profunda para 98,4%.

BURGER⁶¹ analisa a capacidade da floresta em afetar o escoamento superficial, constatando que depende de sua localização, seu estado e seu manejo; observando o seguinte: Em povoamentos densos a influência da declividade é inferior, sendo o escoamento superficial até 22° insignificante. Geralmente as florestas de folhosas apresentam escoamento superficial menor. Em povoamentos jovens sem vegetação baixa e sem manta morta o escoamento superficial pode atingir 60%. As florestas com densidades superiores a 0,6-0,7 apresentam excelentes características para a conservação da água. A vegetação baixa pode exercer a mesma função de interceptação da manta morta. A infiltração é bem maior em solos arenosos.

Observa-se, ainda, que o uso da floresta para pastagens pode facilmente neutralizar o efeito positivo da floresta na conservação da água, pois, além do consumo da vegetação, o solo é compactado, dificultando a infiltração.

Depois do corte raso geralmente o escoamento superfi-

cial é bem maior que do corte seletivo. Isso depende ainda do método de extração da madeira (cavalos, tratores, guinchos) como também da construção de aceiros (seguindo as curvas de nível)

Finalmente coloca que a queima influencia negativamente no escoamento, pois, além de destruir a manta morta, produz substâncias hidrofóbicas que entram no solo e formam, em pouca profundidade, um filme hidrofóbico.

2.3.6 Erosão

Como foi analisado, a floresta apresenta a capacidade de reduzir o impacto das chuvas e também, pela redução do escoamento superficial, evitar o problema da erosão.

Segundo ANDRAE², pode haver erosão em camadas ou estratos (as gotas desestruturam o solo ao cair ou as camadas impermeáveis estancam a infiltração, ocorrendo força de gravidade maior que a força de atração - deslizamentos) e erosão em sulcos, que depende fundamentalmente da velocidade do escoamento.

A potencialidade de arrastamento das partículas do solo é diretamente proporcional ao volume de água que escorre, à declividade e a sua extensão. WALKER* (BRANCO et al.¹⁰) diz que, quando a extensão da declividade de um terreno desarborizado é duplicada, o transporte de partículas do solo

*WALKER, E.D. Soil Erosion and Conservation, Enciclopedia Britannica Inc. Ed., 1962.

aumenta 1,5 vezes. Do mesmo modo, a própria inclinação do declive afeta a velocidade de transporte, ocorrendo uma remoção de partículas 2,5 vezes maior quando a declividade percentual é duplicada.

Considerando-se idênticas declividades, a floresta aumenta substancialmente essa velocidade de escoamento, condicionando uma maior proteção contra a erosão. Pesquisas feitas por SCHIFF* et al. (HOOVER²⁷), em Ohio, E.U.A., em solos florestais franco-limosos a velocidade de movimento superficial das águas foi aproximadamente 88% (953,3 mm/hora), superior ao verificado em solos cultivados (508,4 mm/hora).

A proteção à erosão, entretanto, varia com diferentes vegetações. Por exemplo, MITSCHERLICH** (ANDRAE²) mostra que a média anual verificada na erosão do solo florestal da Floresta Negra, Alemanha, em declividade de 15° foi de 2,5 kg/ha/ano, crescendo para 20 kg/ha/ano em declividade de 25° e 210 kg/ha/ano em declividade de 45°.

Comparativamente a outras culturas, a importância da floresta na contenção da erosão é facilmente observada. JORGE*** (BRANCO et al.¹⁰) determinou a perda média anual de solo na região de solos arenosos, roxos e massapê-salmourão do Estado de São Paulo. Os dados referem-se à média de 15 anos de observações e são expressos em kg/ha/ano: mata original 4 pastagens 400, cafezal 900 e algodão 26.600.

*SHIFF, L. & DREIBELBIS, F.R. Movement of water within the soil and surface runoff with reference to land use and soil properties. Trans. Am. geophys. Un., 1949. 30:401-411.

**MITSCHERLICH, G. Wald, Wachstum und Umwelt, Vol 2:Waldklima und Wasserhaushalt J.D. Sanerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 365 p.

***JORGE J.A. Solo Manejo e Adubação. São Paulo, Melhoramentos, 1969.

Os fragmentos dos solos são carregados em suspensão nas águas de enxurradas para os leitos dos rios, açudes e reservatórios provocando assoreamento e turbidez das águas. A turbidez das águas é a base do tratamento químico das águas para abastecimento público.

2.3.7 Inundações

A floresta reduz a ocorrência de inundações na medida em que intercepta a água para que não atinjam rapidamente o solo, conserva e aumenta a capacidade de infiltração, contém e reduz a erosão e conseqüente depósito de sedimentos nos caudais, aumenta a capacidade de retenção de água no solo pela manutenção e aumento da porosidade e favorece a eliminação da água armazenada no solo nos períodos de intervalo entre tormentas.

Os aspectos acima colocados influem na redução das cotas máximas de vazão, causadoras de inundações. HOOVER²⁷, em experimento na estação de Coweeta nas montanhas da Carolina do Norte, ilustra esse problema: em uma bacia coberta com denso bosque de folhosas de 9,3 ha mediu-se, durante 5 anos, o caudal das águas. Após 5 anos cortaram-se e destocaram-se 2,2 ha e plantou-se milho, utilizando-se os restantes 7,1 ha para criação de gado. Os declives eram muito escarpados e o cultivo e pastoreio se levaram sem nenhuma prática de conservação. No terceiro ano de cultivo registrou-se uma cota máxima de vazão de 121,3 m³/s/milha² por ocasião de chuvas de 40,7 mm (intensidade de 101,7 mm/h). Anteriormente ao apro-

veitamento da bacia, tal precipitação e intensidade nunca havia causado uma vazão superior a $15,2 \text{ m}^3/\text{s}/\text{milha}^2$. Após 10 anos do corte das árvores esse fluxo alcançou magnitudes de $304,8 \text{ m}^3/\text{s}/\text{milha}^2$.

Outra consequência importantíssima e que leva consequentemente a fortalecer a ocorrência de inundações, além de trazer influências negativas adicionais, é o assoreamento dos rios, lagos, açudes e reservatórios de água. GUERREIRO²³ cita o relatório da MISC. PUBLIC.* que analisa o ocorrido no reservatório de Gibraltar em Santa Bárbara, Califórnia, construído em 1920 com capacidade de 18 milhões de m^3 , com uma área de alimentação de 557.000 ha (Quadro 07).

QUADRO 07: Perda anual de capacidade de armazenamento do reservatório de Gibraltar, E.U.A.

PERÍODO	ACUMULAÇÃO ANUAL (m^3/ha)	ÁREA INCENDIADA POR ANO (ha)	PERDA ANUAL DA CAP. DE ARM. (%)
1920-25	3,8	18.859	1,2
1925-30	11,9	22.880	3,7
1930-34	14,4	42.865	4,8

FONTE: GUERREIRO²³

*MISCELLANEOUS PUBLICATION. Influences of Vegetation and Watershed Treatment on Runoff, Silting and Streamflow, Mis. Publ. nº 397, USD of Agric. Washington D.C., 1940.

De acordo com o Quadro 07 observa-se que um aumento de 2,27 vezes na área explorada da bacia contribui para um aumento de 3,79 vezes no acúmulo de sedimentos no reservatório e conseqüentemente uma perda de capacidade total de 42,5% no período de 1925-1934.

2.3.8 Rendimento hídrico

"Pode-se afirmar que, normalmente, onde há floresta há água. As florestas tendem a acumular água. Os rios nascem nas florestas e as florestas protegem o solo" (MOLCHANOV⁴³).

Em regiões mais restritas a influência é facilmente percebível em áreas desarborizadas pelo aumento do escoamento superficial e assoreamento dos rios, provocando a formação de pântanos ou pequenos desertos periódicos (MOLCHANOV⁴³).

A floresta é importante fator de proteção ao regime hídrico e sem dúvida a preservação dos drenos e do nível do lençol freático. Os fluxos drenados para cursos de água de pequena importância dependem da alteração da profundidade do leito do rio, provocado pela erosão, isto porque, quando o leito não é profundo, a água caída em uma bacia é drenada para o rio que apresenta um leito mais profundo (MOLCHANOV⁴³).

Sobre o rendimento hídrico de uma bacia, há que salientar que as florestas consomem água e conseqüentemente influem no rendimento hídrico. No entanto, o que se coloca em questão é que as florestas uniformizam o escoamento durante o ano, aumentam a capacidade de armazenamento de água nos solos e reduzem a erosão.

HOOVER²⁷ diz que, geralmente, se observa um aumento do caudal dos rios à medida em que se reduz a densidade florestal. Esse mesmo autor cita o ensaio realizado por HOOVER*, KOVNER**, transcrito a seguir, e realizado em floresta de *Quercus* na parte Ocidental da Carolina do Norte, U.S.A.

Em uma bacia hidrográfica cortaram-se todas as árvores sem retirada das toras, cortando-se os ramos e estendendo-os uniformemente no solo. Após esse corte o escoamento anual aumentou aproximadamente 432,1 mm. Deixou-se então ocorrer a regeneração natural por 2 anos, quando daí, anualmente, durante nove anos se fazia o corte. O incremento do caudal anual nos últimos anos foi constante e aproximadamente 254,2 mm. Os caudais máximos permaneceram constantes devido a que o solo florestal poroso estava protegido.

Em outra bacia semelhante deixou-se, após o corte, regenerar-se a área. No primeiro ano o caudal aumentou 368,6 mm, decrescendo gradativamente até um período de 13 anos, quando então o aumento verificado foi de 127,1 mm/ano. Há que se acrescentar que a área basal após 12 anos era de 15,8 m², em comparação a 33,8 m², originalmente KOVNER*** (HOOVER²⁷).

WILM⁵⁴ aponta que, se o objetivo é obter o máximo de rendimento hídrico compatível com a estabilidade do solo e

*HOOVER, M.D. Effects of removal of forest vegetation upon water Yields. Trans. Am. geophys Un, 1974. 25(6):967-977.

**KOVNER, J.L. Evapotranspiration and water yields following forest cutting proceedings. Society of Am. For. Meeting, 1956:106-110.

***KOVNER, J.L. op. cit.

com a contenção de inundações, o caso é então manter a mínima densidade de vegetação acima do ponto crítico de desagregação dos solos.

Alguns técnicos defendem o princípio de que se deve cortar periodicamente a vegetação de uma bacia de recepção para se obter maior aproveitamento de água (WILM⁵⁴).

BURGER¹¹ observa que, devido ao gasto de água pela floresta, é importante a escolha da espécie, desbaste e rotação no manejo de áreas de rendimento hídrico.

Afirma que, devido à alta interceptação das coníferas e ao alto escoamento ao longo dos fustes de muitas folhosas, geralmente o escoamento de florestas folhosas é maior do que de florestas de coníferas.

O mesmo autor diz ainda que, com o corte de árvores dominadas e intermediárias que gastam água de forma relativamente não econômica, o escoamento pode ser aumentado.

Finalmente BURGER¹¹ observa que a rotação pode influenciar no escoamento, pois, o consumo de água em todas as espécies aumenta com a idade.

2.4 ÁGUAS SUPERFICIAIS. POLUIÇÃO E TRATAMENTO

De acordo com sua ocorrência na natureza, BITTENCOURT⁸ classifica as águas em:

- 1) águas meteorológicas, ou destiladas (chuva, grãos, neve).

São relativamente puras, apresentando-se incolores, inodoras e levemente insípidas. À medida em que descem à superfície vão absorvendo oxigênio, nitrogênio, gás carbônico e outros gases normalmente existentes na atmosfera.

- 2) águas superficiais (lagos, rios, riachos).

Representando 1,5 a 3% do volume total da água doce da Terra, tem suas propriedades físicas, químicas e biológicas definidas pelas características das bacias hidrográficas: formação geológica, atividades e concentração populacional, utilização do solo, estações do ano, condições climáticas e vegetação de recobrimento. São essas águas aproveitadas para abastecimento público.

- 3) águas subterrâneas (poços artesianos, subsolo).

Representam 97 a 98,5% das águas telúricas existentes, apresentando geralmente características de boa qualidade e quantidade.

As águas superficiais utilizadas para abastecimento público devem satisfazer as exigências agrupadas em dois tópicos: higiene e palatabilidade.

A higiene subentende que as águas devem ser livres de contaminação (doenças hídricas), livre de substâncias tóxicas e livre do teor excessivo de substâncias minerais e orgânicas.

A palatabilidade subentende que as águas devem satisfazer as exigências humanas quanto à visão (incolor e lím-

pida), paladar (sabor peculiar), olfato (inodora) e trato (temperatura moderada e saturada de oxigênio (BITTENCOURT⁸).

2.4.1 Autodepuração das águas

Segundo muitos autores, entre eles KLEEREKOPER³² e BITTENCOURT⁸, as águas em seu estado natural de equilíbrio apresentam a propriedade de se autopurificarem, conservando, assim, suas características originais. SABBAG⁵³ apresenta esse processo como função de três agentes:

1) agentes físicos (gravidade, luz e aeração)

A gravidade remove as substâncias sedimentáveis. SABBAG⁴² diz que partículas com 0,2 mm de diâmetro e massa específica de 2,65 g/cm³ sedimentam-se facilmente em corrente líquida com 22,5 cm/seg a 10°C.

A luz induz a fotossíntese aumentando o teor de oxigênio dissolvido, abrindo condições para ação depuradora desse elemento químico, reduzindo o teor de dióxido de carbono (CO₂).

A aeração provoca a hiperoxigenação das águas, permitindo ainda que os gases resultantes da decomposição orgânica escapem para a atmosfera.

2) agentes químicos (oxidação e redução).

Na oxidação a matéria orgânica é convertida em estado mineral ou outros produtos estáveis. Por exemplo, os solutos ferrosos e mangânicos se oxidam passando a formas férricas e mangânicas, os quais por serem insolúveis precipitam-se.

Na redução a matéria mineral pode ser solubilizada, ocorrendo na hidrólise e em processos químicos de fracionamento.

3) agentes biológicos (microorganismos).

As bactérias elaboram películas gelatinosas chamadas zooglêias que se ramificam, retendo materiais coloidais ou partículas finas suspensas, aumentando de volume, floculando e posteriormente sedimentado-se.

Os protozoários ciliados, mais abundantes, segundo SABBAG⁵³, devoram as bactérias saprófitas e microorganismos patogênicos, renovando assim as populações de zooglêias.

Por outro lado, as algas utilizam os solutos resultantes da ação mineralizadora das bactérias colaborando no processo de oxidação, libertando oxigênio e consumindo gás carbônico.

Os nematóides, anelídeos, crustáceos e animais aquáticos de maior porte contribuem também para a depuração das águas.

2.4.2 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) (AWWA¹, GUIMARÃES²⁴, SABBAG⁵³).

Segundo BRANCO et al.¹⁰

do ponto de vista agrícola grandes prejuízos do escoamento superficial são causados pela remoção da matéria orgânica. Em relação à poluição das águas, o maior problema é o acúmulo nas regiões mais baixas das substâncias removidas, uma vez que este acúmulo pode causar danos qualitativos e quantitativos às reservas de água potável, especialmente os reservatórios de acumulação pela tendência à sedimentação e acúmulo, motivados pela baixa velocidade das águas nesses mananciais.

A carreação (erosão), portanto, das partículas dos solos para os mananciais altera o processo natural de autodepuração, dando turbidez, coloração e gostos inaceitáveis à potabilidades natural das mesmas, além de provocar assoreamento dos reservatórios de captação (BRANCO et al.¹⁰).

KITTREDGE* (GUERREIRO²³) ilustrou o problema da turbidez das águas em experimentos realizados em uma bacia de 85,8 ha, localizada na estação experimental de Coweeta, E.U.A. Antes do corte do povoamento florestal a turbidez das águas apresentavam em média 4 ppm. Após o corte a média subiu para 94 ppm, com um valor mínimo de 10 ppm e um valor máximo de 3 500 ppm.

A poluição industrial e urbana traz conseqüências das mais variadas, desde a função exclusivamente técnica de manutenção dos equipamentos até mesmo a ocorrência de surtos de doenças hídricas (AWWA¹).

As enxurradas em áreas sem proteção alteram as qualidades das águas. HESS** (BRANCO et al.¹⁰) mostra esse problema no Quadro 08.

*KITTREDGE, J. Forest Influences. The effects of Woody Vegetation on Climate, Water and Soil with Applications to the Conservation of water and the Control of Floods and erosion. McGraw-Hill. New York, 1948.

**HESS, M.L. Chuva: agente de poluição das águas. Revista DAE, 1961. aa(41):41-43.

QUADRO 08: Poluição das águas do rio Tietê, Mogi das Cruzes, São Paulo, 1961 (mg/ℓ)

CHUVA	COR	ODOR	TURBIDEZ	SOL. TOTAIS	SOL. SED.	O ₂ CONS.	DBO
Antes	140	Ausente	14	99	0,5	12	4,6
Depois	AM. TERKOSA	Óleo	45	402	1,5	19	11,0

FONTE: BRANCO et al.¹⁰

2.4.3 Biologia das águas

KLEEREKOPER³², ao analisar a biologia das águas diz que a economia das mesmas baseia-se no plânctons (Planctons ou Holoplancters) que estão subdivididos em fitoplânctons (vegetais) e zooplânctons (animais). Segundo ODUN⁴⁵, enquanto que certos zooplânctons podem executar movimentos natatórios ativos que os ajudam a manter-se verticalmente, os plânctons considerados como um todo são incapazes de se deslocar contra correntes apreciáveis.

Esses organismos das águas apresentam-se de elevada importância no processo de autopurificação, condicionando assim a conservação das qualidades naturais das mesmas.

As águas apresentam três tipos de bactérias: bactérias de água natural, bactérias do solo e bactérias intestinais ou de esgotos (além de outros microorganismo da mesma origem) (AWWA¹).

As bactérias de água natural em grandes quantidades produzem gosto e odor às águas (AWWA¹).

Entre bactérias do solo trazidas pelas águas de escoamento aparecem as ferruginosas, que provocam depósito de óxido de ferro nas canalizações e na água (p.ex. *Chenotrix polyspora* (AWWA¹).

As bactérias do intestino e esgoto são as patogênicas. Associadas a doenças febris hídricas, o gênero *Salmonella* é representado pela *Salmonella typhosa* que, segundo PUPPI⁵⁰, é considerada a mais importante das moléstias hídricas (febre tifóide).

Segundo AWWA¹, várias espécies de protozoários, fungos, crustáceos, algas, entre outros microorganismos, embora não patogênicos, provocam incômodos ao tratamento, pois produzem gostos e odores na água de beber, interferem no processo de coagulação e filtração e por fim criam crostas nos banheiros e encanamentos.

Quanto às algas, AWWA¹ diz que além do problema básico de produzirem gostos e odores às águas, resultantes dos compostos que liberam no processo biológico como também dos gases da decomposição, interferem no processo de purificação, em particular na filtração. AWWA¹, KLEEREKOPER³², entre outros autores, referem-se à abundância de algas nas águas como floração das águas (Waterboom).

KNESSE et al.³⁴ dizem que existe 15 a 20 principais nutrientes que desempenham papel principal na eutrofização das águas. BRANCO et al.¹⁰ apontam que a calcinação de 1 000 kg de vegetação total de um reservatório produz, em média, 200 g de fósforo liberado, o que representa 2 000 kg de plâncton.

Além disso, plantas e animais quando morrem se mantêm

no ecossistema, sofrendo transformações de degradação, fermentação e mineralização (KLEEREKOPER³²), produzindo compostos como, por exemplo, gás sulfídrico, ácidos e gás carbônico que são poluentes às águas naturais (AWWA¹).

2.4.4 Química e física das águas

A composição química (e física) das nossas águas varia extremamente, segundo as condições do solo e do subsolo, influências provenientes do mar, de acordo com o desenvolvimento da microfauna e flora. Recentemente, as alterações causadas pelas mais variadas poluições de rios, lagos e poços exigem estudos mais profundos (JAKOBI²⁹).

2.4.4.1 Oxigênio e dióxido de carbono (CO₂)

Assimilação fotossintética (algas clorofiladas) que depende grandemente da turbidez e a atmosfera onde existe em 21% são as duas fontes de oxigênio das águas (KLEEREKOPER³²).

As fontes de dióxido de carbono na água são a decomposição (oxidação de corpos vivos) e a respiração de micro e macroorganismos (oxidação de corpos vivos) (KLEEREKOPER³²).

BITTENCOURT⁸ afirma que as águas naturais puras sem influência do homem estão normalmente saturadas de oxigênio, variando esses teores de 2 a 5 ppm, proporcionando um gosto agradável às águas.

