Sistemas de Esgotos e Poluição de Cursos d'Água Estações de Tratamento (*)

JOSÉ M. DE AZEVEDO NETTO
Professor do Universidade de São Paulo, Engenheiro do Departamento de Águas e Esgotos.

1. — *Introdução.*

Na técnica atual de esgotamento das cidades é a água utilizada como agente transportador para o afastamento de resíduos os mais diversos. Assim é que das atividades higiênicas ou de limpeza pròpriamente dita, resultam as denominadas águas "servidas"; dos compartimentos sanitários provém as águas "imundas" e nas atividades fabris se constituem os resíduos líquidos industriais.

Essas três parcelas, águas servidas, águas imundas e resíduos industriais, muitas vêzes designadas simplesmente por "águas servidas" são encaminhadas aos sistemas de esgotos das cidades.

Por outro lado é a água elemento indispensável à vida e, como tal deve ser suprida em condições satisfatórias para essa finalidade sob os aspectos qualitativo e quantitativo.

Dessa dualidade de usos da água — Água para consumo das populações e Água para transporte de resíduos — têm resultado os mais sérios inconvenientes para a Saúde Pública.

Inúmeras são as pessoas que supoem resolvidos os problemas uma vez que as águas residuárias tenham sido admitidas no primeiro coletor de esgotos, não se preocupando com o que sucede a partir desse ponto, no longo desenrolar de tôda uma história que merece ser melhor conhecida.

As águas servidas podem ser conduzidas pelos coletores sanitários durante horas, passando a seguir aos interceptadores que são canalizações de maiores proporções; finalmente acabam indo ter aos emissários que as conduzem até um local relativamente afastado das áreas mais desenvolvidas, junto ao ponto de lançamento.

Na maioria das vêzes essas águas são encaminhadas ao curso dágua existente sem qualquer tratamento depurador. Constituem neste caso uma carga de poluição que o rio recebe e da qual procurará livrar-se com o tempo, através de ações naturais de grande complexidade.

A um dos mais notáveis engenheiros sanitários, Phelps, deve-se uma definição mais completa do que é um rio: "Um rio é algo mais do que um acidente geográfico, uma linha em um mapa, um elemento do terreno. Um rio não pode ser adequadamente descrito simplesmente em têrmos de topográfia e de geologia. Um rio é uma cousa viva, um elemento de energia. de movimento. de transformação"(1).

Em condições normais um rio é capaz de receber uma carga apreciável, eliminando-a gradativamente mediante ações naturais que se processam ao longo de vários quilômetros do seu percurso.

Impurezas comuns aos cursos dágua, tais como, excrementos e cadáveres de animais, restos apodrecidos de vegetais etc., assim como volumes consideráveis de águas de esgoto podem ser estabilizados graças a essa capacidade natural de elaboração.

São êsses processos bio-químicos proporcionados pela própria natureza, os responsáveis pelo conhecido fenômeno da "Auto-depuração".

(*) — Trabalho apresentado e discutido no "Seminário de Engenharia Sanitária", em Caracas maio de 1954.

2. — *Zonas de Poluição nos cursos dágua.*

A capacidade de auto-depuração dos cursos dágua tem seus limites: As águas de esgoto contendo quantidades variáveis de matéria orgânica se caracterizam por uma certa "avidês" de oxigênio ou seja Demanda Bioquímica de Oxigênio (BOD ou DBO). Por isso, se as cargas recebidas pelo curso dágua forem excessivas em relação às disponibilidades de oxigênio poderão resultar condições precárias em certos trechos.
Em um curso dágua que recebe volumes relativamente grandes de águas servidas, podem ser distinguidas três zonas gerais de poluição, que podem ser descritas como segue:

(a) *Zona de degradação.*

Na qual têm início as decomposições das matérias orgânicas, sob a atividade bacteriana, tornando-se as águas progressivamente impróprias aos mistéres da vida.

As águas têm aspecto sujo; as plantas verdes são destruidas. Certos organismos se desenvolvem: Sphaerotilus, Leptomitus; pequenos vermes podem ser observados nos lôdos: Tubifex, Limnodrilus. O teor de oxigênio dissolvido decresce ràpidamente e os peixes emigram ou são destruidos. Os sólidos em suspensão começam a se depositar, constituindo bancos estercorais. Esta zona se estende desde o ponto de lançamento até o ponto em que a taxa de OD cai a cêrca de 40% da saturação.

(b) *Zona de ativa decomposição.*

As águas apresentam-se pardacentas ou negras; nota-se o desprendimento de gáses e mau cheiro. Na superfície das águas apresentam-se lôdos. Nas águas verifica-se intensa decomposição dos corpos orgânicos complexos. O teor do oxigênio dissolvido cai abaixo de 40% e não raro desce até zero. Os peixes são destruidos.

(c) *Zona de recuperação.*

Na qual o curso d'água readquire gradativamente as suas condições normais, em consequência da elaboração dos materiais, à custa do oxigênio cedido pelo ar (aeração superficial) e em parte fornecido pela ação fotosintética de vegetais que liberam o oxigênio. As águas gradualmente vão se tornando mais claras; vegetais verdes reaparecem; os animais inferiores servem de alimento aos peixes; as substâncias solúveis são oxidadas; o oxigênio disolvido eleva-se de cêrca de 40% até atingir pràticamente a saturação.

3. — *Efeitos do lançamento de águas servidas.*

O lançamento de resíduos "brutos" nas águas naturais constitui um problema complexo, que pode acarretar inconvenientes os mais diversos, dependendo estes das condições locais, vazão e natureza das águas de esgotos, vazão e condições físicas, químicas e biológicas das águas receptoras etc.

Na análise das principais consequências podem ser distinguidas:

A — "Poluição Física".

B — "Poluição exclusivamente Química".
C — "Poluição Bio-Química".
D — "Poluição estritamente Bacteriana".

ORGANISMOS INDICATIVOS DA POLUIÇÃO E AUTO-DEPURAÇÃO DOS CURSOS D'ÁGUA

ZONA	ORGANISMOS TÍPICOS
RECUPERAÇÃO	Desaparecimento de peixes e algas verdes. Presença de formas litorâneas de algas longas, verdes e verde-azuladas, presas às pedras frequentemente molhadas. Entre estas algas incluem-se "Stigeoclonium, Oscillatoria e Ulothrix". Organismos nos depósitos e bancos de lodos: vermes vermelhos ("Tubificidae") semelhantes às minhocas, tais como "Tubifex e Limnodrilus". Fungos aquáticos de cores típicas: branco, verde oliva, cinza pardacento, marron tendendo para ferrugem: "Sphaerotilus natans, Leptomitus, Achlya". Protozoarios ciliados ("Ciliata"), tais como "Carchesium, Epistylis e Vorticella".
ATIVA DECOMPOSIÇÃO	Desenvolvimento da flora bacteriana, prevalecendo as bactérias anaeróbias sôbre as aeróbias que tendem a desaparecer para reaparecer posteriormente a juzante da zona . Reduzem-se os protozoários, assim como as bacterias aeróbias, para posterior reaparecimento. Fato idêntico ocorre também com os fungos que não são encontrados nos trechos de condições realmente sépticas mas que se desenvolvem ao fim da zona. Os organismos são filamentosos com coloração rosa, beije e cinza. As algas subsistem apenas em proporções reduzidas ao fim da zona. Os vermes tubifex apenas se apresentam no início e no fim da zona. Encontram-se larvas de moscas e "psychoda", com excepção dos trechos altamente septicos.
DEGRADAÇÃO	Aparecem os protozoarios, rotifera e crustaceos. Os fungos encontram-se presentes em proporções limitadas. As algas vão aparecendo na seguinte ordem: "Cyanophyceae, Chlorophycese" e diatomaceas. Plantas maiores: são encontradas esponjas, briozonas, etc. Entre os organismos do fundo do leito incluem-se: Tubifex, moluscos, caramujos e larvas de insetos. Podem encontrar-se peixes tais como a carpa, "Cetostomidae" e outras famílias mais resistentes.

A poluição física devido às suas consequências desastrosas para a estética é a que mais impressiona os leigos. Assim é que a alteração de côr, a presença de corpos e partículas flutuantes têm um grande efeito sôbre a opinião pública.

A poluição exclusivamente química das águas interiores apresenta os inconvenientes que decorrem do "enriquecimento" dessas águas com substâncias estranhas à sua composição normal.

A poluição bio-química tem sido a forma de degradação melhor investigada. Para a sua previsão e análise já foram estabelecidas as equações gerais do fenômeno com base em pesquisas de extraordinário valor técnico-científico.

As investigações da poluição sob êsse aspecto são de grande interêsse, e geralmente muito agradam aos engenheiros que delas se ocupam.

Contudo o exame dos efeitos de poluição jamais serão completos se ficarem restritos exclusivamente ao estudo do balanço do oxigênio nas águas receptoras.

A presença eventual ou sistemática de organismos patogênicos nas águas receptoras certamente constitui o aspecto de maior significação e interêsse para a Saúde Pública.

De pouco valerá manter-se um elevado teor de oxigênio dissolvido em águas cujas características bacteriológicas sejam más.

4. — *O problema da poluição bacteriana.*

A contagem bacteriana total a 37°C nas águas de esgoto de diversas cidades Norte Americanas apresenta como resultado médio cêrca de 2 000 000/ml (2). Na base de 250 litros de esgoto/habitante êsse valor corresponderia a uma contribuição diária de 500 bilhões de bacterias per capita.

Em São Paulo as contagens feitas levaram a um valor não muito diferente: 2 700 000 bactérias/cm³.

Os seguintes dados, devidos a Hoskins (3) mostram a grande variação dos dados com as estações do ano:

Contribuição bacteriana das águas servidas das cidades de Cincinnati, Louisville, Chicago e Peoria.

Estações	Bilhões de bactérias/hab. dia		
	Gelatina a 20° - 48 hrs.	Agar a 37° - 24 hrs.	Coliformes
Verão	17 067	21 362	383
Inverno	4 038	2 600	124
Média anual	12 240	12 676	249

Obeservações feitas no Distrito Sanitário de Chicago levaram ao resultado de 406 bilhões de coliformes por habitante e por dia, ao passo que em investigações posteriores levadas a efeito em cidades da bacia do rio Ohio o número médio variou entre 222 e 358.

Verifica-se, portanto, que uma estimativa grosseira do número de coliformes nas águas de esgoto poderia ser feita, na falta de outros dados, admitindo-se 250 a 300 bilhões de coliformes per capita e por dia.

A importância desses dados torna-se evidente ao se considerar as suas consequências para os serviços de abastecimento que utilizam águas tratadas de rios contaminados.

Das investigações levadas a efeito durante vários anos pelo U.S. Public Health Service em 32 estações de tratamento de água resultaram dados e conclusões de excepcional valor: Verificou-se que o número de coliformes da água após tratamento é uma função do número de coliformes da água bruta, tendo sido estabelecida a seguinte expressão:

$$E = C.R^n$$

na qual:

E = número de coliformes na água após tratamento (Efluente);

R = número de coliformes na água bruta ("in natura");

C = constante referente à eficiência dos processos de tratamento;

n = parâmetro relativo à constância da qualidade bacteriológica da água a ser tratada.

Como os padrões de potabilidade fixam a tolerância máxima de coliformes nas águas de abastecimento, resultarão valores correspondentes para a água bruta.

Em outras palavras pode-se afirmar que não há razão de ser para a crença até há pouco generalizada, de que se pode purificar qualquer água.

Os processos usuais da técnica de tratamento de água estão limitados a certos valores para que possa haver a segurança desejável nos abastecimentos.

As observações feitas pelo U.S.P.H.S. em grande escala durante 1 ano em 10 estações do Vale do Ohio e durante 5 anos numa estação de tratamento experimental de Cincinnati trouxeram os seguintes resultados(4).

Processos de tratamento	C	n	Valor de R para que E=1
Cloração apenas	0,15	0,22	50/100 ml.
Filtração sem cloração	0,029	0,77	100
Filtração e cloração	0,0008	0,82	6000

O "Ohio River Committee" estabeleceu os seguintes limites de coliformes para as águas brutas a serem aproveitadas em abastecimento público(5):

Categoria	Média mensal do N.M.P./100 ml.	Processos de Tratamento
Desejável	50	Simples cloração
Desejável	5 000	Coagulação, decantação, filtração rápida e cloração
Duvidosa	5 000 — 20 000	O tratamento acima completado por processos auxiliares, inclusive pré-cloração.
Inadequada	Acima de 20 000	—

O Serviço de Saúde Pública dos Estados Unidos recomenda os seguintes padrões para as águas sujeitas a tratamento: "As médias aritméticas

— mensais do Número Mais Provável de organismos coliformes nas captações de águas superficiais não devem exceder 5000 por 100 ml em qualquer mês; êsse número, também, não deve ser excedido por 20% das amostras — examinadas em um mês e finalmente não mais que 5% das amostras devem exceder 20 000/100 ml".

5. — *Auto Purificação Bacteriana.*

De maneira análoga à do problema relativo à poluição bioquímica em que se considera a capacidade de auto-depuração das águas receptoras, ao se examinar o problema da poluição bacteriana, isto é, da contaminação das águas na verdadeira acepção deste têrmo, pode-se e deve-se admitir e ter em conta a capacidade de *"auto purificação bacteriana"*.

A auto purificação bacteriana pode ser definida como sendo o fenômeno responsável pela morte gradativa das bactérias estranhas que são lançadas em um curso dágua.

Na literatura antiga êsse fenómeno foi considerado com certo ótimismo, principalmente, quando se referia à frequência de bactérias patogênicas. Embora a redução dos organismos patogênicos não seja tão rápida quanto se imaginava, o fato é que êsses organismos acabam morrendo e desaparecendo com o tempo (6).

Os dados devidos a Sir Alexander Houston do Metropolitan Water Board, de Londres, relativos à viabilidade de E. Typhi em águas do Río Tâmisa são bastante conhecidos e dão uma idéia qualitativa do fenómeno, relacionando-o à temperatura:

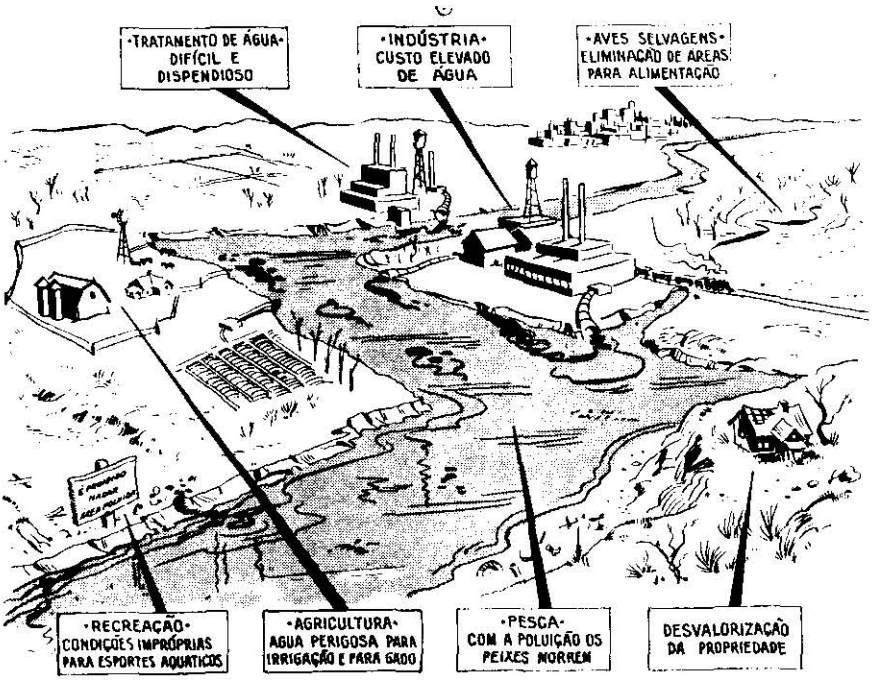
Tempo (Semanas)	Porcentagem de organismos remanescentes					
	0°C	5°	10°	18°	27°	37°
1	47,69%	13,54%	0,39%	0,348%	0,0573	0,00114
2	1,595	0,028	0,0107	0,00073	0,00001	0,00000
3	0,067	0,0124	0,0029	0,00011	0,00000	
4	0,079	0,0085	0,00027	0,00000		
5	0,0038	0,0060	0,00000			
6	0,0025	0,0004				
7	0,0018					
8	0,0008					

Embora possa ser admitida uma certa correlação entre as variáveis "teor de matéria orgânica", "demanda bioquímica de oxigênio" e "número total de germes", a frequência de organismos patogênicos nas águas receptoras é uma incógnita nem sempre devidamente ponderada.

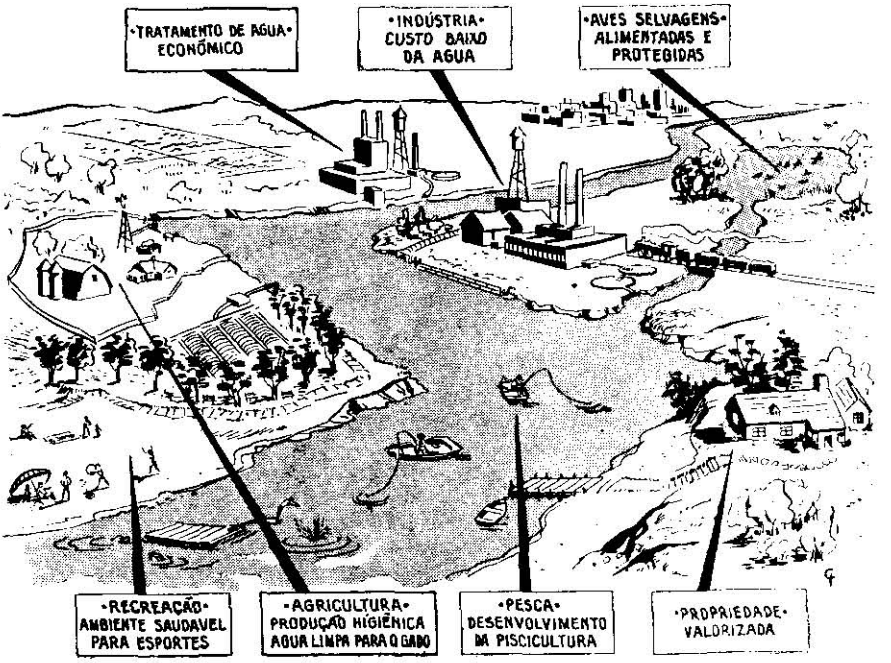
Para cada região poderia ser estabelecida uma correlação entre a contagem total de bacérias e a frequência provável de organismos patogênicos. Em áreas probremente saneadas, estima-se que o esgoto concentrado contem cêrca de 100 000 bacílos da febre fifoide e 10 000 cistos de ameba por litro. O problema da contaminação dos cursos dágua pode apresentar-se com maior gravidade em casos especiais como, por exemplo, o lançamento direto de águas servidas de grandes sanatórios de tuberculose em pequenos córregos.