Os critérios ou padrões para águas superficiais destinadas ao abastecimento público determinam um teor mínimo de oxigênio dissolvido de 4 mg/ℓ, sendo conveniente que esse

teor esteja próximo ao teor de saturação (BRANCO et al.¹⁰).

O gás carbônico, além de estar livre no corpo da área, apresenta-se associado a bicarbonato e carbonatos (BRANCO et al.¹⁰; AWWA¹).

Nascentes em São Paulo, antes do contacto com a matéria orgânica em decomposição, apresentavam 3 a 4 mg/ℓ de gás carbônico, subindo após o contacto para 34,8 mg/ℓ, segundo KLEEREKOPER³².

De acordo com experiências realizadas em material vegetal de árvores e arbustos variados da Mata Atlântica, BRANCO et al.¹⁰, após afogamento em reservatório, determinaram que 1 000 kg de relva (folhas, gramíneas etc.) consomem 120 kg de oxigênio da água e que 1 000 kg de árvores ou arbustos (troncos e galhos) consomem 60 kg de oxigênio.

A demanda de oxigênio que a matéria poluidora biodegradável retira da água receptora em seu processo de biodegradação é chamada DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio (oxigênio consumido) (BRANCO et al.¹⁰).

De um modo geral, sabe-se que a contribuição per capita de DBO em uma população é da ordem de 54 g/dia, isto é, cada indivíduo leva a um consumo médio de 54 g de oxigênio do corpo receptor (BRANCO et al.¹⁰).

Além de ser tóxico ao ser humano (provocando acidez), o gás carbônico livre nas águas é agressivo, possuindo um alto poder dissolvente em águas tratadas nas canalizações (corrosão) (KLEEREKOPER³² e AWWA¹).

2.4.4.2 Turbidez

Importantíssima no processo convencional de tratamento das águas, isto porque define a quantidade de coagulante a ser adicionado, a turbidez é entendida, segundo AWWA¹, como uma medida de interferência provocada pela matéria suspensa à passagem da luz através da água.

As causas da turbidez, citando BRANCO et al.¹⁰, são toda a sorte de substâncias em suspensão, tais como microorganismos, detritos orgânicos, silte, argilas, fibras, colóides orgânicos ou inorgânicos.

BORSARI⁹ cita que as águas naturais (sem influência) podem apresentar até 1 000 ppm de turbidez, colocando ainda que cursos de água em solos argilosos e cultivados apresentam maior turbidez do que os que percorrem campos ou florestas

Os problemas da erosão, proporcionando alta turbidez, são freqüentes em áreas de captação de águas sem proteção e controle do escoamento superficial. Nos grandes reservatórios a dragagem torna-se assim uma medida prática normal (AWWA¹)

Segundo BORSARI⁹, a cor verdadeira ou real das águas é a produzida por substância em solução e a cor aparente é provocada tanto por substâncias em solução como pelas substâncias em suspensão.

O WQC* coloca como passíveis de tratamento águas com 75 unidades-padrão de cor e turbidez variável e como convenientes águas com 10 unidades-padrão de cor e turbidez virtualmente ausentes (BRANCO et al.¹⁰).

*Water Quality Critéria, 1968.

2.4.4.3 Alcalinidade, Acidez, Dureza

A alcalinidade das águas representa o conteúdo de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos (alcalinidade cáustica) e ocasionalmente boratos, silicatos e fosfatos (BORSARI⁹) e facilita a suspensão coloidal do sulfato de alumínio (BITTENCOURT⁸).

A alcalinidade cáustica é rara nas águas naturais, podendo ocorrer em águas abrandadas pelo processo de cal (BITTENCOURT⁸).

BRANCO et al.¹⁰ colocam que a alcalinidade na água deve ser suficiente para permitir a formação de flocos durante a coagulação, porém não deve ser tão elevada que possa provocar distúrbios fisiológicos no homem. Além disso, dizem que a alcalinidade deve situar-se em nível adequado de modo a tornar a água nem corrosiva nem incrustante.

A acidez ocorre devido à presença de dióxido de carbono, sulfatos de ferro e alumínio, gás sulfídrico e ácidos minerais. A maioria das águas não poluídas apresentam-se dentro da faixa recomendada de 6,0 a 8,5 (BRANCO et al.¹⁰).

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 íon ferro, manganês, estrôncio e alumínio em menores proporções (BITTENCOURT⁸). Segundo AWWA¹, as águas naturais apresentam, além dessa dureza citada, a dureza de cloretos e nitratos de cálcio e magnésio.

A dureza temporária é função dos carbonatos e bicarbonatos de cálcio e magnésio. A dureza permanente é função dos

sulfatos (principais), cloretos e nitratos (secundários) (AWWA¹).

As substâncias que produzem dureza reagem com o sabão formando compostos insolúveis. A espuma aparece, então, depois que há uma completa precipitação dos sais responsáveis pela dureza (AWWA¹; AZEVEDO³).

2.4.4.4 Outras características

Além dos aspectos vistos, há que destacar outras substâncias químicas quanto à qualidade das águas (BITTENCOURT⁸):

a) *Cloretos*: teores acima de 250 mg/l (limite permísivel de tratamento); mais notadamente acima de 500 mg/l dão gosto desagradável às águas.

b) *Ferro (Fe) e manganês (Ma)*: contribuindo para a poluição das águas (liberam CO₂ no processo químico), são indesejáveis em águas de abastecimento, pois comunicam odor, gosto e cor às águas, além de contribuírem para o processo de eutrofização das mesmas.

c) *Alumínio (Al)*: águas ricas em matéria orgânica podem conter quantidades leves de alumínio; compostos de alumínio não são assimiláveis pelos organismos. A dosagem exagerada de sulfato de alumínio (os resíduos expressos em termos de alumina — Al₂O₃ — não deve ultrapassar 0,3 mg/l em águas tratadas) é facilmente percebível na prática pelo embaciamento dos copos de vidro e pelo gosto peculiar.

d) *Arsênico (As)*: raramente encontrado em águas naturais, esse teor pode ser aumentado pela poluição com herbicidas, inseticidas e pesticidas à base de compostos de arsênio.

e) *Cianetos (Cn)*: normalmente não ocorrem em águas naturais, podendo estar presentes na água pela solubilização de resíduos industriais, inseticidas e redonticidas.

f) *Chumbo (Pb)*: provoca casos de saturnismo (intoxicação pelo chumbo — cólicas) pelo uso contínuo de águas com concentrações desde 0,14 mg/ℓ.

g) *Outros*: os detergentes comunicam gosto de mofo, dificultam a formação de flocos no tratamento e provocam formação de abundante espumas nas estações de tratamento. O risco potencial de poluição por herbicidas, inseticidas, pesticidas e fertilizantes reside no fato de que esses produtos químicos se acumulam nos organismos expostos.

2.4.5 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, segundo AZEVEDO³.

O aspecto higiênico é caracterizado pela remoção de bactérias, elementos venenosos ou nocivos, compostos orgânicos, protozoários e outros microorganismos; o estético refere-se à remoção ou correção da cor, turbidez, odor e sabor, enquanto que o econômico visa a redução da corrosividade,

dureza, cor, turbidez, substâncias coloidais ou outras características que possam influir na qualidade dos produtos que necessitam de água na sua fabricação.

O tratamento convencional consiste na captação, floculação, decantação (sulfato de alumínio), filtração, abrandamento ou correção (cal hidratada), desinfecção (cloro líquido) e profilaxia ou fluoretação (fluossilicato de sódio) (Figura 02).

Existem, entretanto, limites permissíveis de poluição para tratamento de águas superficiais (Quadro 09).

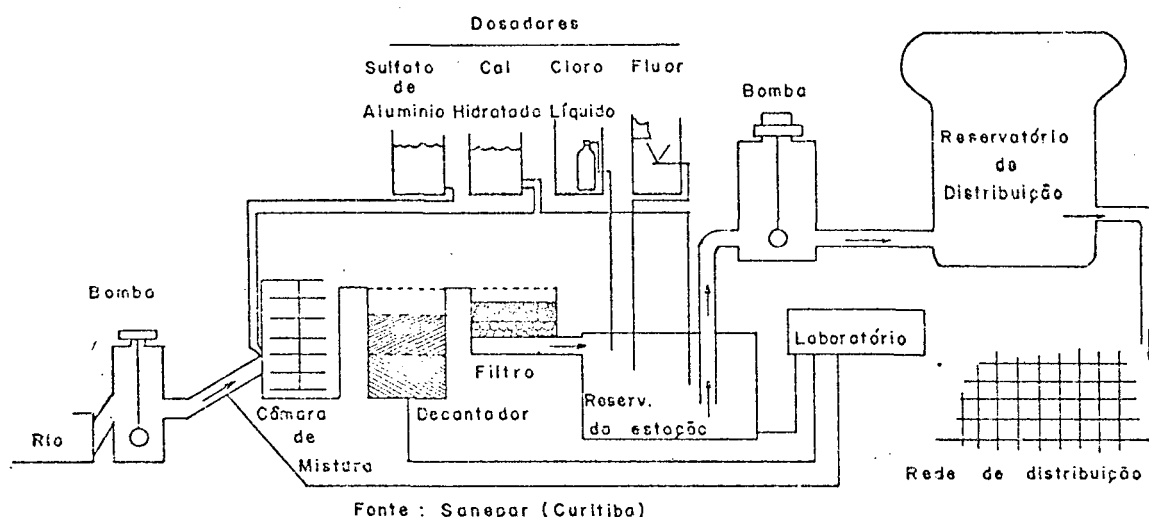


FIGURA 02. Tratamento convencional das águas

2.4.5.1 Sedimentação (sulfato de alumínio - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)

A sedimentação é o processo pelo qual se verifica a deposição de partículas granulares e material floculante. Nos processos de tratamento da água a floculação é induzida

QUADRO 09: Critérios e padrões para águas superficiais destinadas ao abastecimento público

		CONSTITUINTES OU CARACTERÍSTICAS	PERMISSÍVEL	CONVENIENTE
FÍSICAS		Cor (unidades de cor)	75	10
		Odor (qualitativo)	Descritivo	Virt.Ausente
		Temperatura*	Variável	Virt.Ausente
		Turbidez	Variável	Virt.Ausente
MICROBIO-		Coliformes totais** (NMP/100 ml)	10.000	100
LÓGICAS		Coliformes fecais** (NMP/100 ml)	2.000	20
		Alcalinidade (mg/l)	Descritivo	Traços
S		Amônia (mg/l)	0,5 (como N)	0,01
U		Arsênico* (mg/l)	0,05	Ausente
B		Bário* (mg/l)	1,0	Variável
S		Boro* (mg/l)	1,0	Variável
T		Cadmio* (mg/l)	0,01	Variável
Â		Cloreto* (mg/l)	250	25
N		Cromo hexavalente* (mg/l)	0,05	Ausente
C		Cobre* (mg/l)	1,0	Virt.Ausente
I		Oxigênio dissolvido (mg/l)	4 (média mensal)	Próxima saturação
A				
S		Fluoreto* (mg/l)	Traços	Descritivo
		Dureza* (mg/l)	Variável	Variável
I		Ferro (filtrável) (mg/l)	0,3	Virt.Ausente
N		Chumbo (mg/l)	0,05	Ausente
O		Manganês (filtrável)* (mg/l)	0,05	Variável
R		Nitratos + Nitritos* Img/l)	10 (como N)	Virt.Ausente
G		pH (faixa)	6,0 - 8,5	Descritivo
Â		Fósforo* (mg/l)	Descritivo	Variável
N		Selênio* (mg/l)	0,01	Ausente
I		Prata* (mg/l)	0,05	Brando
C		Sulfato* (mg/l)	250	50
A		Sólidos totais* (filtrável)	500	200
S		Íons de urânio* (mg/l)	5,0	Ausente
		Zinco* (mg/l)	5,0	Virt.Ausente
S	O	Cianeto* (mg/l)	0,20	Ausente
U	R	Óleos e graxas*	Virtual	Ausente
B	G		Ausente	
S	Â			
T	N	I Aldrin*	0,017	Ausente
Â	I	N Clordano*	0,003	Ausente
N	C	S DDT*	0,042	Ausente
C	A	E Dieldrin*	0,017	Ausente
I	S	T		
A		I Endrin*	0,001	Ausente
S		C Heptacloro*	0,018	Ausente
		I Lindano*	0,056	Ausente
		D		
		A		
		S Organofosfatos + carbonatos	0,1	Ausente
RADIOATI-		Radio 226*	3	1
VIDADE		Estrôncio 90*	10	2

FONTE: BRANCO et al.¹⁰ (Water Quality Critéria, 1968).
* O tratamento convencional tem pequeno efeito sobre esses constituintes.
** São médias aritméticas de 5 amostras mensais.

pela adição de coagulante (AZEVEDO³)

Este autor afirma que pela "coagulação as impurezas que se encontram em suspensões finas (turbidez, bactérias, plânctons), em estado ou em solução são transformadas em partículas removíveis por sedimentação e filtração".

Os coagulantes (sulfato de alumínio) reagem com álcalis (alcalinidade natural ou cal hidratada), produzindo precipitações flocculantes (hidróxido de alumínio). A superfície dos flocos é grande, permitindo a absorção de materiais dissolvidos e colóides, envolvendo as partículas em suspensão (AZEVEDO³)

A adição de coagulante em quantidades maiores do que o mínimo determinado acelera a floculação e aumenta a eficácia bacteriológica (AWWA¹).

AWWA¹ e AZEVEDO³ dizem que a quantidade de coagulante e álcalis que devem ser aplicados no tratamento das águas somente pode ser determinada experimentalmente, isto porque há interferências e reações secundárias que dependem do estado natural das águas.

2.4.5.2 Filtração

A finalidade da filtração é remover a matéria em suspensão na água, através de elementos porosos, alterando as características da água, inclusive química, reduzindo substancialmente o número de microorganismos presentes.

O pré-tratamento, incluindo a coagulação com sulfato de alumínio, a mistura, floculação e decantação, reduz a matéria em suspensão que vai para os filtros e muda o mate-

rial fino para uma forma que é removida mais facilmente pelos filtros (AWWA¹).

2.4.5.3 Abrandamento [cal hidratada - Ca(OH)_2]

De acordo com AWWA¹ e AZEVEDO³, o processo de abrandamento das águas (adição de cal hidratada) tem a finalidade de remover a acidez das águas, devido à adição do coagulante, elevando o pH para aproximadamente 8,5, evitando assim a existência de gás carbônico livre (corrosivo e tóxico) e as incrustações nas canalizações (alcalinidade cáustica) pelo equilíbrio proporcionado na existência de carbonato, bicarbonato, gás carbônico.

2.4.5.4 Desinfecção [cloro líquido - Cl_2]

A finalidade da adição do cloro líquido é destruir bactérias entericas vegetativas (p.ex. causadoras da febre tifóide), bactérias que formam poros (gênero *Anthrax*), protozoários (p.ex. *E. histolytica*), vermes (esquistossoma), vírus (hepatite infecciosa) e algas que provocam gosto-odor-sabor às águas (AWWA¹ e AZEVEDO³).

O cloro líquido dissolvido na água provoca uma reação reversível de formação de ácido hipocloroso e ácido clorídrico. O ácido hipocloroso dissocia-se em íons hidrogênio (que juntamente com a oxidrila tem efeito destrutivo) e íons hipoclorito (AWWA¹).

Esse autor afirma que se usa ter 1,5 ppm de cloro residual combinado em águas cloradas, isto porque a quase totalidade de bactérias são exterminadas a uma dosagem que proporcione cloro residual combinado de 1,5 ppm a um pH de aproximadamente 8,5, processo esse conhecido como método de cloração residual combinado.

2.4.5.5 Profilaxia [fluossilicato de sódio- Na_2SiF_6]

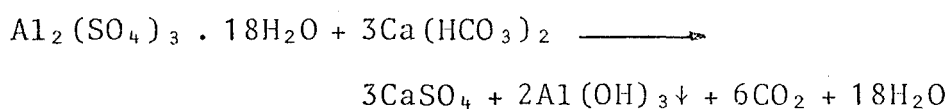
"A aplicação de flúor nas águas de abastecimento tem a função de evitar o ocorrência de cáries ou má-formação dos dentes e ossos na população abastecida com água tratada" BITTENCOURT⁸).

A fluorose dentária (coloração amarelada ou branca opaca dos dentes) consiste na alteração da composição óssea [$(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)_n \cdot \text{CaCO}_3$, segundo AZEVEDO³] normal dos indivíduos no período de formação (até 14 anos principalmente segundo PUPPI⁴⁹), pela modificação no metabolismo do cálcio e fósforo.

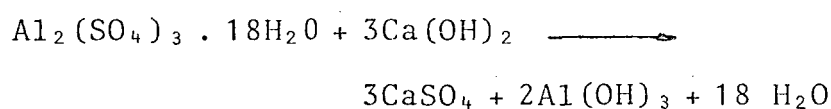
AWWA¹, AZEVEDO³ e BITTENCOURT⁸ escrevem que abaixo de 0,6 ppm de flúor nas águas ocorrem cáries; acima de 1,5 ppm, fluorose e, segundo o último autor, acima de 8 ppm ocorrem alterações ósseas.

2.4.5.6 Reações químicas ocorridas

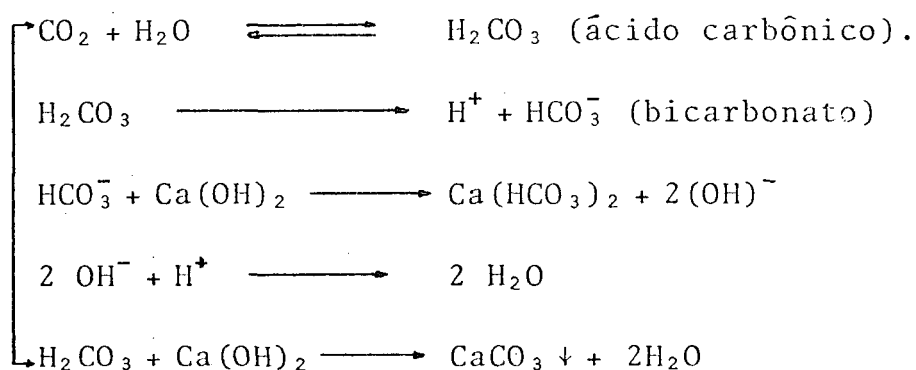
A adição do sulfato de alumínio na água reage com a alcalinidade natural (bicarbonato) produzindo dureza permanente, hidróxido de alumínio, gás carbônico e água, conforme a equação a seguir:

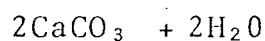
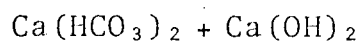
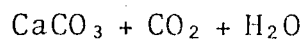
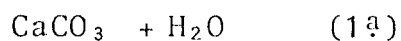
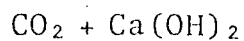
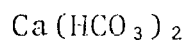
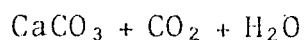


Quanto a alcalinidade das águas não é suficiente para formar precipitado, adiciona-se cal hidratada no momento da adição do sulfato, reação essa que não forma gás carbônico, conforme a equação:

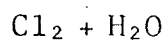


O gás carbônico livre na água produzindo acidez e toxicidade é removido pela cal hidratada (equilíbrio carbonato - bicarbonato - gás carbônico).





Com adição de cloro líquido (Cl_2), as reações ocorridas são as seguintes:

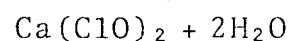
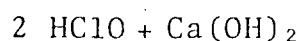
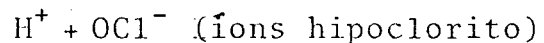
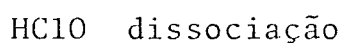


+

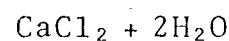
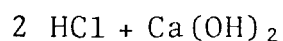


Ac. hipocloroso

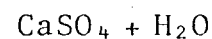
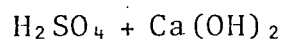
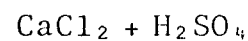
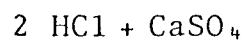
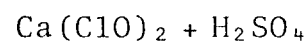
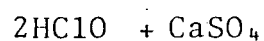
Ac. clorídrico



Hipoclorito de cálcio



O cloro, além dessas reações de desinfecção, reage com a alcalinidade e dureza permanente das águas (formando ácido sulfúrico, que é transformado novamente em dureza pela reação com a cal hidratada), pelas seguintes reações.



3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área em que se estudará a inferência da proteção florestal na captação das águas para abastecimento é de aproximadamente 66.598ha e está localizada no nordeste-leste de Curitiba, nas nascentes do rio Iguaçu (Figuras 3 e 4).

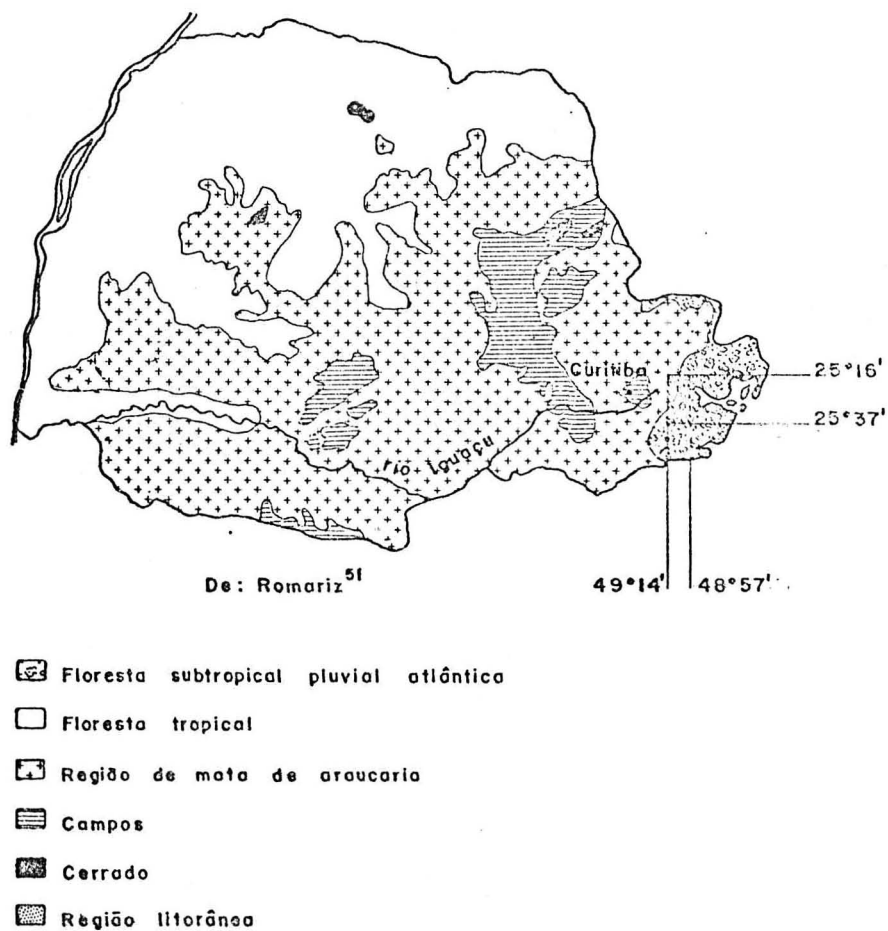


FIGURA 03. Vegetação primitiva do Paraná

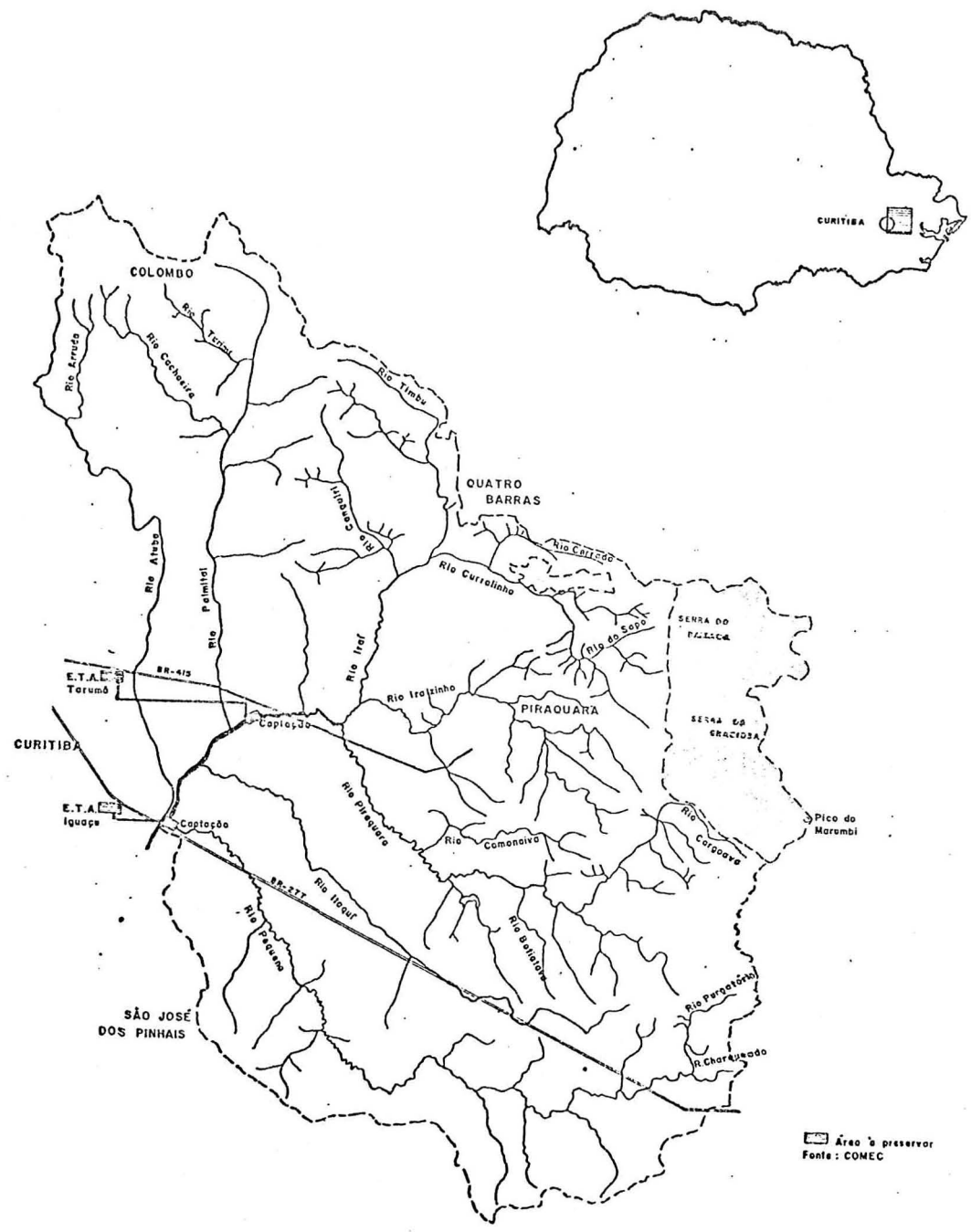


FIGURA 04: Localização da Área de estudo.

Esta área corresponde às bacias hidrográficas dos rios formadores e de afluentes da Serra do Mar, do rio Iguaçu.

Está compreendida entre as longitudes $49^{\circ}14'$ e $48^{\circ}57'$ e latitudes $25^{\circ}16'$ e $25^{\circ}37'$, situada em sua maior parte no primeiro planalto paranaense (Planalto de Curitiba).

Ao norte, tem como limite a cidade de Colombo, seguindo para leste, conforme as nascentes dos rios Bacaetava (formador do rio Assungui), Palmeirinha, Florestal e Capivari-Mirim, afluentes da margem direita do rio Capivari (relevo da série Assungui).

O limite leste é formado pelos maciços da Serra da Graciosa e Serra do Marumbi, descendo em sentido sul até a depressão dos rios São João e Arraial, ocorrendo, nessa região, os nascentes do rio Pequeno, cuja bacia constitui o limite sul-oeste da área. O limite leste extremo é fornecido pelo pico do Marumbi (1.547 m). A oeste, em sentido norte o limite é o canal do rio Atuba (fz-nascente), o qual, devido sua alta poluição, é desviado do reservatório de captação (E.T.A. Iguaçu).

Apresenta em seu espaço físico os centros urbanos de Colombo, Quatro Barras, Piraquara e região Nordeste de Curitiba (Figura 4).

As águas para abastecimento da região metropolitana de Curitiba, que inclui também São José dos Pinhais, Piraquara, Quatro Barras e Colombo, provêm de duas Estações de Tratamento de Água.

A E.T.A. Tarumã (entrou em funcionamento em 1947) está localizada no km 1 da BR-415 Curitiba-Piraquara. Inicialmente a captação das águas se fazia no rio Piraquara, sendo

posteriormente (a partir de 1965) feita no rio Iraí, após a confluência dos rios Iraizinho e Piraquara (Figura 4).

A E.T.A. Iguaçu (entrou em funcionamento em 1969) localiza-se às margens da BR 277 Curitiba-Paranaguá (km 6). A captação das águas superficiais é feita no rio Iguaçu (km 8 da BR 277), após a confluência do Rio Pequeno (Figura 4).

3.1.1 Geomorfologia

A Serra do Mar é originária da era pré-cambriano arqueozóico (aproximadamente 600 milhões de anos). É um conjunto cristalino constituído no Paraná de granito porfiróide, com coloração variando de branco-cinza a vermelho-intenso (OLIVEIRA⁴⁷).

É uma enorme escarpa que separa o primeiro planalto (Planalto de Curitiba) da região litorânea, apresentando, segundo MONTEIRO⁴⁴, altitudes superiores a 1 500 m, atingindo em certos pontos quase 2 000 m (Pico do Paraná 1 965 m), decaindo seu relevo rapidamente para o interior.

A região da Serra do Mar, que divisa a área, é constituída pelos maciços da Serra da Graciosa (Pico da Farinha, com 1 450 m), Serra da Boa Vista (Morro do Cadeado, 1 001 m) e Serra do Marumbi (Pico Marumbi 1 547 m) (MAACK³⁹).

Na extremidade Sul da Serra do Marumbi há uma grande depressão através do planalto dissecado, formado pelos vales dos rios São João e Arraial.

A região do primeiro planalto é formada pelo embasamento cristalino, apresentando superfície mais ou menos ondu-

lada e mantendo-se em altitudes que variam entre 850-950 m, cuja largura varia de 70-80 km, terminando a oeste no contato com as primeiras camadas de sedimentos paleozóicos (340 milhões de anos) na escarpa voltada para leste, que se eleva a 250 m sobre o nível do primeiro planalto, conhecido como Serrinha (São Luiz) MONTEIRO⁴⁴.

A parte Norte do primeiro planalto é profundamente entalhada pelos tributários do rio Ribeira, sendo transformada em uma paisagem montanhosa recente. Algumas elevações com rochas mais resistentes sobressaem do nível geral do planalto, formando relevo de estratos e rochas dobradas da série Assungui (pré-cambriano superior - proterozóica), como a Serra Ouro Fino, com 1 025 a 1 150 m, próxima a Colombo (MONTEIRO⁴⁴).

A pequena bacia sedimentar em que se localiza Curitiba foi classificada por CARVALHO* (OLIVEIRA⁴⁷) como da idade quaternária (aproximadamente 1 milhão de anos): aluviões antigos do rio Iguaçu e seus afluentes de cabeceira; depósitos de argilas finas e plásticas, areia grossa por baixo e cascalho grosso nas bordas da bacia, revelando uma classificação natural pela água, de acordo com as densidades e dimensões do material carregado (MONTEIRO⁴⁴).

"O material de formação dessa bacia acumulou-se, sobretudo, no sopé das encostas por efeito de aguaceiros. A sucessão dos cascalhos para argilas evidencia antigo regime

* CARVALHO, P.F. Geologia do Município de Curitiba. Bol. 82. Serviço Geológico do Brasil, 1936, p 2.

de chuvas torrenciais que abrandou com o tempo" (OLIVEIRA⁴⁷). A espessura desses depósitos, segundo esse autor, varia de 1 a 3 metros.

3.1.2 Hidrografia

A hidrografia da área é definida pelas nascentes do rio Iguazu (Figura 4).

O rio Irai, formado pela junção das águas do rio Curralinho e rio Timbu, é o tronco formador do rio Iguazu, que tem como afluentes da margem esquerda os rio Pequeno, Itaqui, Piraquara e rio Iraizinho. Como afluente da margem direita aparecem Canguiri e Palmital.

3.1.3 Clima

O clima, segundo KÖPPEN (FIAP)¹⁶, é classificado como Cfb - Subtropical Úmido Mesotérmico, verões frescos, geadas severas, demasiado freqüentes, sem estação seca.

As precipitações médias anuais são de 1 400-1 500 mm ocorrendo no mês de janeiro as maiores precipitações (175-200 mm). A umidade relativa média anual é de 80 a 85% (FIAP¹⁶).

3.1.4 Vegetação

A vegetação original componente da paisagem da área em estudo é apresentada como região da floresta subtropical pluvial (Serra do Mar), região de matas de araucária (Primeiro Planalto) e região de campos gerais (Curitiba) (Figura 3).

A floresta subtropical pluvial atlântica, que se apresenta de importância fundamental na preservação dos mananciais da Serra, reveste toda a Serra do Mar (Figuras 3 e 5).

As matas das encostas da Serra do Mar possuem árvores de 25 até 30 m de altura. As partes inferiores das encostas são formadas por *Sloanea guianensis* (laranjeira do mato) associada a *Euterpe edulis* (palmito). À medida em que se sobe a encosta, a *Sloanea guianensis* é substituída por *Hyronima alchorneoides* (licurana). Nas partes inferiores das encostas encontra-se *Schizolobium parahybum* (guapuruvu), *Cryptocarya moschata* (canela-fogo), *Calyptranthes polyantha* (guaramirim-ferro), *C. strigipes* (guaramirim-chorão) e *Crysophyllum viride* (caxeta amarela) KLEIN*, KLEIN**, (KLEIN³³).

Grande parte do estrato superior da mata de revestimento é dominada por *Ocotea catharinensis* (canela-preta). As árvores mais freqüentes são: *Sloanea guianensis*, *Cryptocarya aschersoniana* (canela-fogo), *Guapira opposita* (ma-

*KLEIN, R.M. Aspectos fitofisionômicos da mata pluvial da costa atlântica do Sul do Brasil. Bol. Soc. Arg. de Botânica, IX, 1961a. p. 121-139.

**KLEIN, R.M. Southern Brazilian hpytogeographic features and the floristic distribution. In. Bigarella, J.J. & BECKER, R.D. Internacional Symposium on the Quaternary. Bol. Par. Geoc. 33 : 67-68, 1965.

ria-mole), *Aspidosperma olivaceum* (peroba-vermelha) e *Copaífera trapeziifolia* (pau-óleo) (KLEIN³³).

No estrato médio da mata predomina *Euterpe edulis*, bem como *Rheedia gardneriana* (bacopari), *Calyptrautes eugeniopoides* (guaramirim-branco), *Ocotea teliandra* (canela-limão), *Sorocia bonplandii* (corapicica-de-folha-miúda) *Actinostemnon concolor* (laranjeira-da-mata) e *Pera glabrata* (coração-de-bu-gre) (KLEIN³³).

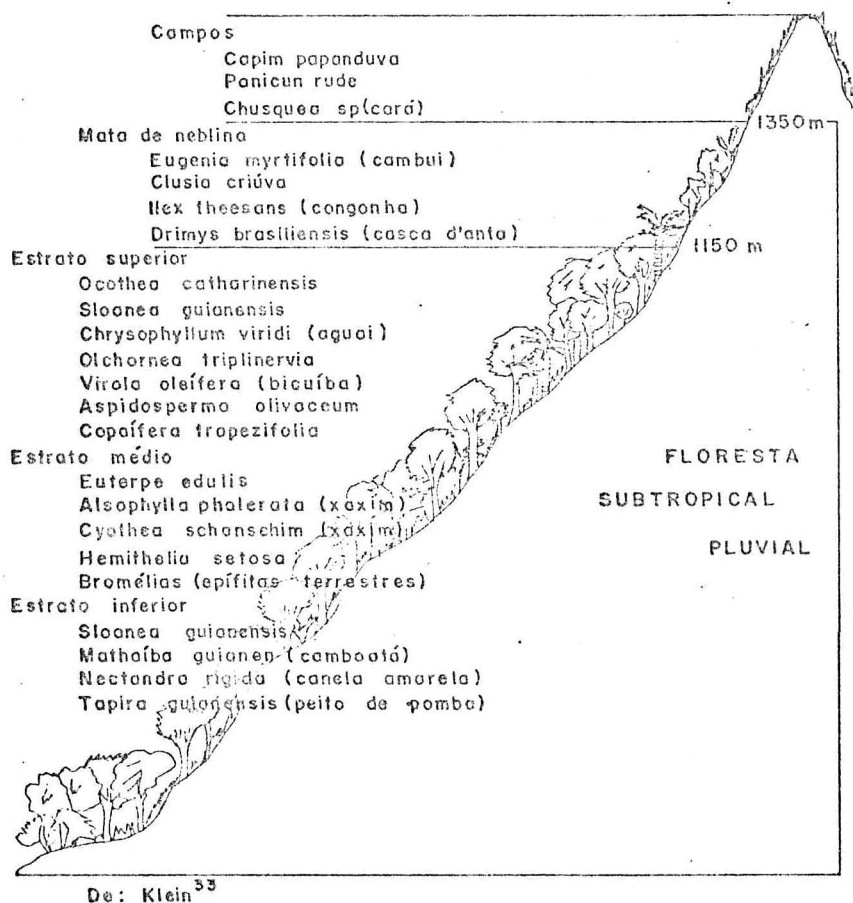


FIGURA 05. Vegetação da Serra do Mar

A vegetação abaixo das árvores é composta principalmente das seguintes espécies: *Rudgea lasminoides* (pimenteira-de-folhas-largas), *Mollinedia* spp., *Geonoma gamiova* (gramiova falheira) e *Psychotria* (grandiúva-d'anta) (KLEIN³³).

Segundo KLEIN³³, três zonas de vegetação podem ser reconhecidas nas vertentes dos mananciais da Serra do Mar:

- 1) sopé e parte inferior das encostas;
- 2) parte média das encostas e
- 3) parte superior ou mais íngreme.

Nos sopés e parte inferior das encostas predominam a *Sloanea guianensis*, *Euterpe edulis*, *Aspidosperma camporuna* (piquiã) e *Aspidosperma ramiflorum* (peroba-amarela). *Pterocarpus violacens* (salgueiro) e *Inga sessilis* (ingã-macaco) estão em progressiva substituição. Aparece também a *Olchornea triplinervia* (tapia-guaçu) mais abundante e de todas as idades (KLEIN³³).

Nas partes médias predominam *Ocotea catharinensis*, *Sloanea guianensis*, *Copaifera trapezifolia* e *Aspidosperma olivaceum*. A *Olchornea triplinervia* aparece mais frequentemente sob a forma adulta ou velha, sem regeneração, tendendo a desaparecer (KLEIN³³).

Nas vertentes superiores o solo é menos espesso e a drenagem é rápida. Predominam árvores seletivas xerofíticas como *Tapira guianensis* (cupiúva), *Ocotea acciphylla* (canela-amarela) e *Vantanea compacta* (guaraparim). A *Olchornea triplinervia* aparece sem regeneração (KLEIN³³).

A mata subtropical pluvial em altitudes acima de 1 500m é formada por uma "mata de neblina" constituída por arbustos raquíticos, coberto por epífitas, pequenas bromeliáceas, mus-

gos e orquídeas. Esta "mata de neblina" desenvolve-se até uma altitude aproximada de 1 350 m, onde é substituída por uma formação de campos limpos com arbustos isolados e compostas ericáceas e melastomáceas. O campo nestas altitudes é composto de ciperáceas, gramíneas e bambusáceas (KLEIN³³).

A mata de pinheirais de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze era em tempos passados a vegetação de recobrimento predominante no primeiro planalto (Figura 3).

A região das araucárias inicia a oeste da Serra do Mar. Em mata original aparecem associadas: *Ocotea porosa* (imbuia), *Ilex paraguensis* (erva-mate); variedades de pteridófitas, entre as quais a *Dicksonia sellowiana* (xaxim); *Humitelia setosa* (samambaia-açu) e raramente *Cynthea schanschin* (xaxim) (MAACK³⁹).

Ocorrem também as canelas da família das Lauraceae: *Nectandra* spp., *Ocotea pretiosa* (sassafráz); Leguminosae: *Dalbergia brasiliensis* (jacandã), *Machaerium* sp. (caviúna) e *Acacia polyggylla* (manjoleiro); Meliáceae: *Cedrella fissilis* (cedro rosa) e *Cedrella* sp (cedro-bravo). Myrtaceae: *Britoa sellowiana* (guabiroba-da-serra), *Campomanesia xanthocarpa* (guabiroba-legítima); entre as coníferas aparece o *Podocarpus lambertii* (pinheiro-bravo) (MAACK³⁹).

Segundo HERTEL* (MAACK³⁹), aparece ainda, associado à mata de araucária do primeiro planalto a oeste da Serra do Mar, o *Vitex montevidensis* (tarumã), *Schinus terebenthifolius* (arroeira-vermelha), *Cassia multífuga* (amarelinho), entre outras espécies características.