Verificando-se os dados já divulgados sôbre o assunto da poluição e auto purificação bacterianas, conclui-se ser este um dos campos abertos para futuras investigações.

"A LIMPEZA DOS RIOS INTERESSA A TODOS"



Os males da poluição.



Os benefícios das águas limpas.

6. — *Danos ocasionados pelo lançamento de esgotos brutos nas águas interiores.*

De uma modo geral, os principais danos decorrentes da poluição dos cursos dágua podem ser relacionados e resumidos como segue:

I — *Danos aos abastecimentos públicos de águas situados à jusante do ponto de descarga:*

1 — Contaminação ou poluição bacteriana das águas: O número de Coliformes por centímetro cúbico poderá exceder em alguns casos o limite de 50, máximo estabelecido, para que as águas possam ser tratadas por processos convencionais.

2 — Variações rápidas e imprevisíveis na qualidade das águas receptoras e consequentes riscos e dificuldades para o tratamento das águas de abastecimento.

3 — Poluição química das águas, incluindo substâncias que não serão removidas pelos processos normais de tratamento. Isto poderá causar:

(a) Dureza excessiva;
(b) Corrosão das canalizações de água quente;
(c) Côr, sabor e odor desagrádaveis.

4 — Encarecimento dos serviços de tratamento de águas.

II — *Danos causados aos abastecimentos industriais de água, situados à jusante:*

1 — Poluição química com as suas consequências:

(a) Dureza excessiva;
(b) Corrosão das canalizações;
(c) Operação e manutenção mais dispendiosas das caldeiras;
(d) Limitação para o uso industrial das águas;
(e) Elevação do custo do tratamento das águas.

2 — Obstruções e entupimentos de tomadas dáguas, condensadores e outras instalações, devidos a:

(a) Excesso de substâncias óleosas;
(b) Excesso de compostos químicos;
(c) Outros materiais em suspensão.

III — *Inconvenientes relativos à utilização das águas receptoras para fins recreativos ou práticas desportivas:*

1 — Contaminação bacteriana e infestação de parasitas nas águas, podendo ocasionar:

(a) Febres tifóide e paratifóides;
(b) Disenterias e distúrbios intestinais;
(c) Doenças da pele;
(d) Doenças dos órgãos dos sentidos;
(e) Outras enfermidades e incómodos.

2 — Inconvenientes de ordem estética:

(a) Maus odores das águas
(b) Mau aspecto das águas;
(c) Formação de camadas óleosas nas praias e nos cascos das embarcações;
(d) Matérias em suspensão, corpos flutuantes e depósitos suspeitos.

IV — *Danos causados à indústria da pesca:*

1 — Destruição dos peixes pela:

(a) Asfixia em consequência da redução do teor de oxigênio dissolvido das águas;

(b) Presença de substâncias tóxicas nas águas;

(c) Obstrução das guelras;

(d) Ação de substâncias químicas nas guelras.

2 — Degenerescência e enfraquecimento dos peixes, e em consequência:

(a) Prevalência de doenças;

(b) Ação destrutiva de outros animais.

3 — Desaparecimento de organismos aquáticos inferiores, indispensáveis à subsistência dos peixes.

4 — Obstrução dos locais adequados à deposição dos ovos, pelas formações estercorais.

5 — Destruição de áreas que concorrem com alimentos para os peixes, em consequência da deposição de lôdos.

6 — Substituição natural das espécies mais desejáveis por peixes mais resistentes.

7 — Redução ou eliminação do valor econômico de extensas zonas do rio, considerada a indústria da pesca.

V — *Prejuizos à agricultura e à pecuária:*

1 — Decorrentes da utilização das águas:

(a) Poluição bacteriana da qual poderá resultar a condenação do leite produzido na região;

(b) Poluição química, que pode causar injúrias aos animais, doenças ou mesmo a morte dos mesmos;

(c) Despesas elevadas para a utilização de outros mananciais;

(d) Gastos elevados com cêrcas para evitar o contácto do gado com águas altamente contaminadas.

2 — Depreciação das terras, devido:

(a) Degradação das águas e necessidade de utilização de outros mananciais;

(b) Maus odores das águas;

(c) Aspectos e condições do curso dágua ofensivos aos sentidos;

(d) Presença de substâncias químicas e óleosas nas águas utilizadas para irrigação;

(e) Desprendimento de gáses indesejáveis;

(f) Destruição de plantações em consequência de substântâncias poluidoras agressivas, por ocasião das enchentes e inundações.

VI — *Danos às aves migrantes e outros animais selvagens:*

1 — Destruição do "habitat" pelas substâncias óleosas ou pela deposição de lôdos;

2 — Destruição em consequência da ação de substâncias agressivas ou óleosas no corpo ou nas asas das aves.

VII — *Prejuizos causados à regularização das águas para prevenção de inundações e à drenagem:*

1 — Obstrução dos leitos naturais das torrentes e rios pela deposição de lôdos e residuos industriais;

2 — Obstrução dos canais e canaletas de drenagem pelos mesmos depósitos e consequente majoração das despesas de conservação.

VIII — *Prejuizos causados à navegação:*

1 — Formação de bancos de lôdos nos canais navegáveis.

2 — Ação agressiva das águas e substâncias nelas contidas sôbre as estruturas fixas ou flutuantes da navegação.

3 — Encarecimento da conservação dos canais e estruturas. Necessidade de dragagem.

7. — *Inconvenientes devidos ao lançamento de esgotos "in natura" nas águas litorâneas.*

A poluição marítima, não tão grave quanto à poluição interior, poderá contudo se caracterisar por efeitos adversos para praias, enseadas etc., comprometendo o seu uso.

De um modo geral, as descargas das águas servidas nos oceanos, podem causar os seguintes inconvenientes:

1 — Contaminação bacteriana e infestação de parasitas nas praias, podendo ocasionar:

(a) Doenças intestinais;
(b) Doenças da pele;
(c) Outras enfermidades.

2 — Inconvenientes de ordem estética em praias, enseadas etc.:

(a) Maus odores;
(b) Mau aspecto;
(c) Afloramento de materiais em suspensão e corpos flutuantes suspeitos.

3 — Contaminação de lagostas, ostras e outros mariscos ingeridos pela população.

4 — Outros inconvenientes:

(a) Formação de películas superficiais óleosas;
(b) Constituição de camadas superficiais imundas;
(c) Depósitos de lôdos. Necessidade de dragagem etc.

8. — *Razões para o Tratamento dos Esgotos.*

O tratamento dos esgotos é feito com o objetivo de se evitar parcial ou completamente os inconvenientes já apontados.

A necessidade do tratamento das águas servidas tem sido uma consequência da civilização e do progresso que a caracterisa: O aumento da densidade demográfica e a expansão industrial obrigam a certas medidas sanitárias, entre as quais, o contrôle da poluição.

As razões que justificam o tratamento dos esgostos podem ser resumidas nos quatro pontos seguintes (7):

Razões Higiênicas: Saúde Pública: Para evitar a contaminação direta (banhistas, desportistas, populações marginais etc.), indiretas (verduras, leite etc.) e sôbretudo os efeitos, desastrosos e indesejáveis sôbre os abastecimentos de água à jusante.

Razões Econômicas: Relacionadas ao valor das terras e demais propriedades nas zonas de jusante (depreciadas pela poluição), indústrias da pesca, e da caça, efeitos sôbre as estruturas fixas e flutuantes, indústria do leite etc.

Razões Estéticas de conforto: Para evitar: Mau aspecto, mau cheiro, desprendimento de gáses, materiais supeitos etc. (Os cursos dágua muito poluidos causam a descoloração de pinturas, alteração de metais, irritações nos olhos etc.).

Razões Legais: relacionadas aos direitos de proprietários marginais prejudicados pela situação com a poluição crescente das águas.

9. — *Fases e Processos de Tratamento e respectivas Eficiências.*

O tratamento das águas servidas pode incluir várias técnicas e pode ser feito de maneira a garantir um grau de tratamento compátivel com as condições locais.

As diversas fazes ou graus de tratamento costumam ser classificados:

I — *Tratamentos Preliminares:* Destinam-se à preparação das águas de esgoto para uma disposição ou tratamento subsequente. As unidades preliminares podem compreender:

(a) Grades ou Desintegradores.
(b) Caixas de areia.
(c) Tanques de remoção de óleos e graxas.
(d) Aeração preliminar.

II — *Tratamentos Primários:* Além dos processos preliminares poderão incluir:

(a) Decantação simples (Primária).
(b) Precipitação Química e Decantação.
(c) Digestão dos Lôdos.
(d) Secagem, disposição sôbre o terreno ou incineração dos lôdos resultantes.
(e) Desinfecção.
(f) Filtros grosseiros.

III — *Tratamentos Secundários:* Em adição aos tratamentos precedentes deverá incluir um processo biológico adequado e uma decantação final (secundária).