A mata de araucária apresenta, de um modo geral, uma série de Bignoniaceae (p. ex., *Pithecoctenium dolichooides*,

pente-de-macaco), Rosaceae (p. ex., *Rubus rositolius*, amora-leguminosa) e grande riqueza de epífitas (MAACK³⁹).

Os Campos Gerais compõem o terceiro tipo de vegetação de recobrimento que aparece na área de estudo (região de Curitiba) (Figura 3).

Segundo ROMARIZ⁵¹,

os campos gerais são constituídos de uma cobertura de gramíneas cuja altura varia de 10 a 15 cm aproximadamente, revestindo o solo, podendo apresentar-se contínua ou deixar a descoberto alguns pontos do solo quando as gramíneas se agrupam em forma de tufo. Esparsamente podem aparecer pequenos subarbustos e muito raramente arbustos".

As espécies de gramíneas que aparecem, segundo ROMARIZ⁵¹, são: *Andropogon*, *Aristida*, *Paspalum*, *Panicum*, *Bragrostis*. Em solos mais férteis *Andropogon tener* (capim-mimoso) e *Aristida pallens* (barba-de-bode).

Nas margens dos rios ou nas pequenas depressões aparecem os capões e matas de galerias associadas à araucária (ROMARIZ⁵¹).

A colonização das terras e o aproveitamento da área têm descaracterizado a região de transição da mata e campo, assim como toda vegetação existente originalmente no primeiro planalto.

3.2 COLETA DE DADOS

A COMEC - Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba elaborou os mapas-base de localização da área objeto de

estudo. Os estudos se fizeram utilizando-se mapas em escala de 1:50.000 e 1:100 000.

Os dados de turbidez das águas e consumo de produtos químicos do período foram retirados dos boletins quinzenais das Estações de Tratamento de Água de Curitiba, fornecidos pela SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná; abrangendo o período de 1965-1980 para a E.T.A. Tarumã e 1970-1980 para a E.T.A. Iguaçu (Quadros 10 e 11 e Figuras (6 a 9).

A SUREHMA - Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio-Ambiente forneceu os dados de pluviosidade da área — estação I-36.02. Fazendinha — Piraquara (Quadro 12, Figura 10).

Os preços dos produtos químicos utilizados na avaliação dos benefícios também foram obtidos na SANEPAR. Referem-se ao mês de junho de 1981:

Sulfato de Alumínio	CR\$ 14,10/kg
Cal Hidratada	CR\$ 10,79/kg
Cloro Líquido	CR\$ 26,01/kg

3.2.1 Determinação da turbidez

A turbidez foi determinada através do TURBIDIMETER NDU MODEL Z100A da HACH - Hach Chemical Company - a cada hora, sendo suas médias, máximas e mínimas transportadas para os boletins quinzenais ao final de cada dia.

Alguns boletins quinzenais apresentaram as médias diárias, outros as máximas e mínimas absolutas do dia e outros ainda, os três tipos de turbidez.

QUADRO 10: Turbidez média anual do período

E.T.A. TARUMÃ (Figura 06)						
ANO	MENOR MÉDIA		MÉDIA	MAIOR	MÉDIA	OBS.
	ppm	DIA	ppm	ppm	DIA	
1965	0,90	01/07	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 (Figura 07)						
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

QUADRO 11: Turbidez média mensal dos anos extremos*

E.T.A. TARUMÁ (Figura 08)						
MÊS	1965			1980		
	MENOR M	MÉDIA	MAIOR M	MENOR M	MÉDIA	MAIOR M
JANEIRO	3,05	5,05	8,20	22,00	32,29	54,00
FEVEREIRO	3,10	4,93	9,00	22,00	30,69	47,00
MARÇO	2,05	4,75	8,00	20,00	32,94	112,00
ABRIL	2,05	4,26	8,00	18,00	22,80	44,00
MAIO	2,10	4,21	8,00	15,00	20,87	32,00
JUNHO	1,25	3,69	6,85	13,00	20,67	75,00
JULHO	0,90	4,72	9,50	18,00	28,58	54,00
AGOSTO	1,15	4,37	7,85	14,00	26,71	53,00
SETEMBRO	2,10	4,65	10,30	18,00	26,97	41,00
OUTUBRO	2,05	5,21	12,50	17,00	28,94	63,00
NOVEMBRO	3,40	5,14	12,00	22,00	31,17	53,00
DEZEMBRO	2,00	8,41	18,00	22,00	39,45	106,00
MÉDIA	2,10	4,95	9,85	18,42	28,51	61,17

E.T.A. IGUAÇU (Figura 09)						
	1971			1980		
	MENOR M	MÉDIA	MAIOR M	MENOR M	MÉDIA	MAIOR M
JANEIRO	9,50	18,27	50,30	18,50	33,31	98,60
FEVEREIRO	14,00	22,07	55,00	20,30	35,68	85,10
MARÇO	12,00	25,02	55,00	17,70	36,54	78,30
ABRIL	12,50	18,07	32,00	14,10	21,31	70,30
MAIO	8,50	16,95	52,50	13,80	16,14	23,50
JUNHO	9,50	16,55	49,00	12,00	21,67	123,00
JULHO	8,00	14,91	50,25	20,50	36,91	145,00
AGOSTO	9,50	18,41	61,00	13,40	31,20	100,80
SETEMBRO	9,50	16,05	49,00	19,60	33,04	86,50
OUTUBRO	11,50	17,74	38,00	17,60	32,52	99,90
NOVEMBRO	10,50	18,92	50,25	17,00	25,74	79,10
DEZEMBRO	14,00	25,24	39,00	22,80	50,62	139,50
MÉDIA	10,75	19,02	48,44	17,28	31,22	94,13

FONTE: SANEPAR

* Média mensal das médias diárias.

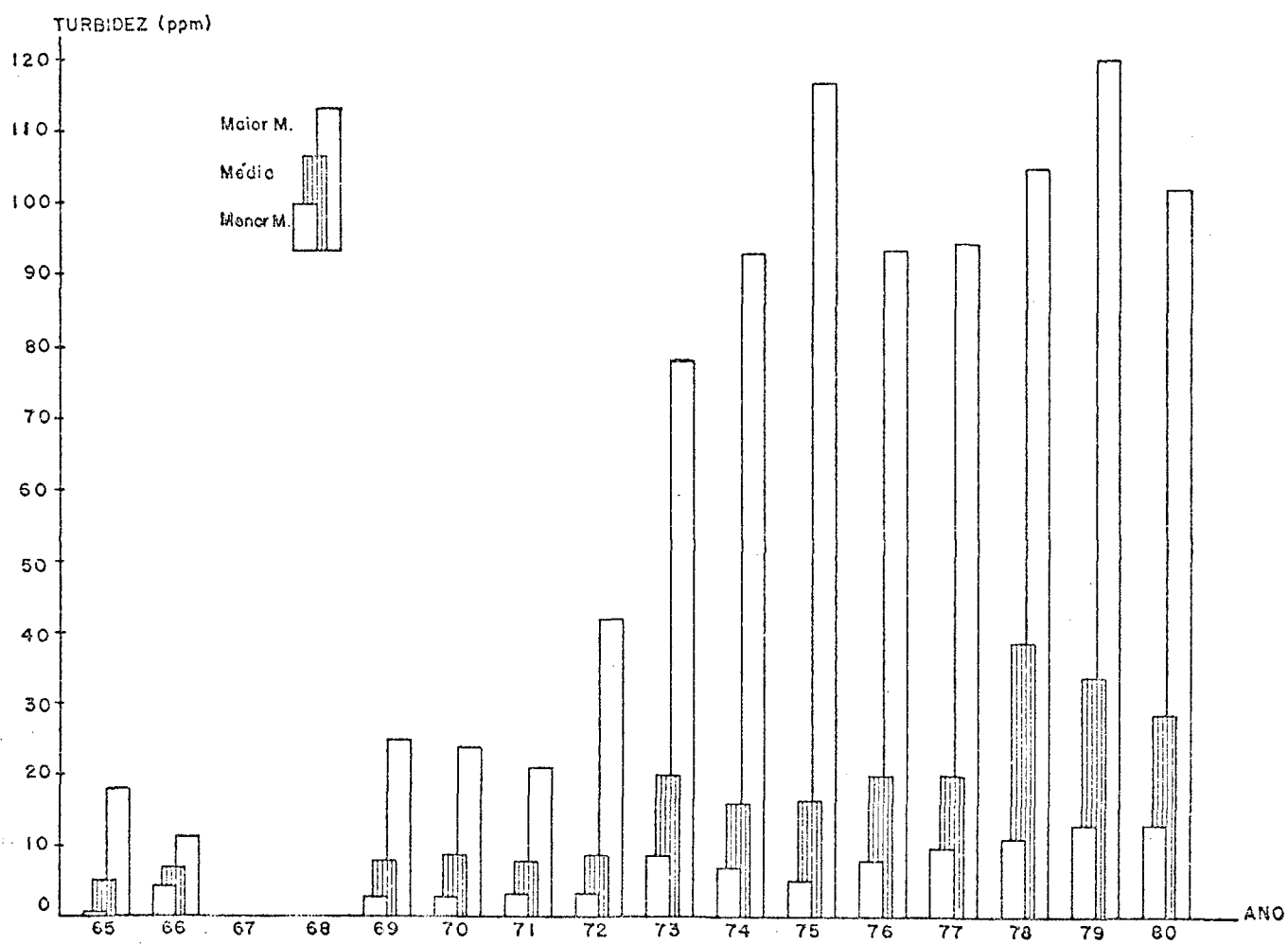


FIGURA 06: Turbidez média anual - E.T.A. Tarumã.

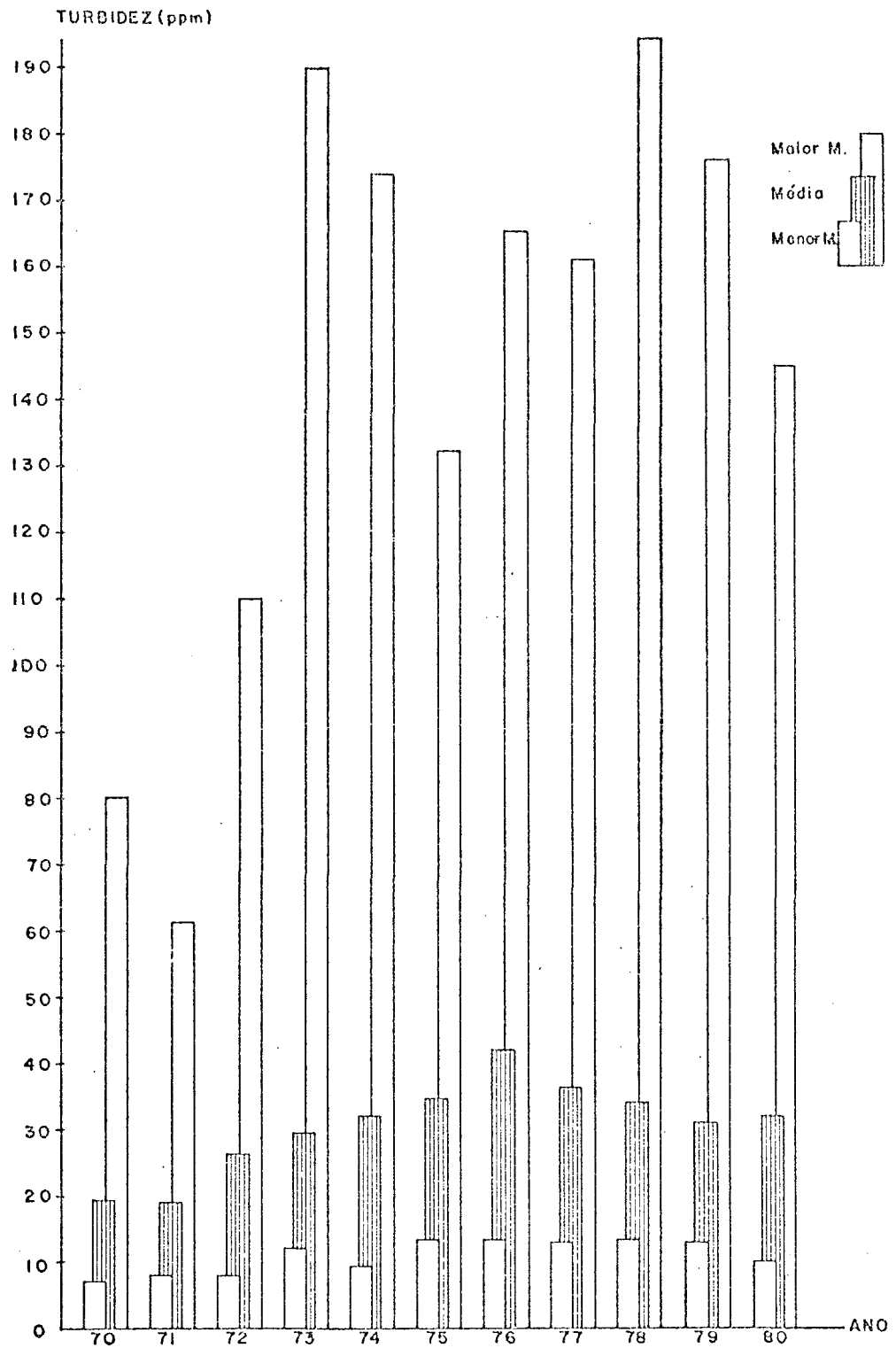


FIGURA 07: Turbidez média anual - E.T.A. Iguaçu.

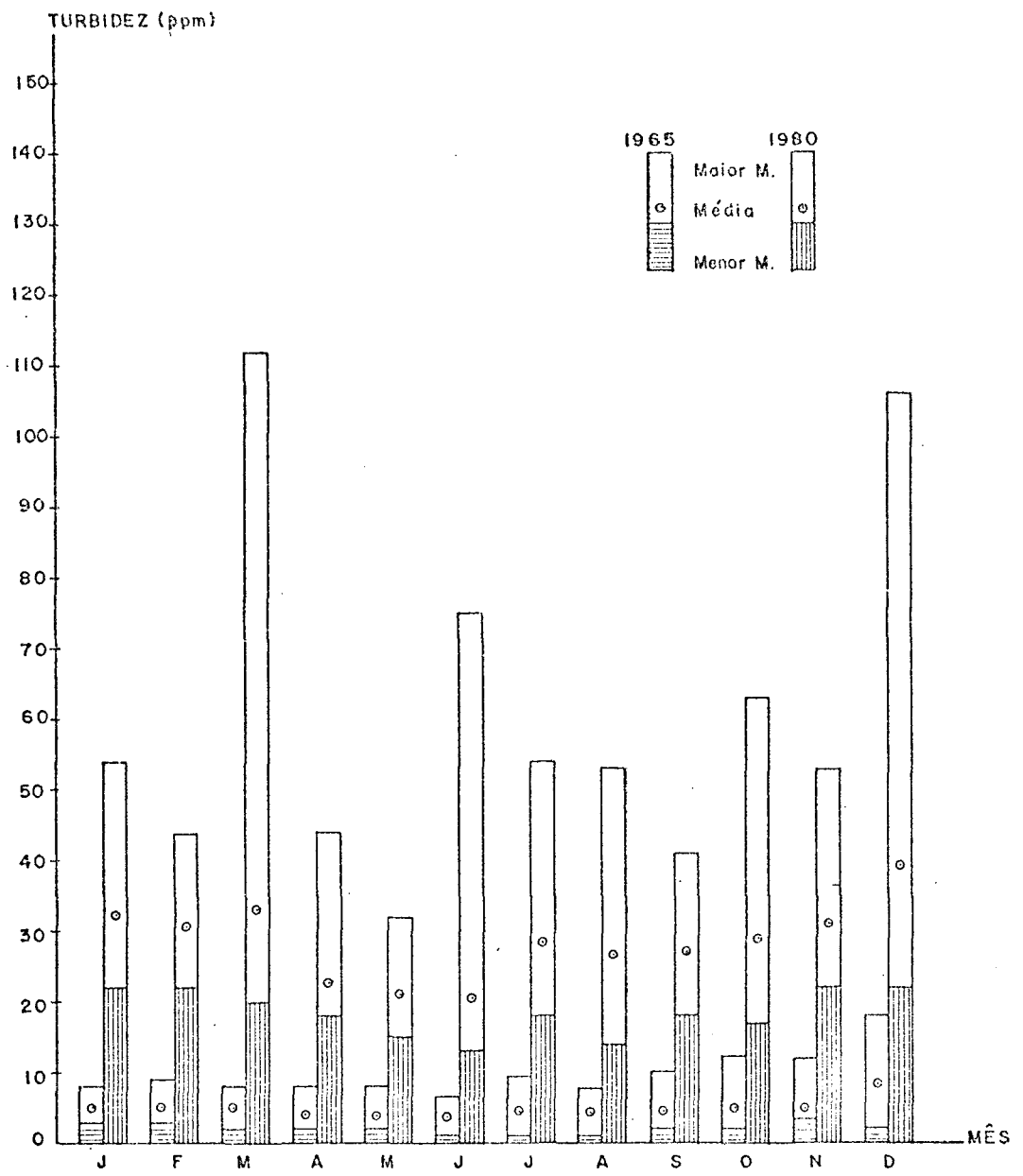


FIGURA 08: Turbidez média mensal dos anos extremos E.T.A. Tarumã.

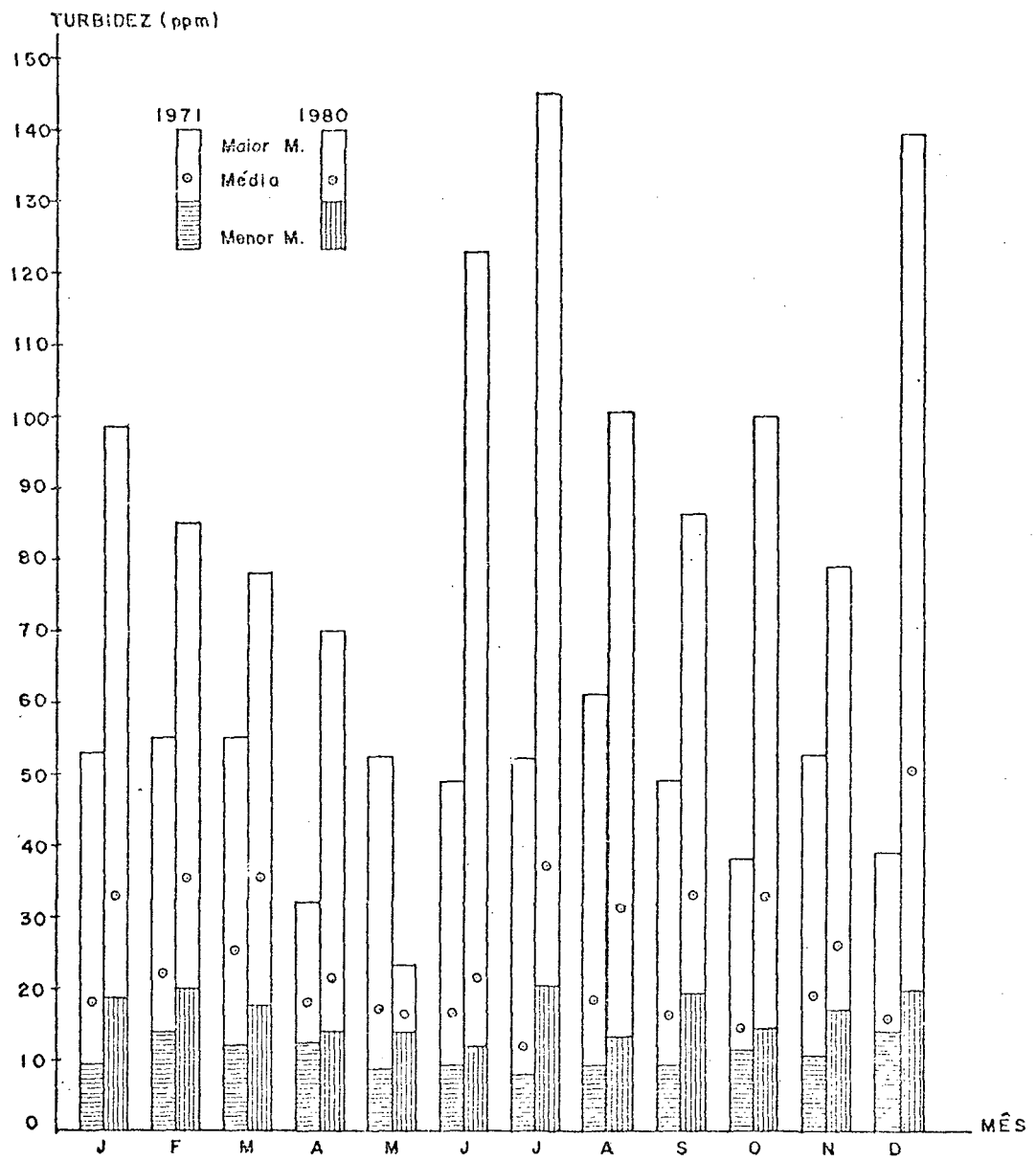


FIGURA 09: Turbidez média mensal dos anos extremos E.T.A. Iguaçu.