De um modo geral, o tratamento de esgotos é dispendioso e deverá ser limitado às necessidades reais. Cada caso deve ser estudado cuidadosamente pelo engenheiro sanitarista com o escopo da solução mais adequada e econômica.

Em alguns casos bastam os tratamentos preliminares, como por exemplo; Lançamento ao mar em condições favoráveis, lançamento em rios de grande volume, desejando-se salvaguardar o aspecto estético etc.

Muitas vezes os tratamentos primários são suficientes, produzindo efluentes compatíveis com as condições das águas receptoras.

Outras vêzes é indispensável a fase secundária: Neste caso costuma-se qualificar o tratamento como "completo" ou tratamento em ciclo completo.

As condições locais determinam sempre o grau de tratamento. A tabela seguinte dá indicações sôbre as eficiências que podem ser esperadas em estações de tratamentos:

TABELA I
EFICIÊNCIAS DAS DIVERSAS FAZES DE TRATAMENTO: REDUÇÕES OBTIDAS

Processo	B.O.D.	Sólidos em Suspensão	Bactérias	Coliformes
1 — Grades finas ...	5-10	5-20	10-20	
2 — Cloração de esg. bruto ou decantado	15-30	...	90-95	
3 — Sedimentação simples	25-45	40-70	25-75	40-60
4 — Precipitação química	45-85	65-90	40-80	60-90
5 — Filtração biológica (incl. decantação)	75-90	70-90	90-95	80-90
6 — Lôdos ativados (incl. decant) ..	80-97	85-95	90-98	90-96
7 — Filtros intermitentes de areia .	85-95	85-95	95-98	85-95
8 — Cloração de esgotos tratados biològicamente ...	...	...	98-99	

10. — *Custo das Instalações de Tratamento.*

Como já assinalamos infelizmente o tratamento das águas servidas é relativamente dispendioso.

O quadro a seguir foi preparado com base nos dados de Schroepfer (8) atualizados para 1950, segundo o número índice, aproximado de, 2,5 para 1950/1939. Os valores são em dólares Americanos e representam as despesas por habitante servido.

Processo Tratamento	Custo Inicial (Const. e Equip.	Custo anual de Operação	Despesas totais/ano, incl. juros e amortização
Tratamentos preliminares ..	$ 0,13 - $ 0,20	...	...
Tratamentos primário	$ 4,50 - $ 6,50	$ 0,30 - $ 0,50	$ 0,60 - $ 0,90
Precipitação Química	$ 6,00 - $ 10,00	$ 1,00 - $ 1,40	$ 1,40 - $ 2,00
Filtração Biológica (Alta capacidade)	$ 11,80 - $ 13,20	$ 0,40 - $ 0,70	$ 1,10 - $ 1,40
Lôdos ativados .	$ 13,80 - $ 16,00	$ 1,20 - $ 2,20	$ 2,00 - $ 3.40

Nota: Os valores mais elevados correspondem a estações de pequena capacidade. Tôdas as instalações são completas, incluindo as unidades destinadas ao tratamento e condicionamento do lôdo. Os juros e amortizações estão computados com a taxa de 6% ao ano.

Atualmente, graças a investigações mais recentes, apresentam-se à consideração dos engenheiros sanitáristas, técnicas e processos — que não obstante serem econômicos, podem levar a excelentes resultados. Entre estes inclui-se o tratamento em lagôas de oxidação.

Auto-Depuração dos Cursos D'água – Curva de Depressão do Oxigênio

ROTEIRO PARA O ESTUDO DAS CONDIÇÕES DE LANÇAMENTO. (9)

1. — Tôdas as águas naturais contêm teores variáveis de oxigênio dissolvido, raramente atingindo a saturação. Nos cursos dágua normais o deficit é relativamente pequeno, estabelecendo-se um equilíbrio entre o oxigênio dissolvido e a atmosfera.

   Na tabela III, encontram-se os valores de saturação.

   Os valores apresentados correspondem às condições normais de pressão. Para outras condições de altitude e de pressão barométrica os valores poderão ser ajustados:

$$S' = S \cdot \frac{\text{Pressão em cm de mercúrio}}{76}$$

   A expressão seguinte, devida a Hatfield, permite a determinação do Oxigênio. Dissolvido nas águas doces para temperaturas compreendidas entre 0 e 35°:

   Sendo:

$$\text{O. D. (p. p. m.)} = \frac{0{,}678\,(P - \mu)}{t + 35^{\circ}}$$

   P = Pressão barométrica em mm Hg
   μ = Pressão do vapor d'água, em mm Hg
   t = temperatura, 0°C

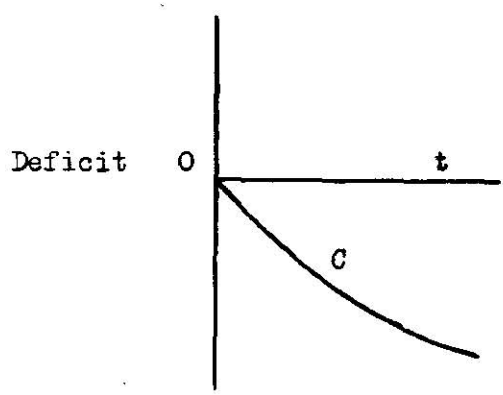
2. — O lançamento de efluentes de esgotos nos cursos dágua causa a depressão do oxigênio dissolvido de modo a satisfazer a *reação da B. O. D.* de águas de esgoto.

   Se não ocorresse a reaeração a curva de depressão do oxigênio seria a indicada abaixo. A equação de satisfação de BOD seria:

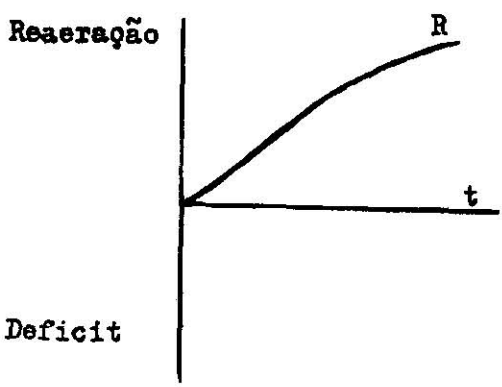
$$y = L\,(1 - 10^{-k_1 t})$$

   em que:

   y = B. O. D. satisfeita no tempo t.
   L = B. O. D. total, 1.º estágio.
   k_1 = taxa de reação da B. O. D. — admitida constante.
   t = tempo expresso em dias.



3. — A *reaeração* das águas do curso dágua, contudo, é iniciada juntamente com a depressão, tornando-se tanto mais intensa quanto maior o deficit, isto é, a diferença entre o O. D. real e o valor de saturação. A reaeração se processa de acôrdo com a equação indicada a seguir e isoladamente é mostrada na figura abaixo:



$$\log \frac{D_a}{D} = k_2 t$$

onde:

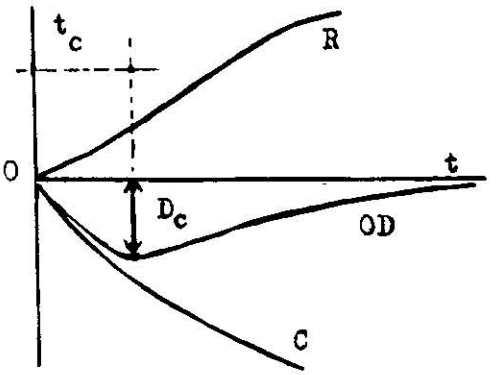
D_a = Deficit inicial de oxigênio dissolvido.

D = Deficit de O. D. após *t* dias.

k_2 = Constante de reaeração (taxa da equação).

t = tempo expresso em dias.

4. — Êsses dois fatos — reação da B. O. D. e reaeração — se verificam simultaneamente. No início a demanda de oxigênio é máxima e a seguir vai decrescendo até zero (quando se completam as reações).
A reaeração, ao contrário, pràticamente nula, no início, vai aumentando com o tempo até sejam alcançadas as condições normais de equilíbrio. Assim, se forem considerados os dois efeitos combinados, chega-se à curva resultante: *Curva de Depressão de Oxigênio* ou curva de Oxigênio Dissolvido:



A equação geral passa a ser:

$$D = \frac{k_1 L_a}{k_2 - k_1} (10^{-k_1 t} - 10^{-k_2 t}) + D_a \, 10^{-k_2 t}$$

em que os simbolos empregados têm os mesmos significados.

Evidentemente há um ponto de máxima depressão onde é mínimo o oxigênio dissolvido: é o *"Ponto crítico"*.

O ponto crítico ocorre após t_c dias ("tempo crítico"):

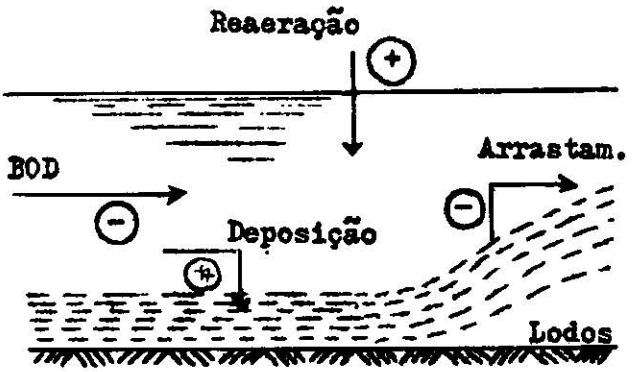
$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_1} \log \frac{k_2}{k_1} \left[1 - \frac{D_a (k_2 - k_1)}{L_a \, k_1} \right]$$

O deficit crítico é dado por:

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} \, . \, L_a \, . \, 10^{-k_1 t_c}$$

5. — Para se manter a vida aquática a taxa de oxigênio dissolvido núnca deverá cair abaixo de um certo limite. Duas e meia partes por milhão é o mínimo para a vida dos peixes (experiências do Ipiranga), porém nessas condições os peixes ficam sujeitos a doenças e degeneram, podendo ocorrer a substituição dos mais fracos pelos mais resistentes. Estabelece-se por isso como *"limite sanitário"* um pouco mais, 3,5 ou 4,0 ppm sendo valores comuns mínimos.

6. — Além dos dois fatores já considerados em (2), reação da B. O. D. ou taxa de desoxigenação, e (3) reaeração das águas, um terceiro fenómeno deve ser levado em conta quando se investiga um certo trecho de um curso dágua: E' o efeito da deposição ou do arrastamento de lôdos.



Se as condições forem tais que permitam a sedimentação e formação de depósitos de lôdos, haverá uma redução na BOD que favorece o equilíbrio do oxigênio. Se, ao contrário, em um certo trecho do curso dágua e em

determinadas condições de vazão e velocidade ocorrer o arrastamento e a elevação de materiais prèviamente depositados, resultará uma demanda adicional de oxigênio, não prevista nas equações já indicadas.

Daí a necessidade de uma terceira equação que tem sido apresentada por Thomas na seguinte forma: Taxa de remoção ou de reintrodução de B.O.D. devido à deposição ou arrastamento $= 23_3 . L$

onde:

k_3 = constante que depende da composição dos resíduos e das condições hidráulicas do curso dágua, e relativa à deposição e arrastamento de lôdos;

L = BOD total, 1.º est., das águas poluidas, no ponto em consideração.

Se considerarmos um longo percurso do rio o valor de k_3 será nulo, porquanto a sedimentação e o arrastamento são fenómenos locais que se compensam.

Nos estudos de lançamento em que se analisa a capacidade de outo-depuração, geralmente tem sido desprezado este terceiro efeito, fazendo-se $k_3 = 0$.

Tal prática é justificável: Se ocorrer a sedimentação em um certo trecho do curso dágua k_3 será positivo, o que vem a favor da segurança.

Por outro lado, o arrastamento dos materiais depositados geralmente se verifica quando a vazão do curso dágua se eleva, o que também é favorável (aumento de vazão).

ESTUDO DAS CONDIÇÕES DE LANÇAMENTO

Na prática ocorrem os seguintes problemas-tipos quando se estuda o lançamento de águas residuárias nos cursos dágua §:

PROBLEMA I : Determinação da Depressão de Oxigênio.

PROBLEMA II : Determinação do Grau de Tratamento requerido.

PROBLEMA III : Determinação da população máxima cujos despejos poderão ser recebidos por um curso dágua.

PROBLEMA I — Determinação da Depressão de Oxigênio. Traçado da Curva. Marcha do Cálculo.

1. — Fixar a vazão média dos esgotos:

No estudo das condições de lançamento (em projetos) considerar a vazão *média* admitida no cálculo do sistema, ou seja a capacidade nominal da futura estação de tratamento. Para o estudo dos efeitos iniciais do lançamento, admitir a vazão média inicial correspondente à população servida existente.

2. — Estabelecer as características das águas de esgoto:

a) B. O. D.;
b) O. D.;

Essas características poderão ser *verificadas*, no caso de cidades já dotadas de serviços de esgotos ou *estimadas* quando se tratar de cidades que ainda não contam com rêde sanitárias, tendo-se por base observações em cidades vizinhas que se assemelham. Geralmente o valor de O. D. — é zero.

§ — Nota: Embora frequentemente indicamos simplesmente "rios" ou "cursos dágua" como corpos receptores, o problema não deverá perder o seu caráter geral ocorrendo casos em que devem ser investigadas as condições de lagoas, represas etc.

3. — Determinar as características do curso dágua:

a) Vazão média e vazão mínima.
b) Velocidade média.
c) B. O. D. das águas.
d) O. D.
e) Investigar a existência de afluentes à juzante, bem como verificar se o curso dágua em consideração aflue para outro rio não muito distante.

Nos cursos dágua que não receberam despejos a B.O.D. é devida a debris, folhas em putrefação etc., e geralmente está abaixo de 5 ppm, sendo frequentemente admitida igual a zero. Para êsses casos o O. D. pode ser estimado com base na Tabela de solubilidade (Tabela III), adotando-se por exemplo 90% da saturação.

4. — Admitir as temperaturas para o estudo.

Por exemplo:

Condições extremas de verão ..... 25° C
Condições extremas de inverno ..... 15° C
Condições médias ..... 20° C

5. — Estabelecer os valores das constantes:

k_1 = constante de B. O. D.
k_2 = constante de reaeração.
k_3 = constante relativa aos depósitos (deposição e arrastamento).

O valor de k_1 geralmente adotado é 0,1. O valor de k_2 depende das carácterísticas do curso dágua. Frequentemente o valor de k_3 é zero.

TABELA II

Temperatura: 20°C	k_2/k_1	k_2 (§)
Pequenas lagoas, pequenos lagos e remansos	0,5 a 1,0	0,05 a 0,10
Rios de escoamento muito lento, grandes lagos e represas	1,0 a 1,5	0,10 a 0,15
Grandes rios de velocidade baixa	1,5 a 2,0	0,15 a 0,20
Grandes rios de velocidade normal	2,0 a 3,0	0,20 a 0,30
Rios de escoamento rápido, córregos ..	3,0 a 5,0	0,30 a 0.50
Corredeiras, cascatas e quédas dágua .	5,0	0,50

(§) — Para k_1 = 0,1.

Para o caso muito frequente de rios medianamente caudalosos com velocidade normal costuma-se tomar k_2 = 0,24.
Os valores das constantes k_1 e k_2 podem ser convertidos para outras temperaturas aplicando-se as seguintes expressões:

$$k_{1,t} = k_{1,20^o} \cdot 1{,}047^{(t-20^o)}$$

$$k_{2,t} = k_{2,20^o} \cdot 1{,}0159^{(t-20^o)}$$

6. — Verificar a $B.O.D._{total\ 1.^o\ est.}$ das águas de esgoto e das águas receptoras antes do lançamento:

$BOD_{total\ 1.^o\ est.}$ = coefic. x $BOD_{5\ dias}$
coefic. = Dado na Tabela (Tabela IV); a 20°C: 1,46

7. — Determinar a $BOD_{total\ 1.\ est.}$ das águas do curso dágua logo após receberem os esgotos (mistura):

BOD no ponto Lanç

$$L_a = \frac{Q_{esg} \times BOD_{tot.\ 1.º\ est.\ esg} + Q_{rio} \times BOD_{tot.\ 1.º\ est.\ rio}}{Q_{esg} + Q_{rio}}$$

8. — Calcular o Deficit de oxigênio no ponto de lançamento (mistura):

deficit inicial

$$D_a = O.\ D._{sat.} - \frac{(Q_{rio} \times O.\ D._{rio} + Q_{esg} \times O.\ D._{esg})}{Q_{rio} + Q_{esg}}$$

Na prática algumas vezes se admite $D_a = O$ (Quando as condições forem muito favoráveis).

9. — Calcular o valor do deficit de oxigênio para diversos valores de t (tempo em dias):

$$D = \frac{k_1\ L_a}{k_2 - k_1}\ (10^{-k_1 t} - 10^{-k_2 t}) + D_a\ 10^{-k_2 t}$$

O cálculo pode ser feito para 1, 2, 3, 5, 10 e 15 dias (t = 1, t = 2, etc).

10. — Traçar a curva de preferência em papel milimetrado. Conhecendo-se a velocidade média das águas pode-se indicar no mesmo gráfico as distâncias quilométricas a partir do ponto de lançamento.

11. — Verificações: deve-se verificar o ponto crítico em que o deficit de oxigênio é máximo; e mínimo o oxigênio dissolvido.

$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_1}\ .\ \log \frac{k_2}{k_1} \left[1 - \frac{D_a\ (k_2 - k_1)}{L_a\ .\ k_1}\right]$$

$$D_c = \frac{k_1}{k_2}\ .\ L_a\ .\ 10^{-k_1 t_c}$$

A distância a que ocorrem as condições críticas será:

$$\text{Dist.} = t_c \times 86400 \times V_{med\ m/s}\ \text{(metros)}$$

12. — Verificar o teor mínimo de O. D. nas águas receptoras (ponto crítico)

$$O.\ D._{min} = O.\ D._{sat.} - D_c$$

Êsse valor deverá satisfazer as condições mínimas ou limites sanitários estabelecidos em leis e regulamentos ou fixados com base nos usos atuais ou prováveis das águas receptoras.

O mínimo admitido geralmente está compreendido entre 3,5 e 4,5 ppm.

OBSERVAÇÃO: Se o curso *dágua receber* um afluente importante ou então, se êle próprio afluir para um rio caudaloso, será necessário considerar trechos independentes, tendo em vista as variações de vazão e de oxigênio dissolvido, procedendo-se aos cálculos da maneira indicada.

PROBLEMA II — Determinação do Grau de tratamento requerido.
Marcha do Cálculo

1. — Fixar a vazão *média* dos esgotos (V. Problema I).
2. — Estabelecer as características das águas de esgoto (V. Problema I).
3. — Determinar as características do curso dágua (V. Problema I).
4. — Admitir temperaturas para o estudo (V. Problema I).
5. — Estabelecer os valores das constantes (V. Problema I).