QUADRO 12: Pluviosidade da estação 1-36-02
(Fazendinha - Piraquara)

ANO	Precipitação (mm)												TOTAL
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1965	222,3	149,5	111,8	164,6	128,4	32,2	182,0	90,3	67,1	130,4	166,6	269,2	1.664,4
1980	206,0	160,8	116,8	100,0	19,6	75,6	181,6	107,8	185,6	183,2	44,6	279,6	1.661,2
1971	269,9	109,2	162,8	99,6	183,9	84,9	99,4	38,8	94,9	51,4	52,6	94,3	1.368,7

FONTE: SURHEMA

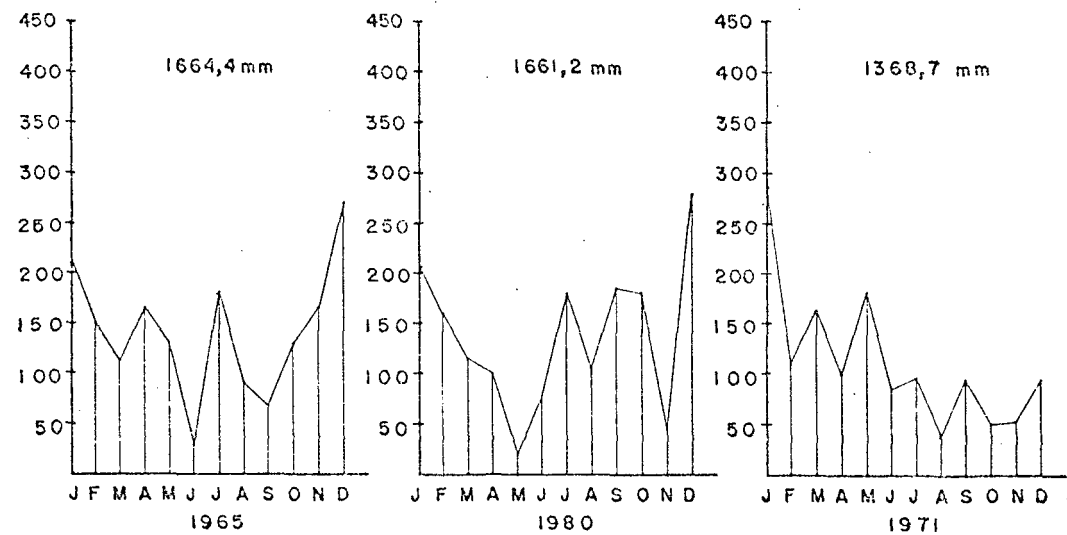


FIGURA 10. Precipitação - anos extremos - Est. 1-36-02 (Piraquara)

A turbidez média anual (Quadro 10) foi calculada como média aritmética das médias diárias contidas nos boletins. Ou, então, através da média aritmética anual das médias diárias, entre máxima e mínima turbidez do dia. Neste caso, usou-se descontar 9% da média anual obtida através das máximas e mínimas diárias. Tal percentagem foi obtida comparando as duas médias naqueles boletins que apresentaram os três tipos de turbidez (1979-1980 da E.T.A. Tarumã e 1978-79-80 da E.T.A. Iguaçu).

As Figuras 6 (E.T.A. Tarumã) e 7 (E.T.A. Iguaçu) apresentaram graficamente a turbidez demonstrada no Quadro 10.

O Quadro 11 contém as médias mensais dos anos extremos do período de estudo. Essas médias foram obtidas das médias diárias observadas nos boletins. Usou-se o ano de 1971 como inicial do período para a E.T.A. Iguaçu, devido à não determinação da turbidez durante todo o ano de 1970.

A turbidez demonstrada no Quadro 11 está mais claramente apresentada nas Figuras 8 e 9.

3.2.2 Determinação da dosagem de produtos químicos (ppm)

O teste de floculação (JAR - teste COSSMAN) realizado nas E.T.As. tem como objetivo determinar a dosagem de sulfato de alumínio ideal de floculação.

Levando em consideração as condições de funcionamento da estação (vazão, velocidade de floculação e concentração dos produtos) e utilizando-se do Quadro 13 obtém-se a dosagem de melhor floculação (a água que apresenta a menor alumina residual (Al_2O_3), ou seja, 0.3 mg/l. é a melhor).

QUADRO 13: Teste de floculação - COSSMAN

TURBIDEZ	DOSAGEM DE SULFATO DE ALUMÍNIO (ppm ou mg/l)		
	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

QUADRO 14: Consumo de produtos químicos das E.T.As. de Curitiba - Período de 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	420.380.338,00	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

De posse do resultado aplica-se a equação:

$$\frac{\text{ml (teste x vazão por minuto)}}{(\%) \text{ concentração da solução a ser aplicado}} = \text{ml de solução a ser dosado por minuto}$$

Se a alcalinidade natural da água não é suficiente para a reação de floculação, então é necessário adicionar cal hidratada, onde 1 ppm de sulfato requer 0,45 de alcalinidade, expressa em carbonato de cálcio. A concentração de cal hidratada usada é 1 ml = 2,6 mg de de alcalinidade expressa em carbonato.

Depois de filtrada a água recebe a cal hidratada, objetivando-se a correção do pH. Essa adição é feita experimentalmente até que o pH da água tratada seja aproximadamente 8,5.

A água filtrada é adicionado ainda o cloro líquido e o flúor. A dosagem de cloro líquido está condicionada ao cloro residual de permanência nas águas. A dosagem, portanto, é experimentalmente feita.

A dosagem do flúor — fluossilicato de sódio (60% flúor e 40% silicato) — é constante, procurando-se deixar nas águas tratadas a dosagem certa ($\pm 1,3$ ppm). A dosagem de flúor não será objeto de estudo deste trabalho.

O Quadro 14 mostra o consumo de produtos químicos e suas respectivas dosagens, observado no período de 1965-1980 nas duas estações de tratamento.

3.3 PRINCÍPIO DE DEFINIÇÃO DOS CONSUMOS

MÁXIMO, MÍNIMO E MÉDIO

Considerando que no conjunto de todos os resultados de consumo levantados no período de estudo há um consumo máximo, mínimo e normal (médio), pode-se dizer que eles são mutuamente exclusivos (ocorrem separadamente, nunca juntos) e coletivamente exaustivos (todos podem ocorrer em um ano).

Assim posto o problema, pode-se aplicar a definição clássica de probabilidade dada por LAPLACE* que diz: se um experimento aleatório pode resultar em N resultados iguais e mutuamente exclusivos e se n destes tem um atributo A , então a probabilidade de ocorrência do atributo A é igual a:

$$P(A) = \frac{n}{N}$$

No caso deste trabalho:

N = Resultados possíveis de ocorrer = 3;

n = Consumo de produtos químicos = 1, isto é, o atributo A ou é máximo, ou é mínimo, ou é médio (média ponderada dos consumos).

Daí conclui-se que a probabilidade de ocorrência de qualquer um destes consumos em um ano qualquer do período é igual, ou seja, tanto pode ocorrer um consumo máximo, mínimo ou normal (médio):

$$P(A) = \frac{1}{3} \times 100 = 33\% \text{ de ocorrência cada um.}$$

*CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL, Apostilas da disciplina Biometria. Prof. Silvio Pélico Neto, 1979.

Esse princípio tem como objetivo definir que em um ano qualquer, podem ocorrer as condições mais adversas de funcionamento da estação de tratamento, decorrentes do agravamento das qualidades naturais (turbidez) das águas captadas, conjuntamente com as condições técnicas do processo de tratamento.

Como foi entendido, aceita-se que durante o período de estudo (1965-1980) sempre (todo ano) têm ocorrido essas condições adversas. Logo, considera-se que o consumo máximo observado é homogêneo para todos os anos. Isso caracteriza o consumo máximo que poderia ter ocorrido durante todo o período.

O menor consumo observado poderia, então, ter ocorrido em todos os anos do período. Define-se, portanto, o consumo mínimo durante 1965-1980.

O consumo médio (média ponderada) é definido pelos próprios consumos observados. Diz-se disso que o atributo A referente ao consumo médio ocorreu em todos os anos.

3.3.1 Parâmetro de definição do atributo A (consumo máximo, mínimo e médio) para sulfato de alumínio

Será adotada como parâmetro de comparação e definição do consumo máximo e mínimo a dosagem de sulfato — ppm ou mg/l — observada durante os anos de análise, isto porque, além de procurar-se trabalhar com consumos reais, os teores de turbidez não apresentam uma correta relação com a definição das dosagens através do teste de floculação.

Diferenças entre a dosagem teórica e a real observada, além de serem causa de se trabalhar com turbidez média, são ainda, na sua maior parte, função das condições de funcionamento técnico das estações de tratamento e que são analisadas a seguir:

1) *Vazão não uniforme de água tratada*: Da equação do teste de floculação deduz-se que a dosagem é diretamente proporcional à vazão e inversamente proporcional à concentração de solução de sulfato. A variação da vazão faz com que normalmente a estação de tratamento funcione com uma dosagem maior que a recomendada no teste de floculação.

2) *Concentração da solução de sulfato*: É usada nas estações de tratamento solução concentrada de 1% ou 10 mg/ml, isto é, 1 ml de solução contém 10 mg de sulfato de alumínio. A preparação não ótima da solução influi no consumo de sulfato.

3) *Problemas nos dosadores*: A dosagem é função da abertura dos dosadores e esses, por sua vez, sofrem cotidianamente problemas de entupimento devido ao período de funcionamento e também à má dissolução do sulfato.

4) *Problemas nos filtros e decantadores*: Em função do teor de turbidez, a lavagem dos filtros ou limpeza dos decantadores provoca variação na vazão, reduzindo-se o tempo de decantação ou aumentando-se a dosagem de sulfato.

5) *pH das águas in natura*: Uma coagulação perfeita (ponto isoelétrico) depende do pH e também da presença de íons negativos. O sulfato tende a trazer o pH para o meio ácido (zona de formação do floco 4,5-5,5). O pH e conteúdo de íons negativos (matéria orgânica) não é constante nas águas.

6) *Consumo*: A dosagem teórica foi determinada em função da média anual. Entretanto, pode ter ocorrido que a maior demanda de água (vazão maior) tenha ocorrido no dias em que a turbidez é mais alta.

7) *Antecedência do teste de dosagem*: O teste de melhor floculação é feito após a entrada da água in natura no processo de tratamento. O ajustamento do dosador far-se-á após um volume de água já estar em processo de tratamento.

Conseqüente de todos esses problemas abordados, a escolha como parâmetro de definição de máximo e mínimo consumo de sulfato a dosagem em ppm (mg/l) ocorrida procura deixar intrínsecos todos os problemas que ocorrem freqüentemente no dia a dia de funcionamento das estações de tratamento.

3.3.2 Parâmetro de definição do atributo A (consumo máximo, mínimo e médio) para cal hidratada

O consumo de cal hidratada é devido à:

1) *Dosagem de sulfato*: A alta turbidez leva a um maior consumo de sulfato, que produz uma maior acidez das águas em tratamento e conseqüentemente maior consumo de cal hidratada necessária à correção dessa acidez (equilíbrio CaCO_3 - $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ - CO_2). Além disso depende do CO_2 livre na água in natura.

2) *Alcalinidade natural*: Devido à alta dosagem de sulfato (turbidez elevada) há maior demanda necessária de alcalinidade natural exigida pelo sulfato para formação de flocos. Como as águas nesses casos geralmente não apresentam

alcalinidade suficiente, é então adicionada às águas in natura a quantidade complementar necessária à completa demanda química do sulfato.

3) *pH das águas in natura*: as águas apresentam pH variável (5,6 a 7,6 na E.T.A. Tarumã e 5,7 a 7,5 na E.T.A. Iguaçu) exigindo quantidades variáveis de cal hidratada.

4) *Concentração de solução de cal*: Analogamente ao problema abordado na obtenção da solução de sulfato, a solução de cal hidratada apresenta os mesmos problemas técnicos de preparação (as E.T.As. usam solução de cal hidratada 1 ml = 2,6 mg de alcalinidade).

Considerando as condições acima analisadas, adotar-se-á como determinante do consumo máximo e mínimo de cal hidratada a dosagem absoluta maior e menor verificada no período de estudo, isto é, a demanda máxima e mínima requerida pelas águas naturais.

3.3.3 Parâmetro de definição do atributo A (consumo máximo, mínimo e médio) para cloro líquido.

Existem duas formas de demanda de cloro nas águas:

1) *Demanda química*: O cloro reage com a alcalinidade das águas e dureza permanente (consequência da dosagem de sulfato).

2) *Demanda biológica*: O conteúdo de microorganismos nas águas absorve determinada quantidade de cloro (maior teor de microorganismos, maior consumo).

Há que se colocar que o consumo observado nos boletins

sofre ainda as condições normais de funcionamento das estações, p. ex., vazamentos.

A dosagem do cloro é, no entanto, produto químico que maior relação tem com a turbidez.

Em termos de demanda biológica alguns boletins das E. T.As. apresentam o teor de oxigênio consumido. Nota-se por esses boletins que o teor de matéria orgânica é variável, não formando uma função direta com a turbidez, isto porque a turbidez alta pode, p. ex., ter maior quantidade de sólidos.

3.4 INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO

Este trabalho adotará o indicador benefício como instrumento de avaliação do benefício indireto, isto é, "o benefício é semelhante aos danos evitados".

Os benefícios avaliados referem-se ao período passado de 1965-1980, ou seja, são benefícios históricos obtidos da comparação entre consumos máximos, mínimos e médios (normais) e que assumem as seguintes denominações (Figura 11):

Benefício máximo - B_1

Benefício corrente - B_2

Benefício perdido - B_3

Benefício máximo é a economia máxima de produtos químicos proporcionada pela floresta ao conservar as qualidades naturais das águas.

$$B_1 = X_3 - X_1 = C_3 - C_1$$

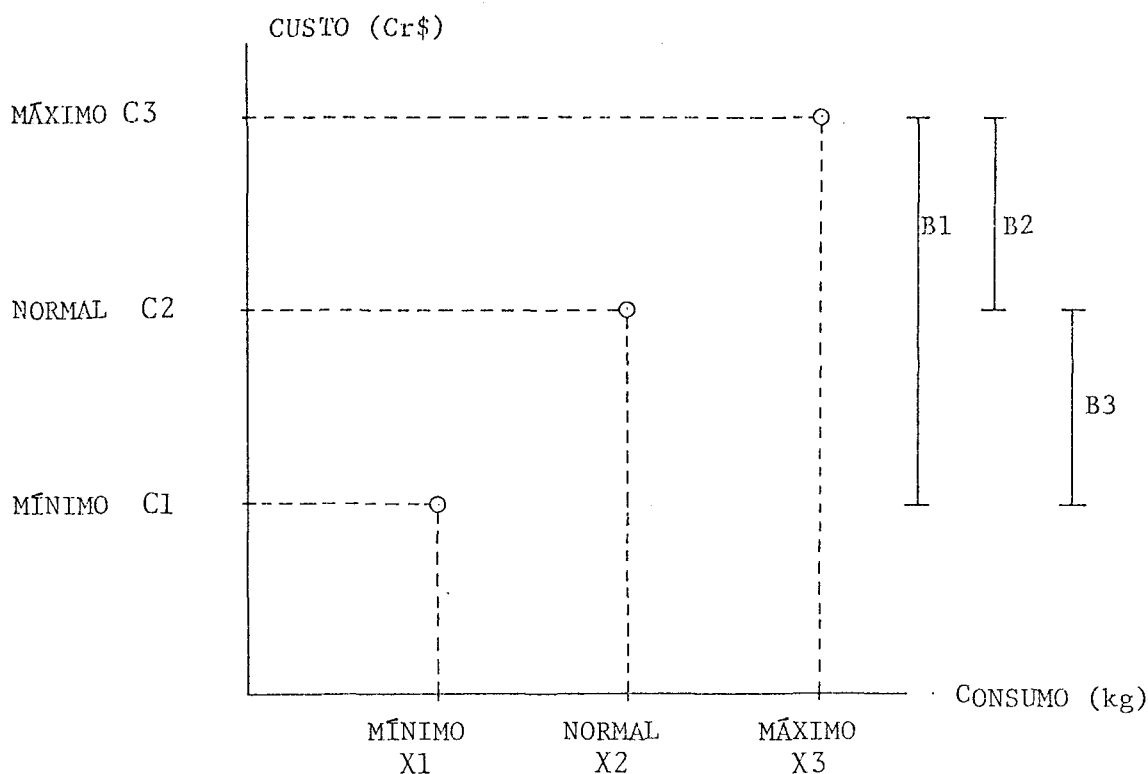


FIGURA 11: Benefícios indiretos.

O benefício máximo é igual à diferença entre os consumos (ou custos) máximo e mínimo verificada no período. É também obtido pela soma dos benefícios corrente e perdido.

O benefício máximo permanecerá inalterado se o consumo máximo verificado no período não é ultrapassado.

Para um período de n anos esse benefício é obtido pela fórmula:

$$B_1 = \sum_{i=1}^n (X_3 - X_1) \text{ ou } \sum_{i=1}^n (C_3 - C_1)$$

O cálculo do benefício máximo caracteriza a potencialidade monetária que uma floresta qualquer tem em gerar benefício indireto de proteção à potabilidade natural das águas.

Benefício corrente é a economia de produtos químicos que a floresta remanescente proporciona.

$$B_2 = X_3 - X_2 = C_3 - C_2$$

O benefício corrente é igual à diferença entre os consumos (ou custos) máximo e médio (normal). Apresenta um valor zero quando coincide com o ano de definição do consumo máximo. No ano em que ocorre o consumo mínimo o benefício corrente é máximo.

Para um período de n anos esse benefício é obtido pela fórmula:

$$B_2 = \sum_i^n (X_3 - X_2) \text{ ou } \sum_i^n (C_3 - C_2).$$

O cálculo do benefício corrente caracteriza o benefício proporcionado pela floresta remanescente.

Benefício perdido é a economia de produtos químicos que não se teve como consequência da exploração da floresta.

$$B_3 = X_2 - X_1 = C_2 - C_1$$

O benefício perdido é igual à diferença entre os consumos (ou custos) médio (normal) e mínimo. Apresenta também um valor zero quando coincide com o ano de definição do consumo mínimo. No ano em que ocorre o consumo máximo o benefício perdido é máximo.

Para um período de n anos esse benefício é obtido pela fórmula:

$$B_3 = \sum_i^n (X_2 - X_1) \text{ ou } \sum_i^n (C_2 - C_1)$$

O cálculo do benefício perdido caracteriza o prejuízo ocorrido.

4. AVALIAÇÃO DO BENEFÍCIO FLORESTAL DE PROTEÇÃO À POTABILIDADE NATURAL DAS ÁGUAS

A floresta intercepta a chuva, evita a ação desestruturadora das gotas, propicia condições ótimas de infiltração, reduz o escoamento superficial, evitando o fenômeno da erosão.

A sedimentação, efeito do fenômeno da erosão, torna as águas turvas, condicionando um maior consumo de sulfato de alumínio no processo convencional de tratamento das águas.

A floresta nativa é, no entanto, o tipo de vegetação que menores teores de turbidez permite em rios que a atravessam. Pode-se ilustrar essa afirmação tomando os dados fornecidos por JORGE*.

Considerando um reservatório de água de 10 000m³ de águas captadas dos rios que atravessam uma área de 30 ha de floresta nativa, pastagens ou cultura de algodão, deduz-se que se 50% das partículas erodidas não são filtráveis e produzem turbidez, o reservatório que capta águas 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

*JORGE, op. cit.

Em observância ao Quadro 13, a dosagem média de sulfato de alumínio seria 10 ppm para águas da floresta e acima de 42 ppm em águas de pastagens. Para as águas providas de área de cultura de algodão a dosagem necessária ultrapassa a prevista no Quadro. Isso diz que as condições normais de funcionamento da estação não satisfazem as exigidas pelas águas.

A floresta, reduzindo as partículas em suspensão nas águas, propicia condições ótimas de luz para o processo fototetizante das algas produtoras de oxigênio. Homogeneiza as temperaturas das águas, evitando variações bruscas que provocam a morte da flora e fauna natural de purificação.

Evita o contato das águas com microorganismos patogênicos, devido à poluição urbana, que trazem problemas sanitários e consumo de cloro líquido.