6. — Fixar as condições mínimas ou limites sanitários para o curso dágua, tendo em vista as leis e regulamentos em vigor, os usos atuais e prováveis das águas, as características da região à juzante etc.

Custuma-se limitar o O.D. a um mínimo compreendido entre 3,5 e 4,5 ppm (4,0 sendo um valor comum).

7. — Determinar o Deficit crítico *permissível* de oxigênio, deficit máximo correspondente ao ponto crítico:

$$D_c = O.\ D._{sat.} - O.\ D._{min.\ estab.}$$

8. — Calcular o Deficit de oxigênio no ponto de lançamento (mistura):

$$D = O.\ D. - \frac{(Q_{rio} \times O.\ D._{rio} + Q_{esg} \times O.\ D._{esg})}{Q_{rio} + Q_{esg}}$$

9 — Se o valor D_a for igual a zero ou pràticamente tomado igual a zero, calcular o tempo crítico pela expressão:

$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_1} \cdot \log \frac{k_2}{k_1} \left[1 - \frac{D_a\,(k_2 - k_1)}{L_a\,k_1}\right]$$

expressão essa que no caso se reduz a

$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_1} \cdot \log \frac{k_2}{k_1}$$

10 — Calcular a carga máxima em $BOD_{total\ -\ 1^o\ estagio}$ que o curso dágua poderá receber, satisfazendo-se as condições limites mínimas:

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} \cdot L_a \cdot 10^{-k_1 t_c}$$

$$\therefore\ L_a = \frac{k_2}{k_1} \cdot 10^{-k_1 t_c} \cdot D_c$$

11. — Determinar o $BOD_{total\ 1^o\ estagio}$ das águas de esgoto:

$$BOD_{total\ 1^o\ estagio} = Coefic. \times BOD_{5\ dias}$$

Coefic.: Dado na Tabela (Tabela IV); a 20°C: 1,46

12. — Verificar o $BOD_{total\ 1^o\ estagio}$ das águas do rio logo após receberem os esgotos (mistura):

$$L = \frac{Q_{esg} \times BOD_{tot.\ 1.^o\ est.\ esg} + Q_{rio} \times BOD_{tot.\ 1.^o\ est.\ rio}}{Q_{esg} + Q_{rio}}$$

13. — Investigar a necessidade tratamento: sob o ponto de vista de autodepuração, e com base nos padrões estabelecidos, será necessário o tratamento de esgotos se: $L > L_a$.

14. — Se o tratamento fôr necessário, calcular o máximo $BOD_{total\ 1^o\ estagio}$ permissível no efluente de esgoto para não sobrecarregar o curso dágua (acima dos limites fixados).

$$L_a = \frac{Q_{esg} \times BOD_{tot.\ 1.^o\ est.\ efl.} + Q_{rio} \times BOD_{tot.\ 1.^o\ est.}}{Q_{esg} + Q_{rio}}$$

O valor de L_a é conhecido (item 10).

$$\therefore\ BOD_{tot.\ 1.^o\ est.\ efl.} = \frac{(Q_{esg} + Q_{rio})\,L_a - Q_{rio} \times BOD_{tot\ 1.^o\ est.\ rio}}{Q_{esg}}$$

15. — Determinar o Grau de tratamento requerido:

$$\% = 100 - \frac{BOD_{total\ 1.^o\ est.\ efl.}}{BOD_{total\ 1.^o\ est.\ esg}} \times 100$$

Comparar o resultado acima com os da Tabela I. Para seleção e adoção do processo de tratamento deverão ser ponderadas as condições técnicas e econômicas, investigando-se também os possíveis fatores adversos. (Por exemplo: a existência de certos resíduos industriais prejudiciais a determinados processos de tratamento, dificuldades no suprimento de energia elétrica etc.).

(9') — Se o valor de D_a for diferente de zero (curso dágua com alguma poluição anterior), admitir um certo BOD para o *efluente* da estação de tratamento, isto é, assumir um certo grau de tratamento e uma redução de BOD correspondente para as águas de esgoto.

(10') — Verificar o $BOD_{total\ 1^o\ estagio}$ das águas de esgoto e das águas receptoras antes do lançamento.

$BOD_{total\ 1^o\ estagio}$ = Coefic. × $BOD_{5\ dias}$.

Coefic.: Dado na Tabela IV;, para 20°C: 1,46

(11') — Determinar o $BOD_{total\ 1^o\ estagio}$ das águas do rio logo após receberem os esgostos (mistura):

$$L_a = \frac{Q_{esg} \times BOD_{tot.\ 1.^o\ est.\ efl.} + Q_{rio} \times BOD_{tot.\ 1.^o\ est.\ rio}}{Q_{esg} + Q_{rio}}$$

(12') — Calcular o tempo crítico. Aplica-se a expressão:

$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_1} \cdot \log \frac{k_2}{k_1} \left[1 - \frac{D_a\,(k_2 - k_1)}{L_a\,k_1}\right]$$

(13') — Calcular o Deficit crítico de oxigênio, resultante das condições admitidas (9'):

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} \cdot L_a \cdot 10^{-k_1 t_c}$$

(14') — Se êsse valor de D_c coincidir com o limite *permissível* (item 7) o grau de tratamento admitido em (9') é aquele que se deverá ter. No caso contrário deverá ser admitido outra BOD para o *efluente* da estação de tratamento, ou seja, outro grau de tratamento, repetindo-se os cálculos dos itens (10') a (13') até que por tentativas seja obtido um resultado satisfatório.

PROBLEMA III — Determinação da população máxima cujos despejos poderão ser recebidos por um curso dágua, obedecidos os limites de poluição tolerável.

1. — Estimar o volume médio das águas de esgoto por habitante em 24 horas. Para isso, pode-se basear em dados disponíveis relativos à comunidade em consideração (se já houver sistema de esgotos) ou referentes a cidades próximas e semelhantes.

Pode-se também estimar êsse volume partindo-se do consumo de água:

vo. esg./hab. dia = Vol_{agua} × coef. red. + Infilt.

Coefic. red.: 0,70 a 1,00. Geralmente 0,75 a 0,85.

2. — Estabelecer as características das águas de esgoto (V. Problema I).
3. — Determinar as características do curso dágua (V. Problema I).
4. — Admitir temperaturas para o estudo (V. Problema I).
5. — Estabelecer os valores das constantes (V. Problema I).
6. — Verificar o $BOD_{total\ 1^o\ estagio}$ das águas de esgoto e do rio (V. Problema I).
7. — Calcular o valor máximo de L_a ($BOD_{total\ 1^o\ estagio}$ das águas do curso dágua logo após o ponto de lançamento — mistura —):

$$L_a = \frac{k_2}{k_1} \cdot 10^{-k_1 t_c} D_c$$

8. — Determinar a maior vazão dos esgotos que o curso dágua poderá receber:

$$L = \frac{Q_{esg} \times BOD_{tot.\ 1.^o\ est.\ esg} + Q_{rio} \times BOD_{tot.\ 1.^o\ est.\ rio}}{Q_{esg} + Q_{rio}}$$

$$\therefore Q_{esg} = \frac{L_a\, Q_{rio} - BOD_{tot.\ 1.^o\ est.\ rio}}{BOD_{total\ 1.^o\ est.\ esg} - L_a}$$

9. — Estimar a População máxima cujos despejos poderão ser lançados:

$$Pop. = \frac{Q_{esg} \times 86400}{Quota/cap}$$

TABELA III

OXIGÊNIO DISSOLVIDO NAS ÁGUAS: Valores de saturação, ppm

Temp. °C	Água Doce Nível do mar	Água Doce São Paulo	Água Salgada, ppm cloretos em C'l		
			10 000	15 000	20 000 §
10	11.33	10.34	10.13	9.55	8.98
11	11.08	10.11	9.92	9.35	8.80
12	10.83	9.89	9.72	9.17	8.62
13	10.60	9.68	9.52	8.98	8.46
14	10.37	9.47	9.32	8.80	8.30
15	10.15	9.27	9.14	8.63	8.14
16	9.95	9.08	8.96	8.47	7.99
17	9.74	8.89	8.78	8.30	7.84
18	9.54	8.71	8.62	8.15	7.70
19	9.35	8.54	8.45	8.00	7.56
20	9.17	8.37	8.30	7.86	7.42
21	8.99	8.21	8.14	7.71	7.28
22	8.83	8.06	7.99	7.57	7.14
23	8.68	7.92	7.85	7.43	7.00
24	8.53	7.79	7.71	7.30	687
25	8.38	7.65	7.56	7.15	6.74
26	8.22	7.50	7.42	7.02	6.61
27	8.07	7.37	7.28	6.88	6.49
28	7.92	7.23	7.14	6.75	6.37
29	7.77	7.09	7.00	6.62	6.25
30	7.63	6.97	6.86	6.49	6.13

§ Nota: Santos: aproximadamente 20.000 ppm de cloretos em Cl.