Evita entrofização das águas decorrente da ação de minerais fertilizantes que influenciam na higidez e potabilidade das águas e fazem necessárias atividades de pré-cloração das águas.

Evita a contaminação pelos compostos de enxofre e carbono, reduzindo ao mínimo a formação de gás ou ácidos poluentes.

Preserva condições naturais de oxigênio e dióxido de carbono, condições naturais de alcalinidade, que são imprescindíveis à potabilidade.

Evita contato das águas com produtos químicos, que provocam gosto e odor às águas ou resíduos industriais que, além dessas influências, são também tóxicos.

Todas essas influências analisadas nos capítulos pre-

cedentes exigem no processo convencional de tratamento das águas um adicional consumo de produtos químicos ou atividades extras de proteção que requerem novos custos de manutenção e proteção dos mananciais.

O tratamento convencional não apresenta eficiência em todos os tipos de poluição (Quadro 9) e isto é princípio ainda mais determinante para se colocar a floresta como única proteção perfeitamente satisfatória.

4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO DE PRODUTOS QUÍMICOS COMO OBJETO DE AVALIAÇÃO DO BENEFÍCIO INDIRETO E DA DOSAGEM COMO CARACTERÍSTICA DOS CONSUMOS.

Como se nota, o único objeto quantitativo de análise é aquele referente ao consumo de produtos químicos.

É sabido que os produtos químicos sulfato de alumínio, cal hidratada e cloro líquido são importantes no processo convencional de tratamento das águas e que, seu consumo é determinado pelas qualidades das águas superficiais captadas.

Essa característica coloca, portanto, que o custo de produtos químicos é o que mais varia de acordo com as condições externas (qualidade das águas) em uma estação de tratamento.

A simples existência das estações de tratamento já traz custos intrínsecos em seu funcionamento, como lavagem de filtros ou consumo de energia elétrica, que sofrem menores influências das qualidades das águas. Logicamente que condições extremas de qualidade das águas afetam substancial-

mente os custos de manutenção ou depreciação de equipamentos. Entretanto a externalidade de proteção tem efeito direto sobre o consumo dos produtos químicos.

O ideal, sem dúvida, de toda uma análise de gastos de produtos químicos seria que essa análise correlacionasse a turbidez das águas in natura com as condições de funcionamento das estações de tratamento e todos os problemas decorrentes do tratamento de águas de piores qualidades.

O critério adotado de dosagem (ppm ou mg/l), em sua maior parte, representa as condições relativamente ideais de funcionamento observado no período de estudo.

Basta para isso ver os Quadros 10 e 14. A dosagem menor de sulfato de alumínio ocorre no ano de 1973, quando a turbidez média anual é de 19,97 ppm para a E.T.A. Tarumã e 26,55 ppm em 1976 na E.T.A. Iguaçu, quando a turbidez média anual é de 41,70 ppm (coincidente com a maior turbidez observada). Era de esperar, no entanto, que a menor dosagem ocorresse no ano de 1965, quando a turbidez média anual era de 4,95 ppm (E.T.A. Tarumã) e 19,02 ppm (E.T.A. Iguaçu).

Isso não ocorre devido aos problemas complexos e variados de funcionamento das estações, que têm como causa desde influência de pessoal não capacitado até mesmo problemas puramente mecânicos como, p.ex., manutenção de equipamentos.

Além disso há que se colocar a evolução da tecnologia utilizada no processo de tratamento. Um aspecto muito importante é o uso em anos mais recentes (a partir do ano de 1976, segundo informações obtidas) do teste COSSMAN para a determinação da dosagem certa de sulfato de alumínio.

As dosagens de sulfato dos anos de 1973 e 1976 suben-

tendem as melhores condições que regeram o processo de tratamento das águas no período, uma vez que a turbidez nesses anos é consideravelmente menor que a dos anos iniciais.

É de se perguntar então: com essas condições relativamente ideais de funcionamento (1973-1976), quando se haveria de gastar em dosagem de sulfato para a turbidez média anual mínima observada no período (1965-1971)?

Naturalmente, como a turbidez define a quantidade de sulfato, a resposta é óbvia: gastar-se-ia uma quantidade menor de produtos químicos.

Considera-se também que essas condições ótimas podem ser perfeitamente melhoradas pela própria redução de efeitos adversos que a baixa turbidez proporcionaria.

A adoção da dosagem como parâmetro nesse caso pode, sem dúvida, superestimar o consumo mínimo reduzindo assim a diferença entre o consumo máximo e mínimo e conseqüentemente o benefício real proporcionado pela proteção florestal como se verá no transcorrer deste trabalho.

Por outro lado, a máxima dosagem observada no período, também pode subentender uma eficiência relativamente maior da estação no processo de tratamento, uma vez que trabalha sob condições mais agravantes da turbidez das águas, durante o período.

De um modo geral, e isso fica claro na observância dos Quadros 10 e 14, as maiores dosagens ocorrem nos anos finais do período de estudo, justamente quando os teores de turbidez são altos.

O caso da dosagem máxima na estação de tratamento Iguaçu ocorrida em 1972 (40,08 ppm) pode ser atribuído em

maior valor às condições técnicas de funcionamento da estação, isto porque a turbidez média anual desse ano sofreu relativamente pouco aumento (7,13 ppm), ou seja, 19,02 ppm em 1971, para 26,59 ppm em 1972.

Esses problemas haveriam de ser perfeitamente esclarecidos quando as condições totais que envolvem o tratamento das águas in natura estivessem sob controle do pesquisador. Entretanto, as dosagens de produtos químicos observadas no período representam o consumo real ocorrido. E isso é fundamental na avaliação do benefício indireto.

4.2 ANÁLISE DA TURBIDEZ

4.2.1 Análise da turbidez da E.T.A. Tarumã

A turbidez das águas captadas para tratamento na E.T.A. Tarumã apresenta teores menores quando comparada à E.T.A. Iguaçu, por ser a captação feita mais próxima às nascentes dos mananciais e também pelo menor grau de influência urbana nos afluentes que dão origem a essas águas. Entretanto, como mostra o Quadro 10, tendem a igualar-se pelo conseqüente aproveitamento da região.

Observado o Quadro 10 e Figura 6, nota-se um gradativo aumento da turbidez média nos anos subseqüentes 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).

Importantíssimas como comparativo são as máximas e mí-

nimas médias observadas. O aumento foi de 14,4 vezes para as mínimas (0,90 em 1965 e 13,00 em 1980) e de aproximadamente 10 vezes para as máximas (11,43 em 1965 e 120,00 em 1979).

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

A caracterização da pouca proteção a que esteve sujeita a área é ainda observável no Quadro 11 e Figura 8. A máxima variação da média diária observada no mês foi de 16 ppm (dezembro) no ano de 1965, representando apenas 17% da maior variação ocorrida no ano de 1980 (92,00 ppm em março).

A comparação que se pode fazer entre os anos extremos pode ser considerada de maior valor, isto porque as médias citadas foram obtidas das médias diárias.

O Quadro 12 e Figura 10, que apresenta dados de pluviosidade da estação de Piraquara, indicam que a turbidez esteve mais sujeita ao regime de pluviosidade no ano de 1980.

Para isso, verifica-se que para uma precipitação mensal máxima de 269,2 mm (dezembro) no ano de 1965 a turbidez máxima foi de 18,00 ppm. No entanto, para a precipitação máxima de 279,6 mm (dezembro) a turbidez média diária alcançou 106,00 pp.

Considerando ainda a menor precipitação mensal dos anos extremos, verifica-se que a menor precipitação de 1965 (32,2 mm) está relacionada com turbidez média diária máxima de 6,85 ppm nesse mês (junho), enquanto que no ano de 1980 a

precipitação mensal de 19,6 mm indica no mesmo mês uma turbidez máxima de 32,00 ppm (março).

Os quadros e figuras apresentados mostram que a turbidez das águas, devido a todos os fatores de influência a que esteve sujeita a área de proteção, tem-se agravado consideravelmente.

4.2.2 Análise da turbidez da E.T.A. Iguaçu

O reservatório de captação das águas para a E.T.A. Iguaçu, por estar localizado mais distante das nascentes e conseqüentemente pela maior influência recebida das atividades de aproveitamento da bacia, apresenta suas águas com teores de turbidez mais elevados do que os da 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 10, Figura 7).

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

A amplitude da diferença entre a menor e a maior média diária nos anos do período sofre variações consideráveis, não havendo tendência de aumento, motivo esse influenciado pelo já alto grau de aproveitamento das bacias contribuintes. Mas, já semelhante à E.T.A. Tarumã, a menor amplitude como também as menores médias anuais ocorrem nos anos iniciais.

Na comparação entre os anos extremos do período de análise para a E.T.A. Iguaçu, é tomado o ano inicial de 1971 devido à não determinação da turbidez diária de todo ano de 1970 (Quadro 11, Figura 9).

Observa-se, no entanto, o agravamento das condições de turbidez: a média anual aumentou 12,2 ppm. A máxima variação foi de 51,50 ppm no ano de 1971 (agosto), contrastando com 124,50 ppm ocorrido em 1980 (julho).

Analogamente à E.T.A. Tarumã, o teor de turbidez das águas tratadas na E.T.A. Iguaçu sofre nos dias atuais uma maior influência do regime de pluviosidade (Quadro 12, Figura 10).

No mês de maior pluviosidade mensal do ano de 1971 (269,9 mm), a máxima turbidez diária observada foi de 50,30 ppm (janeiro), enquanto que para uma precipitação mensal máxima de 279,6 mm em 1980 essa turbidez atingiu 139,50 ppm.

Considerando precipitações mensais com valores próximos (33,8 mm em 1971 e 44,6 mm em 1980), observa-se que a turbidez média diária máxima foi, respectivamente, 61,00 ppm (agosto) e 79,10 ppm (novembro). Essa relativa pouca diferença pode ser atribuída a chuvadas mais intensas ou ainda à própria atividade de exploração da bacia.

Mostrando que já em 1971 ocorriam atividades de aproveitamento das bacias, verifica-se que no mês de maio houve uma inversão da maior amplitude de variação entre a menor e a maior média diária no ano de 1971. Observa-se que para o ano de 1971 essa amplitude foi de 44 ppm e para o ano de 1980 foi de 9,7 ppm. Isto é explicado pela maior precipitação mensal verificada em 1971 (183,9 mm) em relação ao ano de 1980 (16,6 mm).

4.3 DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE PRODUTOS QUÍMICOS

O consumo máximo, médio e mínimo dos produtos químicos foi determinado com base no volume de água tratada em cada E.T.A. (Quadro 14) e considerando os parâmetros expostos a seguir.

No caso de sulfato de alumínio adotaram-se as dosagens 36,8042 ppm (E.T.A. Tarumã - 1979) e 40,0816 ppm (E.T.A. Iguaçu - 1972) como padrões do consumo máximo.

Por outro lado, adotaram-se como consumo mínimo aqueles fornecidos pelas dosagens 19,0414 ppm (E.T.A. Tarumã - 1973) e 26,3556 ppm (E.T.A. Iguaçu - 1976).

No tocante à cal hidratada deve-se considerar que no período de análise o CO_2 livre variou de 3,7 ppm (05/09) a 65,0 ppm (05/69) na E.T.A. Tarumã e de 3,6 ppm (05/73) a 27,2 ppm (07/73) na E.T.A. Iguaçu.

Além disto, foi observada nos boletins variação na alcalinidade das águas in natura de 7,0 ppm (05/79 e 04/65) a 25,0 ppm (06/75) para a E.T.A. Tarumã e de 4,3 ppm (02/80) a 29,0 ppm (05/75) para a E.T.A. Iguaçu. Quanto ao pH das águas in natura, este é variável (5,6 a 7,6 na E.T.A. Tarumã e 5,7 a 7,5 na E.T.A. Iguaçu), exigindo quantidades variáveis de cal hidratada.

Considerando tais pontos, definiram-se para a cal hidratada os seguintes parâmetros:

- para consumo máximo

21,2259 (E.T.A. Tarumã - 1979)

15,2408 (E.T.A. Iguaçu - 1980)

- para consumo mínimo

13,0700 (E.T.A. Tarumã - 1967)

10,6071 (E.T.A. Iguazu - 1976)

Finalmente, analisando o Quadro 10 e comparando-o com a dosagem de cloro (Quadro 14), observa-se que, à medida em que aumenta a turbidez, aumenta a dosagem. Isto se deve principalmente à maior demanda bioquímica que ocorre durante o período.

É observável que o teor de matéria orgânica tem variado de 2,2 ppm a 16,0 ppm para a E.T.A. Tarumã e 2,6 ppm a 18,4 ppm para a E.T.A. Iguazu.

Considerando o Quadro 14, nota-se que a dosagem é aproximadamente 3,7 vezes maior quando se compara o período de 16 anos na E.T.A. Tarumã (0,76 ppm em 1965 para 2,85 ppm em 1979). Para o período de 11 anos da E.T.A. Iguazu esse aumento foi de aproximadamente 2 vezes (1,49 ppm em 1970 e 2,85 ppm em 1980).

Posto o problema, "considera-se como parâmetro de definição do consumo máximo e mínimo a máxima e mínima dosagem ppm (mg/l) de cloro líquido observada".

Em função do princípio proposto adota-se:

- para consumo máximo

2,8254 ppm (E.T.A. Tarumã)

2,8497 ppm (E.T.A. Iguazu)

- para consumo mínimo

0,7628 ppm (E.T.A. Tarumã)

1,4858 ppm (E.T.A. Iguazu).

A partir dos parâmetros apontados determinou-se o consumo máximo e mínimo de sulfato de alumínio, cal hidratada e

cloro líquido para as E.T.As. Tarumã e Iguaçu (Quadros 15 e 16).

O consumo médio desses produtos foi determinado a partir da série observada no Quadro 14 (vide Quadro 17).

4.4 DETERMINAÇÃO DO BENEFÍCIO FLORESTAL DE PROTEÇÃO

Com base nos valores dos Quadros 15 a 17, adotando os preços dos produtos químicos vigentes em junho de 1981, de conformidade com o instrumento de avaliação adotado, determinaram-se os benefícios históricos ocorridos no período de 1965-80 na E.T.A. Tarumã e no período 1970-80 na E.T.A. Iguaçu são apresentados no Quadro 18.

4.4.1 Benefício de proteção máximo do período em estudo

Observando-se o Quadro 18, pode-se concluir que a conservação da floresta de proteção dos mananciais hídricos das nascentes do rio Iguaçu proporcionaria um benefício indireto de CR\$ 264.069.345,20 para um período de 16 anos (1965-1980). Ora, isso exprime que a floresta de proteção dos mananciais teria proporcionado um benefício indireto médio da ordem de CR\$ 10.547.209,78/ano para a E.T.A. Tarumã e CR\$ 8.664.913,84/ano para a E.T.A. Iguaçu.

O aproveitamento racional dos recursos naturais da área dos mananciais não é tão-somente um problema ecológico, mas conjuntamente um problema econômico.

QUADRO 15: Consumo máximo de produtos químicos (x₃)
(E.T.A. Tarumã e E.T.A. Iguaçu)

ETA	ANO	VOLUME TRATADO m ³	SULFATO ALUMÍNIO kg (36,8042 ppm)	CAL HIDRATADA kg(21,2259 ppm)	CLORO LÍQUIDO kg (2,8254 ppm)
T A R U M Ã	1965	26.583.025,00	978.366,969	564.250,730	75.107,679
	1966	28.160.268,00	1.036.416,135	597.729,257	79.564,021
	1967	29.737.511,00	1.094.465,302	631.207.784	84.020,364
	1968	30.183.057,00	1.110.863,266	640.664,934	85.279,209
	1969	30.189.834,00	1.111.112,688	640.808,782	85.298,357
	1970	29.566.349,00	1.088.165,821	627.574,703	83.536,762
	1971	31.006.196,00	1.141.158,238	658.136,865	87.604,906
	1972	30.751.467,00	1.131.783,141	652.729,993	86.885,195
	1973	28.136.161,00	1.035.528,896	597.217.563	79.495,909
	1974	25.442.603,00	936.394,649	540.044,157	71.885,531
	1975	27.014.456,00	994.245,442	573.408.276	76.326,644
	1976	23.705.125,00	872.448,162	503.164,485	66.976,460
	1977	24.701.631,00	909.123,768	524.316,301	69.791,988
	1978	22.148.187,00	815.146,304	470.116,952	62.577,488
	1979	20.050.429,00	737.940,000	425.589,985	56.650,482
	1980	23.004.039,00	846.645,252	488.283,249	64.995,612
TOTAL		430.380.338,00	15.839.804,00	9.135.244,016	1.215.996,607
		m ³	kg (40,0816 ppm)	kg (15,2408 ppm)	kg (2,8497 ppm)
I G U A Ç U	1970	6.370.780,00	255.351,056	97.095,446	18.154,812
	1971	5.921.668,00	237.349,928	90.250,644	16.874,977
	1972	9.755.945,00	391.033,885	148.687,889	27.801,516
	1973	13.993.535,00	560.883,272	213.271,927	39.877,377
	1974	25.210.150,00	1.010.463,148	384.221,518	71.841,364
	1975	38.806.325,00	1.555.419,596	591.437,381	110.586,384
	1976	43.710.410,00	1.751.983,169	666.179,300	124.561,555
	1977	42.353.531,90	1.697.597,324	645.499,464	120.694,860
	1978	45.036.828,00	1.805.148,125	686.394,901	128.341,449
	1979	54.497.789,00	2.184.358,579	830.587,014	155.302,349
	1980	55.960.248,00	2.242.976,276	852.875,982	159.469,919
TOTAL		341.617.209,90	13.692.564,350	5.206.501,466	973.506,562
TOTAL GERAL		771.997.248,90	29.532.368,360	14.341.745,480	2.189.503,169

QUADRO 16: Consumo mínimo de produtos químicos (x₁)
(E.T.A. Tarumã e E.T.A. Iguazu)

ETA	ANO	VOLUME TRATADO m ³	SULFATO ALUMÍNIO kg (19,0414 ppm)	CAL FIDRATADA kg (13,0700 ppm)	CLORO LÍQUIDO kg (0,7628 ppm)
T A R U M Ã	1965	26.583.025,00	506.176,949	347.439,977	20.277,531
	1966	28.160.268,00	536.209,800	368.054,534	21.480,652
	1967	29.737.511,00	566.242,652	388.669,090	22.683,773
	1968	30.183.057,00	574.726,454	394.492,374	23.023,636
	1969	30.189.834,00	574.855,498	394.580,949	23.028,805
	1970	29.566.349,00	562.983,495	386.432,004	22.553,211
	1971	31.006.196,00	590.400,140	405.250,796	23.651,526
	1972	30.751.467,00	585.549,754	401.921,489	23.457,219
	1973	28.136.161,00	535.750,770	367.739,455	21.462,264
	1974	25.442.603,00	484.461,763	332.534,669	19.407,618
	1975	27.014.456,00	514.391,982	353.078,778	20.606,627
	1976	23.705.125,00	451.377,819	309.825,842	18.082,269
	1977	24.701.631,00	470.352,648	322.850,169	18.842,404
	1978	22.148.187,00	421.731,602	289.476,671	16.894,637
	1979	20.050.429,00	381.787,437	262.058,987	15.294,467
	1980	23.004.039,00	438.028,188	300.662,652	17.547,481
TOTAL		430.380.338,00	8.195.026,951	5.625.068,435	328.294,120
		m ³	kg (26,3556 ppm)	kg(10,6071 ppm)	kg(1,4858 ppm)
I G U A Ç U	1970	6.370.780,00	167.905,729	67.575,692	9.465,705
	1971	5.921.668,00	156.069,640	62.811,902	8.798,414
	1972	9.755.945,00	257.123,784	103.482,577	14.495,383
	1973	13.993.935,00	368.808,011	148.431,245	20.791,594
	1974	25.210.150,00	664.428,629	267.407,338	37.457,241
	1975	38.806.325,00	1.022.763,979	411.623,734	57.658,438
	1976	43.710.410,00	1.152.014,081	463.642,001	64.944,927
	1977	42.353.531,90	1.116.252,745	449.249,419	62.928,878
	1978	45.036.828,00	1.186.972,624	477.711,489	66.915,719
	1979	54.497.789,00	1.436.321,927	578.065,133	80.972,815
	1980	55.960.248,00	1.474.865,912	593.577,625	83.145,736
TOTAL		341.617.209,90	9.003.527,061	3.623.578,155	507.574,850
TOTAL GERAL		771.977.248,90	17.198.554,011	9.248.646,590	835.868,970

QUADRO 17: Consumo médio (observado) de produtos químicos (x₂)
(E.T.A. Tarumã e E.T.A. Iguaçu)

ETA	ANO	VOLUME TRATADO m ³	SULFATO ALUMÍNIO kg	CAL HIDRATADA kg	CLORO LÍQUIDO kg
	1965	26.583.025,00	705.699,593	384.230,000	20.278,200
	1966	28.160.268,00	717.414,609	386.450,00	23.424,000
	1977	29.737.511,00	729.129,624	388.669,100	26.569,800
	1968	30.183.057,00	817.471,493	439.481,880	32.065,080
	1969	30.189.834,00	829.550,700	447.124,000	33.498,000
	1970	29.566.349,00	684.402,400	393.207,000	32.750,450
	1971	31.006.196,00	700.129,800	410.436,000	45.041,500
	1972	30.751.467,00	677.551,900	441.322,000	37.541,000
	1973	28.136.161,00	535.750,700	389.397,600	36.559,000
	1974	25.442.603,00	579.694,900	370.760,000	41.305,000
	1975	27.014.456,00	707.674,226	440.868,500	52.723,830
	1976	23.705.125,00	557.559,800	346.326,000	47.600,000
	1977	24.701.631,00	616.283,500	369.826,000	50.500,000
	1978	22.148.187,00	661.250,000	359.510,000	53.132,000
	1979	20.050.429,00	737.940,700	425.590,800	56.650,900
	1980	23.004.039,00	721.570,200	389.315,000	55.162,500
TOTAL		430.380.338,00	10.979.170,140	6.382.513,880	644.799,260
		m ³	kg	kg	kg
	1970	6.370.780,00	215.545,000	80.104,000	9.465,500
	1971	5.921.668,00	208.956,000	69.806,000	9.757,000
	1972	9.755.945,00	391.034,000	134.944,000	17.131,000
	1973	13.993.535,00	405.131,000	184.591,000	25.539,000
	1974	25.210.150,00	762.227,000	285.106,000	46.330,000
	1975	38.806.325,00	1.225.344,000	432.960,000	70.298,000
	1976	43.710.410,00	1.152.016,000	463.642,000	74.780,000
	1977	42.353.531,90	1.490.194,000	596.283,000	104.393,000
	1978	45.036.828,00	1.519.709,000	582.931,000	113.391,000
	1979	54.497.789,00	1.906.178,000	752.912,000	141.682,000
	1980	55.960.248,00	2.199.640,000	852.876,000	159.470,000
TOTAL		341.617.209,90	11.475.974,000	4.436.155,000	772.236,500
TOTAL GERAL		771.997.248,90	22.454.144,140	10.818.668,880	1.417.035,760

QUADRO 18: Benefícios históricos das E.T.As. Tarumã e Iguaçu (Cr\$). Preços de junho de 1981.