TABELA IV

B. O. D. Normal : Relações para qualquer número de dias e diferentes temperaturas.

Base: $BOD_{5\ \text{dias}\ 20^{\circ}C} = 1{,}00$

Tempo	10°C	15°C	20°C	25°C
6 horas	0,04	0,06	0,08	0,11
12 horas	0,08	0,11	0,16	0,21
18 horas	0,12	0,17	0,24	0,32
1 dia	0,15	0,22	0,30	0,41
1,5 dia	0,22	0,31	0,43	0,56
2 dias	0,29	0,40	0,54	0,71
3	0,42	0,56	0,73	0,93
4	0,51	0,68	0,87	1,11
5	0,60	0,79	1,00	1,23
7	0,74	0,95	1,18	1,40
10	0,91	1,10	1,33	1,52
15	1,04	1,22	1,42	1,58
20	1,12	1,28	1,46	1,61
25	1,14	1,30	1,46	1,61
1.° Estágio	1,17	1,32	1,46	1,61

TABELA V

Valores de 10^{-kt}

t, dias	k = 0,10	k = 0,125	k = 0,20	k = 0,24	k = 0,25
1	$10^{-0,1 \cdot 0,5}$ 0,7943	0,7499	0,6310	0,5754	0,5624
2	0,5 0,6310	0,5624	0,3981	0,3311	0,3162
3	0,7 0,5012	0,4217	0,2512	0,1906	0,1778
4	0,6 0,3981	0,3162	0,1585	0,1097	0,1000
5	0,3162	0,2371	0,1000	0,0631	0,0562
7	0,1995	0,1334	0,0398	0,0209	0,0178
10	0,1000	0,0750	0,0100	0,0040	0,0032
15	0,0316	0,0133	0,0010	≈0	≈0
20	0,0100	0,0032	≈0		

$\log 10^{n} = n$

$\log 10^{-n} = -n$ and $\log -n = 10^{-n}$

TABELA VI

ABSORÇÃO DE OXIGÊNIO DA ATMOSFERA ATRAVÉS DA ÁGUA A 20°C EM GRAMAS POR METRO QUADRADO POR 24 HORAS (ADMITINDO-SE CONSTANTE O DEFICIT DE OXIGÊNIO, ISTO E' A PORCENTAGEM DE SATURAÇÃO)

NATUREZA DAS ÁGUAS RECEPTORAS	PORCENTAGEM DE SATURAÇÃO DE OXIGÊNIO DAS ÁGUAS RECEPTORAS										
	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	0%
Pequenas lagoas, pequenos lagos, e remansos, 1 m de profundidade	0	0,14	0,34	0,45	0,57	0,68	0,91	1,02	1,14	1,36	1,48
Rios de escoamento muito lento, grandes lagos e represas, 2'm de profundidade	0	0,45	1,02	1,48	1,93	2,50	2,95	3,41	3,86	4,43	4,88
Grandes rios de velocidade baixa, 2 m de profundidade	0	0,68	1,36	2,04	2,72	3,41	4,09	4,77	5,45	6,13	6,81
Grandes rios de velocidade normal, 2 m de profundidade	0	1,02	1,93	2,95	3,86	4,88	5,90	6,81	7,83	8,74	9,78
Rios de escoamento rápido, córregos, 2 m de profundidade	0	1,59	3,18	4,65	6,24	7,83	9,42	11,01	12,49	14,07	15,66
Corredeiras, cascatas e quedas dágua, 1 m de profundidade	0	4,54	10,22	14,76	19,30	23,84	29,51	34,05	38,59	44,27	48,81

EXEMPLOS

PROBLEMA I

Estudar as condições de um curso dágua após o lançamento dos esgotos de 70.000 habitantes de uma cidade.

1) — *Vazão média* dos esgotos

Será considerada uma contribuição média de 170 litros de esgotos por habitante por dia:

$$\text{Vazão} = \frac{70\,000 \times 170}{86\,400} = 137 \text{ litros/seg}$$

2) — *Características das águas de esgoto*

Para a cidade em consideração pode-se admitir:

B.O.D. = 300 p. p. m. (Em 5 dias, a 20°C)

3) — *Características do curso d'água*

a) — Vazão média: 1,5 m^3/seg
b) — Velocidade média: 0 65 m/seg
c) — B.O.D. das águas: O rio não recebe outros despejos; a sua B.O.D. é pràticamente nula.
d) — Oxigênio Dissolvido: Em condições muito favoráveis e em primeira aproximação será admitida a saturação. A altitude sendo baixa encontra-se na Tabela III:

O.D. = 9,17 p p. m.

e) — *Na região considerada não há afluentes importantes.*

4) — *Temperatura admitida*

O estudo será feito para a temperatura de 20°C.
No caso em apreço as condições desfavoráveis do verão serão contrabalançadas pelas vazões mais elevadas do curso d'água (época das chuvas).

5) — *Valores das constantes*

Serão tomados

$k_1 = 0{,}1$
$k_2 = 0{,}24$ (Tabela II)

Considerando-se um longo curso k_3 pode ser admitido igual a zero. O arrastamento de lodos poderá ocorrer por ocasião das cheias, sendo compensado pelas vazões mais elevadas.

6) — *B.O.D. total do 1.º estágio das águas de esgoto*

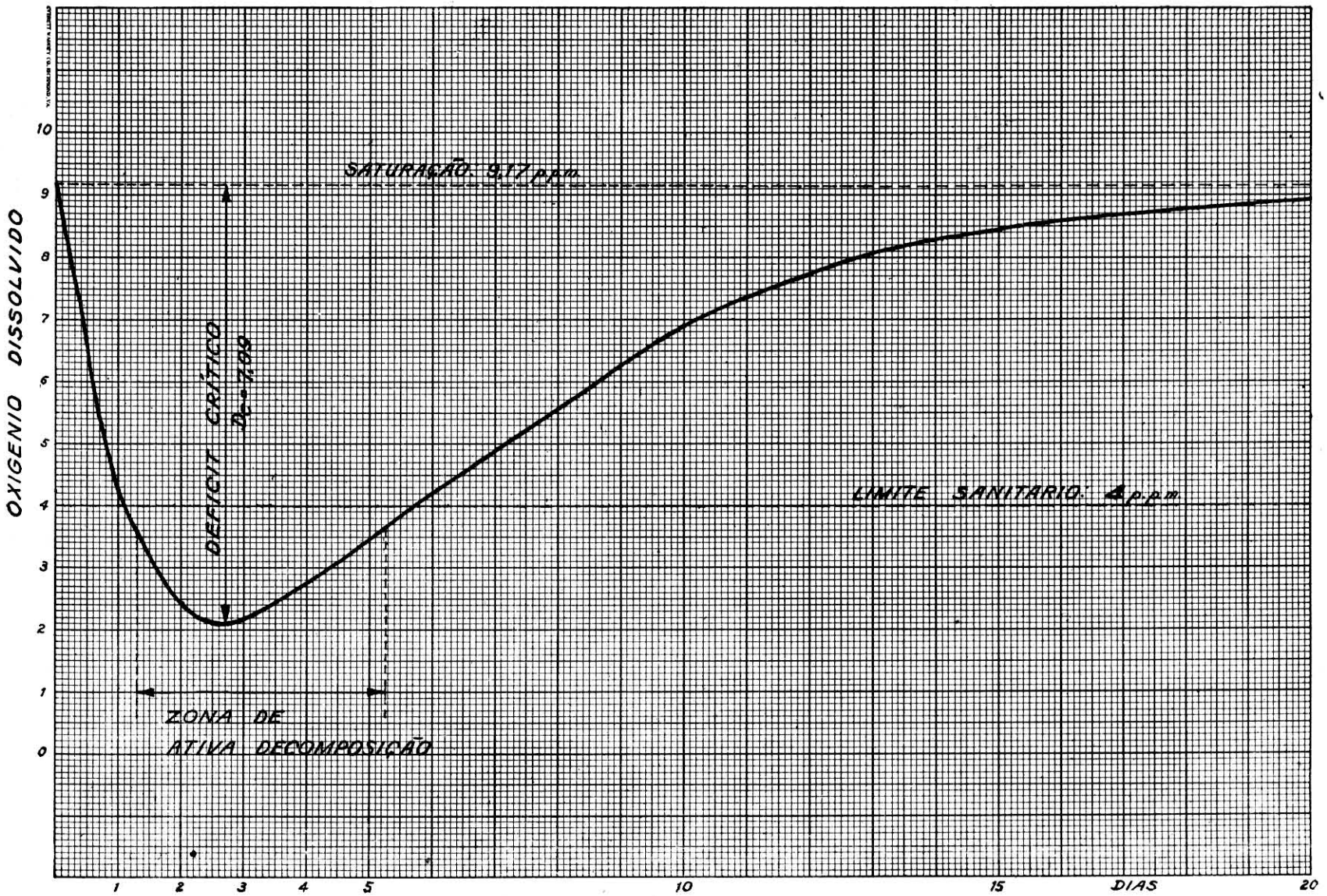
$$\text{B. O. D.}_{\text{total 1.º est.}} = 1{,}46 \times 300 = 438 \text{ p. p. m.}$$

7) — *B.O.D. total da mistura*

$$L_a = \frac{0{,}137 \times 438 + 1{,}500 \times 0}{0{,}137 + 1{,}500} = 31{,}7$$

8) — *Deficit inicial de oxigênio*

$D_a = 0$ (pois que foi admitida a hipótese de saturação de oxigênio no curso dágua, de vazão muito grande em relação à descarga dos esgotos).


OXIGENIO DISSOLVIDO
SATURAÇÃO: 9,17 p.p.m.
DEFICIT CRÍTICO
Dc = 7,09
LIMITE SANITARIO: 4 p.p.m.
ZONA DE
ATIVA DECOMPOSIÇÃO
DIAS
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
1
2
3
4
5
10
15
20

9) — *Cálculo do deficit de oxigênio em diferentes pontos*

$$D = \frac{0,1 \times 31,7}{0,24 - 0,1} (10^{-0,1\,t} - 10^{-0,24\,t})$$

$$D = 22,5\,(10^{-0,1\,t} - 10^{-0,24\,t})$$

PONTOS	$10^{-0,1\,t}$	$10^{-0,24\,t}$	$10^{-0,1\,t} - 10^{-0,24\,t}$	D	O. D.
t = 1 dia	0,7943	0,5754	0,2189	4,91	4,26
t = 2 dias	0,6310	0,3311	0,2999	6,75	2,42
t = 3 "	0,5012	0,1906	0,3106	6,99	2,18
t = 5 "	0,3162	0,0631	0,2531	5,68	3,49
t = 10 "	0,1000	0,0040	0,9960	2,24	6,93
t = 15 "	0,0316	0	0,0316	0,71	8,46

Sat 9,17

10) — *"Oxygen Sag"*

Com esses valores de D e t foi traçada a curva de depressão do oxigênio (Figura).

11) — *Ponto Crítico*

$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_1} \log \frac{k_2}{k_1} = \frac{1}{0,14} \log 2,4 = 2,7 \text{ dias}$$

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} \cdot L_a \cdot 10^{-k_1 t_c} = \frac{0,1}{0,24} \cdot 31,7 \cdot 10^{-0,1 \times 2,7} = 7,09$$

A distância a que ocórrem as condições críticas será:

$$2,7 \times 86400 \times 0,65 = 152\,000 \text{ m} \quad (152'\text{Km})$$

12) — *Oxigênio Dissolvido mínimo* (Ponto crítico)

$$O.D._{mim} = 9,17 - 7,09 = 2,08 \text{ p. p. m.}$$

PROBLEMA II

Determinar o grau de tratamento requerido no caso anterior.

Os itens 1 a 5 já foram estabelecidos ou determinados no problema I.

6) — Se for fixado em 4 p. p. m. o teor mínimo do Oxigênio Dissolvido a ser mantido no curso d'água em condições médias, resultarão:

7) — *Deficit crítico permissível*

$$D_c = 9,17 - 4,0 = 5,17 \text{ p. p. m.}$$

8) — *Deficit de oxigênio no ponto de lançamento*

$D_a = 0$ (já admitido item 8 do problema I)

9) — *Tempo crítico*

$t_c = 2,7$ dias (já calculado, item 11 do problema I)

10) — *Carga máxima admissível* (B.O.D.)$_{total,\ 1^o\ estagio}$):

$$L_a = \frac{0,24}{0,1} \cdot 10^{-0,1 \times 2,7} \times 5,17 = 23$$

11) — *B.O.D. total do 1.º estágio das águas de esgoto*

$$B.O.D._{total\ 1^o\ estagio} = 438 \text{ p. p. m. (V. Item 6 do problema I)}$$

12) — *B.O.D. total do 1.º estágio das águas do rio, logo após o lançamento:*

$$L = 31,7 \text{ (já determinado no item 7 do problema I)}$$

13) — *Verificação da necessidade ou não de tratamento:*

$$\text{Como } L > L_a \ (31,7 > 23)$$

o tratamento será necessário.

14) — *B.O.D. total do 1.º estágio, permissível para o efluente*

$$B.\ O.\ D._{total\ 1.^o\ est.} = \frac{(0,137 + 1,500)\,23 - 1,500 \times 0}{0,137} = 274 \text{ p. p. m.}$$

15) — *Grau de Tratamento requerido*

$$\%\ \text{Remoção} = 100 - \frac{274}{438} \times 100 = 100 - 62,5 = 37,5\ \%$$

Verifica-se portanto que no tratamento deverão ser removidos ..... 37,5% da B.O.D.

Para essa redução será suficiente um bom tratamento primário com as seguintes unidades no caso (70 000 habitantes): grades, caixas de areia, decantadores primários, digestores, leitos de secagem e casa de bombas.

Reduções prováveis:

B.O.D.	35 — 40%
Sólidos em suspensão	55 — 65%
Bactérias	50%

Uma estimativa de custo para instalação seria cerca de:

$$70\,000 \times \$\ 5,50 = 385\,000 \text{ dólares}$$

Admitindo-se a equivalência de um dolar para Cr$ 40,00 como promédio dos custos de construção e de equipamentos, encontraria-se Cr$ 15 400 000,00.

PROBLEMA III

Determinação da População máxima cujos despejos poderiam ser recebidos pelo curso dágua, sem tratamento, respeitado o limite sanitário de 4,0 p.p.m. de oxigênio dissolvido (Em condições médias, a 20ºC).

Os itens 1 a 7 já foram investigados nos problemas anteriores.

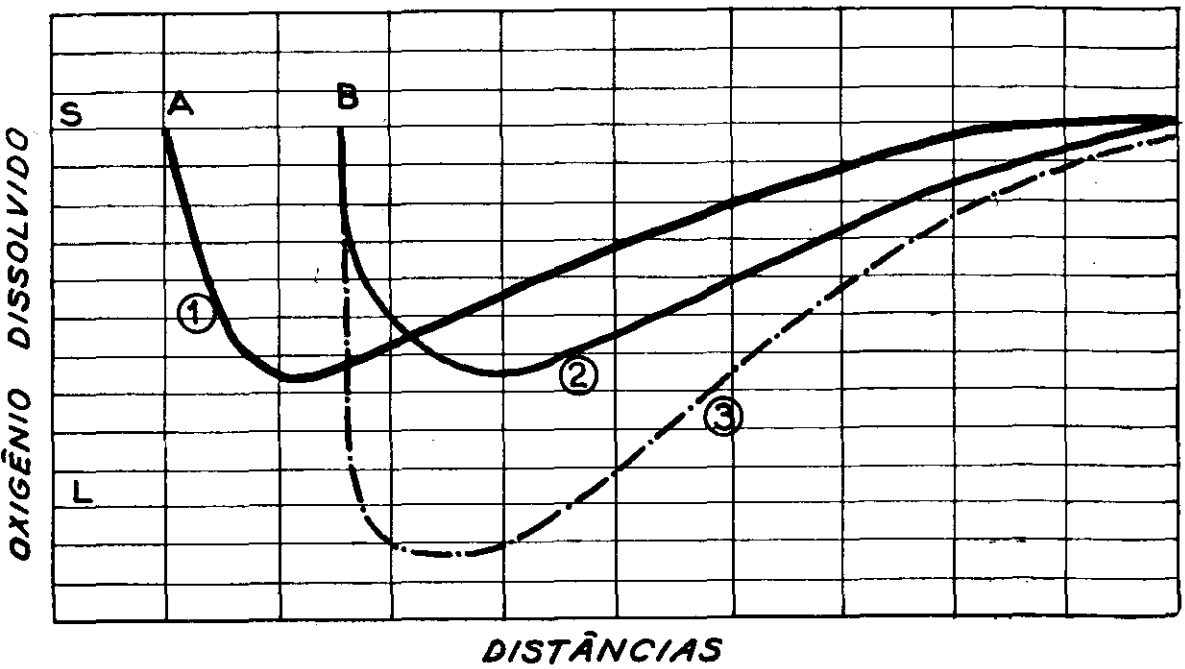
8) — *Vazão máxima de esgotos permissivel no curso d'água*

$$Q_{esg} = \frac{L_a \cdot Q_{rio} - BOD_{total\ 1.^o\ est.\ rio} \cdot Q_{rio}}{BOD_{total\ 1.^o\ est.\ esg.} - L_a}$$

$$Q_{esg} = \frac{2,3 \times 1,5 - 0}{438 - 23} = 0,083 m^3/seg \text{ ou } 83 \text{ litros/seg}$$

9 — *População máxima correspondente:*

$$P = \frac{83 \times 86\,400}{170} = 42\,000 \text{ habitantes.}$$



Efeito combinado de dois lançamentos: Em A uma cidade faz o lançamento de esgotos resultando a curva (1), de depressão do oxigênio; em B ha outro lançamento (uma segunda cidade ou uma grande indústria), correspondendo à curva (2); a curva (3) mostra as consequências acumuladas dos dois lançamentos. A linha S indica o teôr normal de oxigênio, próximo da saturação; a linha L marca o limite sanitário para o O.D.

Referências

(1) Stream Sanitation, E. B. Phelps, John Wiley Sons, New York, 1944.

(2) Sewage-Treatment Works, C. E. Keefer, Mc Graw-Hill Book Co., New York, 1940.

(3) U. S. Public Health Reports, 41, 321 - 1926.

(4) Sewerage and Sewage Disposal, a Textbook, L. Metcalf, H. P. Eddy, McGraw-Hill Book Co., New York, 1930.

(5) Bacterial-Quality Objectives for the Ohio River, O. R. V. Water Sanitation Commission.

(6) Modern Sewage Disposal: "Bacteriological Aspects of Sewage Treatment", Max Levine, pp. 138-157, 1938.

(7) American Sewerage Practice, L. Metcalf, H. P. Eddy Vol III., pp. 337-338, 1940.

(9) Curso de Tratamento de Águas de Abastecimento e Residuárias, J. M. de Azevedo Netto, Faculdade de Higiene e Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 1953.