VOLUME TRATADO (m³)	E.T.A.	ANO	SULFATO DE ALUMÍNIO			CAL HIDRATADA			CLORO LÍQUIDO			TOTAL DE BENEFÍCIOS		
			MÁXIMO	CORRENTE	PERDIDO	MÁXIMO	CORRENTE	PERDIDO	MÁXIMO	CORRENTE	PERDIDO	MÁXIMO	CORRENTE	PERDIDO
26.583.025,00	TARUMÃ	1965	6.657.879,28	3.844.610,00	2.813.269,28	2.339.388,02	1.942.423,67	396.964,35	1.426.132,15	1.426.132,15	***	10.423.399,45	7.213.165,82	3.210.233,63
28.160.268,00		1966	7.032.909,32	4.497.921,51	2.554.987,81	2.478.190,26	2.279.703,18	198.487,08	1.510.748,43	1.460.201,95	50.546,48	11.041.848,01	8.257.826,64	2.804.021,37
29.737.511,00		1967	7.447.939,37	5.151.233,06	2.296.706,31	2.616.992,51	2.616.992,51	***	1.595.364,73	1.494.289,17	101.075,56	11.660.799,61	9.262.514,74	2.397.781,87
30.183.057,00		1968	7.559.529,05	4.136.824,00	3.422.705,05	2.656.201,92	2.170.765,15	485.436,77	1.619.267,45	1.384.099,49	235.167,96	11.834.998,42	7.691.688,64	4.143.309,78
30.169.834,00		1969	7.561.226,38	3.968.614,00	3.592.612,35	2.656.798,32	2.089.858,80	566.939,52	1.619.631,05	1.347.327,29	272.303,76	11.857.655,75	7.405.800,09	4.451.855,65
29.566.349,00		1970	7.405.070,80	5.693.064,24	1.712.006,56	2.601.929,72	2.528.827,51	73.102,21	1.586.182,16	1.320.951,97	265.230,19	11.593.182,68	9.542.845,72	2.050.336,96
31.006.196,00		1971	7.765.689,18	6.218.500,97	1.547.188,21	2.728.640,68	2.672.692,33	55.948,35	1.663.427,41	1.107.074,19	556.353,22	12.157.757,27	9.998.267,49	2.159.489,78
30.751.467,00		1972	7.701.890,76	6.404.660,50	1.297.230,26	2.706.223,76	2.281.092,25	425.131,51	1.649.761,66	1.283.442,52	366.319,14	12.057.876,18	9.969.195,27	2.088.680,91
28.136.161,00		1973	7.046.871,58	7.046.871,58	***	2.476.068,79	2.242.377,41	233.691,38	1.509.455,11	1.116.789,01	392.666,10	11.032.395,48	10.406.038,00	626.357,48
25.442.603,00		1974	6.372.253,69	5.029.466,46	1.342.787,23	2.239.027,38	1.826.576,06	412.451,32	1.364.950,52	795.399,61	569.550,91	9.976.231,59	7.651.442,13	2.324.789,46
27.014.456,00	IGUAÇU	1975	6.765.933,79	4.040.654,15	2.725.279,64	2.377.355,28	1.430.104,18	947.251,10	1.449.277,64	613.909,19	835.368,45	10.552.566,71	6.084.667,52	4.507.899,19
23.705.125,00		1976	5.937.091,84	4.439.982,31	1.497.109,53	2.086.123,96	1.692.287,26	393.836,70	1.271.737,91	449.981,73	767.756,18	9.294.953,71	6.582.251,30	2.658.702,41
24.701.631,00		1977	6.186.672,79	4.129.047,78	2.057.625,01	2.173.819,56	1.666.950,35	506.869,21	1.325.198,68	501.784,61	823.414,07	9.685.691,03	8.355.407,75	1.337.908,28
22.148.187,00		1978	5.547.147,30	2.169.937,89	3.377.209,41	1.949.108,63	1.193.449,01	755.659,62	1.188.210,95	245.677,14	942.533,81	8.684.466,88	5.609.064,04	3.075.402,84
23.050.429,00		1979	5.021.751,14	***	5.021.751,14	1.764.499,47	***	1.764.499,47	1.075.669,95	***	1.075.669,95	7.861.920,56	***	7.861.920,56
23.004.039,00		1980	5.761.500,50	1.763.558,23	3.997.942,37	2.024.426,24	1.067.867,41	956.558,83	1.234.125,89	255.759,25	978.366,64	9.020.052,73	3.087.184,89	5.932.867,84
420.380.338,00		TOTAL	107.791.356,80	68.534.936,80	39.256.420,03	37.874.794,50	29.701.958,29	8.172.836,21	23.089.141,69	14.856.808,40	8.232.333,29	168.755.392,90	113.093.703,40	55.661.558,53
6.370.780,00	IGUAÇU	1970	1.232.979,11	561.265,39	671.713,72	318.518,15	183.337,71	135.180,44	226.003,67	226.003,67	***	1.777.500,93	970.606,77	806.894,16
5.921.668,00		1971	1.146.052,06	400.354,38	745.697,68	296.064,03	280.597,71	75.466,32	210.071,40	185.138,58	24.932,82	1.652.187,49	866.090,67	786.096,82
9.755.945,00		1972	1.888.132,42	***	1.888.134,05	487.765,32	148.296,57	339.468,75	346.092,52	277.540,12	68.552,40	2.721.990,26	425.856,69	2.296.133,57
13.993.535,00		1973	2.708.261,18	2.196.107,04	512.154,14	699.630,96	309.467,20	390.163,76	496.421,22	372.941,19	123.480,03	3.904.313,36	2.878.515,43	1.025.797,93
25.210.150,00		1974	4.879.086,72	3.500.129,69	1.378.957,03	1.260.425,00	1.069.456,44	190.968,56	894.331,04	663.550,58	230.780,46	7.033.842,76	5.253.136,71	1.800.706,05
38.866.325,00		1975	7.510.444,20	4.654.065,90	2.856.378,30	1.940.189,25	1.709.970,94	230.218,31	1.376.655,88	1.047.900,87	328.755,01	10.827.289,33	7.411.937,71	3.415.351,62
43.710.410,00		1976	8.459.564,14	8.459.564,14	***	2.185.377,46	2.185.377,46	***	1.550.628,49	1.294.818,24	255.810,25	12.195.570,09	11.939.759,84	255.810,25
42.353.531,90		1977	8.195.958,56	2.924.386,86	5.272.571,70	2.117.537,99	531.045,65	1.586.492,34	1.502.493,19	424.011,38	1.078.481,81	11.816.989,74	5.879.445,99	7.937.543,75
45.036.828,00		1978	8.716.274,56	4.024.691,66	4.691.582,90	2.251.694,02	1.116.375,50	1.135.318,52	1.597.683,24	370.861,13	1.208.822,06	12.565.651,82	5.511.928,34	7.055.723,48
54.497.789,00		1979	10.547.316,79	3.922.346,16	6.624.970,63	2.724.711,10	838.113,41	1.886.597,69	1.933.311,18	354.265,28	1.579.045,90	15.205.339,07	5.114.724,85	10.090.614,22
55.960.248,00		1980	10.830.356,13	611.041,49	10.219.314,64	2.797.829,27	***	2.797.829,47	1.985.192,00	***	1.985.194,11	15.613.577,40	611.041,49	15.002.338,22
341.617.209,90		TOTAL	66.115.425,87	31.253.951,08	34.861.474,79	17.079.742,55	8.312.038,39	8.767.704,16	12.118.883,83	5.235.028,98	6.883.854,85	95.314.052,20	44.801.018,45	50.513.033,80
771.997.248,90	TOTAL		173.906.782,67	99.788.887,88	74.117.894,82	54.954.537,05	38.013.996,68	16.940.540,37	35.208.025,52	20.091.837,38	15.116.188,14	264.069.345,20	157.894.721,80	106.174.623,33

*** Ano de definição dos consumos máximos e mínimos.

Quando se trabalha com benefícios históricos, a potencialidade da floresta em gerar benefícios indiretos é considerada constante, uma vez que, dentro do próprio período de estudo (1965-1980), define-se o máximo benefício em função da diferença entre o máximo e mínimo consumo observado.

Assim sendo, observa-se que a floresta de proteção dos mananciais do rio Iguaçu durante o período de 1965-80 para a E.T.A. Tarumã apresentou um potencial gerador de benefícios indiretos, por metro cúbico de água tratada, de: CR\$ 0,2505/m³, referente à economia de sulfato de alumínio; CR\$ 0,0880/m³, referente à economia de cal hidratada; CR\$ 0,0536/m³, referente à economia de cloro líquido.

Identicamente para o período de 1970-80 para a E.T.A. Iguaçu a potencialidade geradora foi de: CR\$ 0,1939/m³, referente à economia de sulfato de alumínio; CR\$ 0,0500/m³, referente à economia de cal hidratada; CR\$ 0,0355/m³, referente à economia de cloro líquido.

À primeira vista, esses benefícios parecem apresentar valores insignificantes, mas tomando como referência o volume de água tratada anualmente, verifica-se que esses valores ultrapassam a casa dos milhões (Quadro 18).

A consideração desses valores para o futuro estará condicionada a que a dosagem máxima de produtos químicos observada no período de análise não poderá ser ultrapassada, isto porque haverá então um aumento do benefício máximo de proteção.

4.4.2 Benefício de proteção corrente do período em estudo

Observando o Quadro 18, pode-se concluir que a floresta remanescente, apesar de sua redução a cada ano durante o período de 1965-80, tem produzido um benefício de CR\$ 113.093.703,40 para a E.T.A. Tarumã e CR\$ 44.801.018,45 para a E.T.A. Iguazu.

No entanto, maior discussão sobre esses valores é necessária, antes de usá-los para possíveis justificativas de programas de preservação da floresta de proteção, que estariam ocorrendo durante esse mesmo período, objetivando a preservação da mata restante nos mananciais.

Dizer que nada se está fazendo para a manutenção dessa floresta remanescente de proteção dos mananciais, pode ser improcedente; entretanto dizer que pouco se faz para tamanho valor protetivo é facilmente observável.

Considerando a participação do benefício corrente em termos de percentagem sobre o benefício máximo do período, é perfeitamente observável que essa percentagem tem decrescido para os anos mais recentes. E como é entendido, a perda do benefício corrente representa o aumento do benefício perdido (Quadro 18).

Tomando os anos extremos e o ano referente à maior participação dos benefícios correntes sobre o benefício máximo, observa-se que essa percentagem foi de 57,7% em 1965, 83,2% em 1972 e 30,6% em 1980 para a E.T.A. Tarumã e 45,9% em 1970, 81,0% em 1973 e apenas 5,6% em 1980 para a E.T.A. Iguazu.

Essa variação não uniformemente crescente até o final

do período se deve à própria variação não uniforme da dosagem de produtos químicos.

Entretanto, pode-se observar que, de modo geral, a não manutenção constante da floresta de proteção durante o período tem feito com que o benefício perdido aumente em detrimento do benefício corrente.

Analogamente, os benefícios correntes referentes à cal hidratada apresentam-se também com percentagens menores sobre os benefícios máximos nos anos finais de estudo.

Para a E.T.A. Tarumã essa percentagem foi de 83% em 1965, 90,6% em 1973 e 52,7% em 1980. Para a E.T.A. Iguaçu 57,6% em 1970, 88,1% em 1975 e 24,4% em 1977.

O benefício corrente (juntamente com o benefício perdido) referente ao cloro líquido é sem dúvida o benefício que melhor caracteriza a poluição crescente dos mananciais. Mostra claramente a pouca proteção existente.

Em 1965 a floresta proporcionava um benefício em cloro de 100% de sua capacidade presente de gerar benefício, tendo essa percentagem caído para 20% em 1980 (E.T.A. Tarumã).

Para a E.T.A. Iguaçu essa potencialidade de gerar benefício em cloro decresceu de 100% em 1970 para apenas 18,3% em 1979.

É importante, mais uma vez, que se observe que um decréscimo no benefício corrente proporciona um acréscimo idêntico, em percentagem sobre o benefício máximo, no benefício perdido.

4.4.3 Benefício de proteção perdido do período em estudo

A quem imputar o prejuízo estimado de CR\$ 106.174.623,33, durante o período de 1965-1980, é uma questão importantíssima.

À pouca consciência da sociedade ou ao aproveitamento irracional da floresta de proteção ou ainda à falta de legislação e fiscalização adequada e eficiente, a verdade é que o prejuízo ocorrido somente no consumo adicional de produtos químicos foi de CR\$ 3.478.849,35/ano para a E.T.A. Tarumã e CR\$ 4.592.093,98/ano para a E.T.A. Iguaçu.

Esse prejuízo é composto por:

- 69,8%, referente ao sulfato de alumínio;
- 16,0%, referente à cal hidratada;
- 14,2%, referente ao cloro líquido.

O benefício perdido é maior nos anos mais recentes, uma vez que as condições de qualidade das águas têm piorado.

Tomando como referencial o ano de 1980, verifica-se que o prejuízo foi de CR\$ 20.935.206,06 (CR\$ 5.932.867,64 na E.T.A. Tarumã e CR\$ 15.002.338,22 na E.T.A. Iguaçu), representando 19,72% do benefício perdido verificado no período de análise.

O benefício perdido exprime um prejuízo e este pode ser avaliado em termos de economia no custo por metro cúbico de água tratada durante o período de estudo. Esse prejuízo foi de CR\$ 0,129/m³ de água tratada na E.T.A. Tarumã e CR\$ 0,148/m³ de água tratada na E.T.A. Iguaçu.

Pode-se considerar, portanto, que a cada metro cúbico de água consumida pela população durante o período de 1965-80, além dos preços normalmente pagos à SANEPAR dever-se-iam acrescentar esses custos adicionais.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Quando se trabalha com avaliação dos benefícios florestais indiretos é freqüente observar que existem muitos aspectos intimamente ligados e que precisariam ser objeto de uma análise mais detalhada.

Isso requeriria novos estudos ou estudos mais específicos sobre determinadas influências concernentes à linha geral proposta de realização do trabalho de avaliação dos benefícios indiretos.

Tal problema foi encontrado na concretização deste trabalho e será discutidos nos tópicos a seguir:

a) Sobre a metodologia utilizada:

A utilização do indicador benefício na avaliação do benefício indireto de proteção florestal não apresentou grandes problemas conceituais.

É evidente a concordância de que o benefício indireto é semelhante ao(s) dano(s) ou prejuízo(s) evitado(s) que a existência da floresta de proteção proporciona. Não existe, portanto, mistério quando se afirma que a floresta proporciona um rendimento ao evitar um custo futuro de correção de danos ou prejuízos. E neste trabalho apresentado, o custo evitado é referente ao custo adicional de produtos químicos

que seriam evitados no processo convencional de purificação das águas.

O grande problema encontrado, entretanto, foi definir o critério de caracterização do prejuízo em produtos químicos ocorrido no processo de tratamento de água para abastecimento público, isto é, a obtenção do parâmetro de definição do consumo que, de acordo com a lei clássica de probabilidade, poderia ocorrer durante todo o período de análise.

Naturalmente, poderia ser usado o teor de turbidez para definição teórica da dosagem ou consumo máximo e mínimo de sulfato de alumínio, dosagem essa obtida através do teste de floculação COSSMAN.

Para o consumo de cal hidratada poderia ser considerada a alcalinidade natural das águas, a dosagem de sulfato de alumínio e ainda o pH natural das águas.

O consumo de cloro líquido poderia ser definido pela determinação do oxigênio consumido, que caracteriza a demanda de oxigênio pelos microorganismos ou decomposição da matéria orgânica contida no corpo das águas.

A essas considerações, subentende-se que seriam necessários então experimentos controlados sobre as propriedades físico-químicas e biológicas das águas durante o período de estudo. Torna-se um problema complexo quando os mananciais sofrem ainda poluição industrial e urbana.

Conjuntamente com esses experimentos sobre as propriedades das águas, haveria necessidade de condicionar esses experimentos às condições definidas de funcionamento das estações de tratamento.

No entanto, as dosagens observadas durante o período representaram um custo real de produtos químicos e isso foi fundamental no cálculo dos benefícios indiretos. Além do mais, como foi discutido no tópico 4.1, as dosagens interiorizam os problemas ocorridos, devido à variação das propriedades das águas e também aos problemas de funcionamento das estações.

É conclusivo dizer então que o obstáculo maior no cálculo do benefício indireto não é conceituar o princípio de avaliação, mas sim definir o parâmetro de conceituação dos prejuízos evitados, isto é, determinar fisicamente os danos.

O que deve ficar claro é que a proposta deste trabalho é apresentar um método sobre apenas um aspecto (produtos químicos) do benefício indireto de proteção às qualidades naturais das águas, não o único método.

b) Sobre a floresta geradora do benefício indireto:

A área estudada apresentava três tipos de vegetação primitiva que recobriam a região dos mananciais hídricos das nascentes do rio Iguaçu.

Hoje, em sua maior parte, essa vegetação apresenta-se descaracterizada, isto pelo alto grau de aproveitamento a que sempre esteve sujeito a região dos mananciais.

Parte dos mananciais da serra conserva ainda sua vegetação original de recobrimento. A região do planalto de Curitiba sempre esteve condicionada a um crescimento urbano, trazendo consigo as mais variadas formas de influências nos mananciais.

Não foi possível neste trabalho determinar a área florestal geradora do benefício indireto em questão. Estudos futuros, inclusive delimitação da área de influência por fotos aéreas, podem ser feitos com objetivo de preservação adequada.

O Decreto-Lei nº 2 964, de 19 de setembro de 1980, declara como de interesse e proteção especial a região das nascentes do rio Iguaçu. Outorga à COMEC - Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba poderes para exame e aprovação dos projetos de loteamento localizados na área, tendo como órgão consultivo a SUREHMA - Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente, que procede aos exames relativos à proteção dos mananciais.

A COMEC considera a floresta subtropical dos mananciais da serra como área de preservação natural, constituindo aproximadamente 4 150 ha (Figura 04).

No entanto, considerar a floresta dos mananciais como a única geradora do benefício indireto é incoerente, uma vez que o fenômeno da erosão que provoca a sedimentação das águas está condicionado à perfeita proteção dos caudais dos rios contribuintes para as águas de captação.

Determinando-se a área total de proteção, podem-se considerar os valores dos benefícios históricos calculados neste trabalho para justificar programas futuros de reposição e preservação da vegetação natural de proteção.

Os benefícios indiretos podem ser calculados então em termos de rendimento ou benefício por hectare.

É importantíssimo, portanto, além de evitar novos aproveitamentos da área de influência nos mananciais, que se

façam também programas de reposição da vegetação original de proteção.

c) Sobre a consulta bibliográfica:

A opção se fez neste trabalho foi a de colocar o problema da influências da floresta de proteção em suas mais variadas considerações, uma vez que a área em estudo apresenta também poluição urbana e industrial.

Na localização da etapa do ciclo hidrológico em que a floresta de influência apresenta-se como geradora do benefício indireto de proteção às águas, a consulta bibliográfica poderia prender-se exclusivamente à sedimentação das águas, ou seja, ao fenômeno da erosão.

No tocante ao capítulo referente às águas superficiais — Poluição e Tratamento —, o problema da poluição das águas poderia ter sido mais sintetizado levando-se em consideração apenas as funções específicas básicas dos produtos químicos.

A opinião que o autor deste trabalho tem é que informações adicionais deixam mais claro o problema da avaliação do benefício florestal indireto. Isso coloca em relevo a opinião de que a avaliação do benefício indireto é complexa e exige, além do aspecto florestal, pesquisas concernentes a outras ciências.

Dentro da exposição deste trabalho existem aspectos da influência da floresta, que poderiam perfeitamente ser objeto de avaliação do(s) benefícios(s) indireto(s):

- 1) *Erosão*: na forma de perda da capacidade produtiva dos solos sem proteção florestal ou custos no controle das voçorocas.
- 2) *Assoreamento*: em termos do custo de dragagem dos rios ou reservatórios de captação.
- 3) *Inundações*: como custos na reparação e novas construções de casas ou obras de infra-estrutura.
- 4) *Equilíbrio hídrico*: danos nas culturas sazonais nos períodos de grande estiagem.
- 5) *Doenças hídricas*: custos de erradicação da poluição urbana ou custos de assistência médica evitados.
- 6) *Doenças tóxicas*: custos evitados no tratamento da população pelo contato ou utilização de águas com poluição industrial.
- 7) *Danos econômicos*: custos adicionais de controle da qualidade das águas utilizadas no processo de produção de determinados produtos.
- 8) *Consumo de sabão*: em forma de custos adicionais no consumo de sabão pelo aumento da dureza permanente das águas.
- 9) *Pré-cloração das águas*: custos extras que seriam evitados pelo consumo adicional de cloro antes do processo convencional de tratamento. Essa pré-cloração objetiva também evitar entupimento dos filtros pelas algas.
- 10) *Análises hidrobioquímicas adicionais*: na forma de custos adicionais de análise decorrente das mais frequentes análises em águas com maior grau de poluição.

Há que se destacar também que uma mesma floresta, onde se considera a influência no ciclo hidrológico e na proteção das qualidades naturais das águas, traz também outras influências complementares que podem ser objeto de análise dos benefícios, como por exemplo:

1) *Absorvedora de poluentes do ar*: devidamente localizada, absorve os poluentes em suspensão no ar, evitando inclusive doenças da pele na população.

2) *Controladora de ruídos*: quando localizadas em áreas de forte poluição sonora podem reduzir os decibéis normais de audição, evitando custos médicos de tratamento pela população.

3) *Área de lazer*: área de recreação para a população.

d) Sobre a análise realizada.

A análise desse trabalho teve como objetivo colocar os benefícios indiretos de proteção florestal dos mananciais de forma a um reconhecimento comparativamente mais adequado de seu valor de proteção.

Para tanto, devido à escolha de apresentar os benefícios em forma monetária, muitos aspectos sobre a qualidade das águas em função de diferentes tipos de florestas têm deixado uma lacuna a ser preenchida com trabalhos futuros de pesquisa.

Os valores dos benefícios estimados de Cr\$ 264.069.345,20 como benefício máximo, cr\$ 157.894.721,85

como benefício corrente e Cr\$ 106.174.623,33 como benefício perdido (preços de junho de 1981) referentes ao período de 16 anos (16 para E.T.A. Tarumã e 11 para E.T.A. Iguaçu) mostram a importância da floresta de proteção quanto a apenas um aspecto de toda a influência da floresta nos mananciais, isto é, benefícios que se referem aos produtos químicos utilizados no tratamento de água para abastecimento da região metropolitana de Curitiba.

Esses valores podem perfeitamente apresentarem-se ainda mais significativos quando de uma análise de maior amplitude sobre todos os benefícios florestais indiretos que a floresta de proteção dos mananciais apresenta, demonstrando mais enfaticamente o grande valor social que uma formação florestal pode desempenhar.

Quanto a essa preservação, cabe aqui apontar alguns princípios básicos para nortear o manejo da floresta de proteção dos mananciais da Serra do Mar e das matas ciliares da bacia hidrográfica de abastecimento da região metropolitana de Curitiba.

1) *Delimitação das áreas de preservação*: utilizando-se de fotografias aéreas, delimitar as áreas de proteção.

É importante que se obedeça nesse delimitação ao objetivo de proteção dos mananciais e das matas ciliares, procurando-se assim definir as áreas de aproveitamento para outros fins e as áreas de proteção. Não basta, entretanto, que se reconheça apenas a mata da Serra do Mar como a única floresta de proteção dos mananciais.

Definir, portanto, uma região intocável, que

seriam as áreas das nascentes e margens dos rios; uma região de mata manejada; e, finalmente, áreas de aproveitamento para outras atividades.

2) *Estudos sobre a vegetação*: elaborar planos de pesquisa como objetivo de reconhecimento da vegetação original de proteção, avaliando seu potencial em melhor proteger as qualidades das águas.

Determinar as espécies que melhor proteção proporcionam às qualidades das águas, isto é, evitam a turbidez e protegem as qualidades naturais das águas, buscando com isso planejar a reposição de toda vegetação de recobrimento dos mananciais.

3) *Manejar a floresta*: objetivando manter o regime biológico e preservar as qualidades das águas, proceder ao manejo adequado conservando florestas de múltiplos estratos.

Em áreas de possível aproveitando da madeira realizar cortes seletivos ou em clareiras, evitando-se o corte raso. Fazer a reposição e enriquecimento das áreas florestais procurando recompor a formação florestal original.

4) *Legislação*: elaborar legislação específica para as bacias hidrográficas que fornecem água para abastecimento, aperfeiçoando inclusive o código florestal sobre esse aspecto.

Finalmente, referente a todos os itens abordados, é fundamental que os órgãos que planejam, executam e fiscalizam o aproveitamento do espaço físico das bacias hidrográficas estejam capacitados legalmente, disponham de recursos necessários e ainda de pessoal técnico capacitado em todas as atividades concernentes ao aproveitamento e preservação.

RESUMO

As águas superficiais captadas para abastecimento público sofrem um processo de purificação conhecido como tratamento convencional das águas, objetivando torná-las com características adequadas de potabilidade.

Esse processo requer a adição de determinados produtos químicos: o sulfato de alumínio reage com a alcalinidade natural das águas formando flocos que têm a propriedade de coagular as impurezas, precipitando-as (decantação). A cal hidratada realiza o abrandamento das águas, tornando-as básicas e com gosto característico. O cloro líquido atua como desinfectante reagindo com os microorganismos existentes, que tanto podem produzir cor-odor-sabor inaceitáveis, como também ser transmissores de doenças hídricas. Finalmente, o fluossilicato de sódio é adicionado com função profilática de redução da ocorrência de cáries ou má-formação óssea dos indivíduos da população abastecida.

Com exceção do flúor, todos os produtos químicos adicionados sofrem uma variação diretamente proporcional aos teores poluentes das águas captadas. Isso define que a preservação da potabilidade natural das águas evita um consumo adicional de produtos químicos.

A floresta de proteção dos mananciais hídricos proporciona então benefícios indiretos na medida em que protege as

qualidades naturais das águas superficiais captadas para tratamento, evitando assim o consumo adicional de produtos químicos.

O objetivo deste trabalho prendeu-se na quantificação monetária do benefício histórico (1965-80) de proteção florestal referente tão-somente ao consumo adicional desses mesmos produtos químicos.

Foi utilizado o indicador benefício (os benefícios são semelhantes aos danos evitados) de avaliação do benefício indireto de proteção tornado monetário com base nos preços de produtos químicos referentes ao mês de junho de 1981.

O benefício histórico assumiu três definições:

Benefício máximo: caracterizou a capacidade da floresta de proteção de gerar benefícios indiretos.

Benefício corrente: caracterizou o benefício indireto proporcionado pela floresta remanescente.

Benefício perdido: representou os danos ou prejuízos devido ao aproveitamento da floresta de proteção para outros fins.

Os resultados obtidos para a floresta de proteção dos mananciais das nascentes do rio Iguaçu, onde se fez a captação das águas superficiais para tratamento e posterior abastecimento da população metropolitana de Curitiba no período de 1965-80, foram os seguintes (a preços de junho de 1981):

Benefício máximo -	CR\$ 264.069.345,20
Benefício corrente -	CR\$ 157.894.721,85
Benefício perdido -	CR\$ 106.174.623,33.

SUMMARY

The surface water of reservoirs undergoes a purifying process known as conventional water treatment aimed at making it potable.

This process requires the addition of certain chemicals, such as: aluminium sulphate which reacts to the natural alkalinity of water forming flakes which have the property of clotting the wastes precipitating them (decanting).

Hydrated lime makes the water soft and it becomes basic with characteristic taste.

Liquid chloride acts as a disinfectant reacting with the existing micro-organisms which can develop both an unbearable colour-odour-taste and also transmit hydro-diseases.

Lastly, sodiumchloride is added to the water supply for the population as a prophylactic means for the reduction of the occurrence of dental decay, or for the malformation of bones in individuals.

With the exception of fluoride, all chemical products added are submitted to a directly proportional variation of the polluting variation of the polluting indices of the water maintained in reservoirs.

This defines the preservation of the natural reservoir water potability 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 aim of this dissertation is to demonstrate through as historical approach (1965-1980) the financial benefit to forestry protection concerning the additional use of some chemical products.

The benefit approach (benefits in terms of the amount of damage avoided to evaluate the indirect protecting benefit, which became monetarily based on the prices of chemicals in June 1981.

This historical benefit can be defined in three ways:

Firstly, 'maximum benefit', which characterized the capacity of the forest to generate indirect benefits.

Secondly, the 'current benefit', which has been characterized in the indirect benefit of the remaining forests.

Thirdly, the 'lost benefit', which has been represented in the damages following the misuse of protective forests, for other purposes.

The results were obtained from the protection of the water springs in the Iguaçu River sources, in which surface water was kept in reservoirs for treatment and later water supply for the metropolitan area of Curitiba between 1965 and 1980 (on prices of June 1981):

'Maximum benefit'	~	CR\$ 264.069.345,20
'Current benefit'	~	CR\$ 157.894.721,85
'Lost benefit'	-	CR\$ 106.174.623,33.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. A.W.W.A. - American Water Worrs Association. Água tratamento e qualidade. Zed. Rio de Janeiro. Liv. Técnico, 1964. 465 p.
2. ANDRAE, F.H., Ecologia Florestal. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1978. 230 p.
3. AZEVEDO, N. Tratamento de águas de abastecimento. São Paulo, Editora Universidade de São Paulo, 1966. 329 p.
4. BATES, M. A floresta e o mar. Rio de Janeiro, Ed.Fundo de Cultura, 1965. 234 p.
5. BECHMANN, A. Die Kosten-Nutzen-Analyse, ein Bewertungsinstrument für Landschaftsplaner? Landschaft + Stadt, (4) : 179-85, 1976.
6. BERNAUER, B. Untersuchungen zur Bewertungsproblematik bei Entscheidungen über Grenzertragsflächen unter besonderer Berücksichtigung der Methoden Kosten-Nutzen - Analyse und Nutzwertanalyse. Freiburg, 1975 b 89-98. Dissertation. Doktorwürde. Albert-Ludwigs-Universität Forstwissenschaftlichen Falcultat.
7. BIGARELLA, J.J. A serra do mar e a porção oriental do Estado do Paraná. Curitiba, ADEA, 1978. 248 p.
8. BITTENCOURT, A.J. Aspectos higiênicos. Padrões de qualidade. In: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Controle da qualidade da água. Curitiba, Organização Pan-Americana da Saúde, Organização Mundial da Saúde, 1966. p 7-64.
9. BORSARI, N. Propriedades e aspectos físicos da água. Exames físicos In. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Controle da qualidade da água. Curitiba, Organização Pan-Americana da Saúde, Organização Mundial da Saúde, 1966. p. 65-99.
10. BRANCO, S.M. & ROCHA, A.A. Poluição: proteção e usos múltiplos de represas. São Paulo, Blücker, 1977. 185 p.
11. BURGER, D. Ordenamento florestal I. A produção florestal 2 ed. Crutiba. Setor de Ciências Agrárias, 1979, n.p.
12. DUERR, W.A. Fundamentos da economia florestal. Lisboa Fundação Calouste Gulbmkian, 1972. 754 p.

13. FERRI, M.G. Ecologia: temas e problemas brasileiros. Belo Horizonté, Itatiaia, 1974. 188 p.
14. FORESTRY in GREAT BRITAIN: An interdepartmental cost/benefit study. London, Her Mafesty's Stationery Office, s.d. 106 p.
15. FRANÇOIS, T. Evaluacion de la utilidad de las influencias de los montes. In: ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. La influência de los montes. Roma. F.A.O. 1962. p 267-310 (FAO, Estudo de Silvicultura y productos florestales, 15).
16. FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Cartas climáticas básicas do Paraná, 1978. s.l., 1978. 38 p.
17. GARCEZ, L.N. Hidrologia. São Paulo. Blücker, 1967. 249 p.
18. GEIGER, P.P. & VIEIRA, M.C. - Aspectos físicos do Sul. Rio de Janeiro, IBGE, 1962. p. 224-229.
19. GOLLEY, F.B.; MCGINNIS, J.T.; CLEMENTS, R.G.; CJILD, G.J. & DUEVER, M.J. Água que atravessa o dossel. In: CICLAGEM DE MINERAIS EM UM ECOSISTEMA DE FLORESTA TROPICAL ÚMIDA. São Paulo, EDUSP, 1978. p. 82-91.
20. GRAYSON, A.J; & LITT, B. Valuation of non-wood benefits. London, 1972. 9 p. (Forestry Commission. Research and development. paper, 93).
21. GRAYSON, A.J.; SILAWAY, R.M. & THOMPSON, F.P. Some aspects of pecuation planning in the Forestry Commission. London, 1973. 16 p. (Forestry Commission. Research and development paper, 95).
22. GRUT, M. Cost-benefit analysis in the fcrestry sector The South African. Journal of Economics, 43 (2):187-204, 1975.
23. GUERREIRO, M.G. A floresta na conservação do solo e da água. Lisboa, Sá da Costa, 1962. 193 p. (Col. A Terra e o Homem, 26).
24. GUIMARÃES, F.P. Análise bacteriológica da água. In: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Controle da qualidade da água. Curitiba, Organização Pan-Americana da Saúde, Organização Mundial da Saúde, 1966. p.7-64.
25. HAMMEL, W. Cost-benefit-analyse für eine papierfabrik In: MEIMBERG, R. Voranssetzungen einer globalen Entwicklungspolitik und Beiträge zur Kosten- und Nutzenanalyse. Berlin, Dunckee & Humblot, 1971. p.153-161.

26. HEDTKE, R. Grundlagen, Möglichkeiten und Grenzen der Kosten- Ertrags - Analyse zur Beurteilung wirtschaftspolitischer, insbesondere agrarstruktureller Massnahmen. Berichte über landwirtschaft, 4 B (3/4):469-86, 1971.
27. HOOVER, M.D. La acción y el movimiento del agua en el bosque In: ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. La influencia de los montes. Roma, FAO, 1962. p. 35-88. (FAO, Estudio de silvicultura y productos forestales, 15).
28. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. Geografia do Brasil; grande região Sul. Rio de Janeiro - 1963. 212 p.
29. JAKOBI, I.Z. Hidroquímica da bacia de Curitiba. Boletim da Universidade Federal do Paraná. Conselho de Pesquisas, Departamento de Química. Curitiba, n. 3, Ago. 1971. 34 p.
30. JOHNSTON, D.R.; GRAYSON, A.J. & BRADLEY, R.T. Planeamento Florestal. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1977. 798 p.
31. KITTREDGE, J. La influencia de los montes sobre el clima y otros factores ambientales. In: ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. La influencia de los montes. Roma, FAO, 1962, p. 91-149. (FAO, Estudio de Silvicultura y productos forestales, 15).
32. KLEEREKOPER, H. Introdução ao estudo da limnologia. Rio Janeiro, Imprensa Nacional, 1944. 329 p.
33. KLEIN, R.M. Aspectos florísticos. In: BIGARELLA, J.J. A serra do mar e a porção oriental do Estado do Paraná. Curitiba, ADEA, 1978. p. 57-62.
34. KNEESE, A.J.; ROLFE, S.E. & HARMED, J.W. Ecologia y contaminación, formas de cooperación internacional. Buenos Aires, Marymar, 1974. 366 p.
35. KRAMER, P.J. & KOZLOWSKI, T. Fisiologia das árvores. Lisboa, Fund. Calouste Gulbenkian, 1972. 745 p.
36. KOHLER, V. Planejamento florestal. Curitiba. Universidade Federal do Paraná, 1981. (não publicado).
37. —. Gesellschaftsbezogene Rechnungslegung in der Forstwirtschaft. Forstarchiv, 48 (11):232-5, 1977.
38. LINDE, R.J. VAN DER. Árboles situadas fuera del bosque In: ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. La influencia de los montes. Roma, FAO, 1962. p. 153-225. (FAO Estudio de silvicultura y productos forestales, 15).

39. MAACK, R. Geografia física do Estado do Paraná. Curitiba, CODEPAR, 1969. 350 p.
40. MARQUES, J.; SALATI, E. & SANTOS, J.M. Cálculo de evapotranspiração real da bacia amazônica através do método aerológico. Acta Amazônica. 10(2):357-61, julho, 1980.
41. MAYER, R. Noções de hidráulica florestal. Alcobaça, Direção Geral dos Serviços Florestais e Agrícolas, 1941. 132 p.
42. MISCHAN, E.J. Análise de custos - benefícios: uma introdução informal. Rio de Janeiro, Zahar, 1976. 488 p.
43. MOLCHANOV, A.A. Hidrologia florestal. Lisboa, Fund. Calouste Gulbenkian, 1971. 595 p.
44. MONTEIRO, C.A.F. Geomorfologia. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. Geografia do Brasil: grande região Sul. Rio de Janeiro, 1963. 212 p.
45. ODUN, E.P. Fundamentos de ecologia. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1971. 595 p.
46. OEDEKOVEN, K.H. & SCHWAB L. Ordenamento Florestal, Curitiba, FAO, 1968. 114 p.
47. OLIVEIRA, A.I & LEONARDOS O.H. Geologia do Brasil. Mossoró, Escola Superior de Agricultura de Mossoró, 1978 (Col. Mossoroense, 5-72).
48. PABST, H. Zur Wertschätzung der ausserwirtschaftlichen Leistungen des Waldes. Der Forst- und Holzwirt, 30 (2): 25-8, 1975.
49. PAVARI, A. Introducion general. In: ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. La influência de los montes. Roma, FAO, 1962. p. 3-32 (FAO, Estudo de silvicultura y productos florestales, 15).
50. PUPPI, I.C. Aspectos morbígenos da água. In: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Controle da qualidade da água. Curitiba, Organizacion Pan-Americana da Saúde, Organização Mundial da Saúde, 1966. p. 235-256.
51. ROMARIZ, D.A. Vegetação. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. Geografia do Brasil: grande região Sul. Rio de Janeiro, 1963. p. 171-207.
52. ROSS, S. Economia do meio ambiente. In: CONSERVAÇÃO AMBIENTAL: uma missão nacional para a década dos setenta. 2 ed. Rio de Janeiro, Fortune, 1972. p.61,78.

53. SABBAG, O. Controle de poluição da água. In: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Controle da qualidade da água. Curitiba, Organização Pan-Americana da Saúde, Organização Mundial da Saúde, 1966 p. 257-313.
54. WILM, H.G. Bosques y cuencas hidrográficas. In: ORGANIZACIONL DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION: La influência de los montes. Roma, FAO, 1962. p. 229-263. (FAO, Estudo de Silvicultura y productos florestales, 15).
55. WISLER, C.O. & BRATER, E.F. Hidrologia. Rio de Janeiro, Lv. Técnico, 1964. 484 p.