

Contribuição para o estudo da poluição dos cursos d'agua

Por J. P. Jesus Netto.

Eng.º Ajudante da 2.ª Seção Técnica

I

1 — Tres elementos permitem avaliar a extensão e o gráo de poluição de um curso d'agua, onde se fazem descargas de esgotos ou resíduos industriais: a "demanda" bio-química de oxigênio, o oxigênio dissolvido, e o balanço do oxigênio das aguas.

2 — A demanda de oxigênio, designada pelos higienistas inglezes e norte-americanos pela notação "B. O. D."(1), é o oxigênio exigido para oxidar a matéria orgânica, até um certo gráo. O oxigênio dissolvido é o que se encontra disponível nas aguas, — provindo particularmente do ar atmosférico, e de um modo geral da ação fotosintética da vegetação aquática clorofilada, e de elementos minerais como os nitritos e nitratos.

O oxigênio dissolvido das aguas é absorvido para satisfazer a demanda bio-química. A relação entre este e aquele, é o que se chama "balanço" do oxigênio.

3 — Se o oxigênio dissolvido presente excede à demanda bio-química, — haverá um saldo em oxigênio dissolvido, as aguas serão imputrescíveis, e o balanço será positivo; se o oxigênio existente é igual ao B. O. D., as aguas ainda serão estaveis, e o balanço será zero, — assumindo-se que não exista oxigênio disponível dos nitritos e nitratos; se por outro lado, o oxigênio dissolvido é menor que a demanda bio-química, haverá um "deficit" em oxigênio dissolvido, o balanço será negativo, e as aguas, neste caso, serão putrescíveis.

Convém, porém, assinalar que, enquanto prevalecer nas aguas uma parcela de oxigênio dissolvido, não haverá logar para a putrefação; esta aparece com todo o seu cortêjo ofensivo, quando a exaustão do oxigênio é completa.

4 — A degradação da matéria orgânica dos esgotos reduz-se, de um modo geral, a dois grandes tipos de decomposição, ambos de carater bio-químico: — decomposição anaeróbica ou putrefação, e

(1) — "Biochemical Oxygen Demand".

decomposição aeróbica ou oxidação. A primeira é operada por intermédio de organismos vivos, que subsistem na ausência relativa do oxigênio livre, e a segunda por organismos que requerem oxigênio livre para satisfazer as suas atividades. Entre os organismos ativos, nos dois casos, predominam as bactérias.

- 5 — Os produtos finais da putrefação são constituídos principalmente por metana (CH_4), hidrogênio (H_2), sulfureto de hidrogênio (H_2S), bióxido de carbono (CO_2), e compostos intermédios que são, na maioria dos casos, volateis e ofensivos. A oxidação caracteriza-se por produtos finais, como o CO_2 , nitratos (NO_3), sulfatos (SO_4), e outros compostos de carater inofensivo
- 6 — Os compostos azotados, carbonáceos e sulfurados dos esgotos têm ciclos de decomposição bem marcados na natureza. Assim é que a matéria orgânica azotada é preliminarmente decomposta pela atividade bacteriana, aparecendo o nitrogênio sob a fórmula de amoníaco (NH_3).

Por oxidação ou nitrificação, e por intermédio da atividade de dois grupos distintos de bactérias nitrificadoras, aquele composto é convertido — primeiro, em nitritos e a seguir em nitratos.

Os nitratos servem de alimento aos vegetais, que fixam o nitrogênio, sob a fórmula de proteínas. Pela morte dos vegetais, as proteínas retornam novamente à primitiva fórmula de matéria orgânica azotada. Se porém, os vegetais são consumidos por animais, parte do nitrogênio é transformada em proteína animal, e parte é regeitada. Os produtos azotados, regeitados pela atividade animal, compõe-se de matéria orgânica azotada, e uréia; esta última é finalmente transformada em amoníaco, sob a ação de um grupo especial de bactérias.

De qualquer fórmula, o ciclo completa-se para recommençar de novo. Alguns desvios têm lugar, todavia no ciclo do nitrogênio. Assim por exemplo, certos grupos de bactérias reduzem os nitratos em nitrogênio gazoso, — fenómeno este designado sob o nome de “desnitrificação” ou “redução”.

Outras modalidades de desnitrificação apresentam-se, sob a fórmula de redução inversa de nitratos a nitritos e amoníaco, e liberação de nitrogênio gazoso.

O nitrogênio livre é, por outro lado, fixado por intermédio de bactérias, integrando-se no tecido de certos vegetais leguminosos; e as próprias bactérias utilizam-se do amoníaco, convertendo-o na matéria viva de suas próprias células.

- 7 — Quanto à matéria orgânica carbonácea, a sua decomposição produz gás carbônico (CO_2), ou carbonatos.

O CO_2 é convertido por foto-síntese clorofiliana, — isto é, pela ação conjunta da clorofila dos vegetais e da luz solar, — em carboidratos, que se transformarão posteriormente, por via fisiológica, em elementos graxos e proteínas. Absorvendo CO_2 , em presença da luz, os vegetais liberam oxigênio, enquanto que na ausência daquela, dá-se o inverso, com absorção de oxigênio e

liberação de CO_2 (respiração). Com a morte do vegetal recomeça o ciclo. Os animais que se nutrem dos vegetais, transformam, por seu turno os elementos de que estes se compõem, em tecidos animais, regeitando certos produtos finais, provenientes de cada ciclo fisiológico. Por outro lado, os animais, pela respiração, absorvem oxigênio, expelindo CO_2 .

8 — No que tóca aos compostos de enxôfre, a decomposição da matéria orgânica sulfurada, na ausência do oxigênio livre, resulta na produção de sulfuretos e hidrogênio sulfurado. Na presença do oxigênio, certo grupo de bactérias oxida o H_2S , produzindo enxôfre e sulfatos; estes últimos ainda podem ser reduzidos, como sucede com os nitratos e nitritos, em H_2S .

9 — Póde-se ajuntar, intimamente associado que é às reações que caracterizam as decomposições da matéria orgânica, o ciclo da agua.

As bactérias, e outras fôrmas vivas primitivas, não pódem exercer as suas funções químico-biológicas na ausência da agua. E' preciso assinalar que este elemento não aparece apênas como preventivo da dessecação, ou como meio apênas apropriado para a elaboração dos elementos nutritivos; a agua age ativamente na síntese e na análise das substâncias orgânicas. A adição da agua à molécula, ou hidrólise, tem a propriedade bem definida de converter a substância orgânica, à qual se ajunta agua, em compostos mais sîmples e mais soluveis.

10 — O oxigênio desempenha, como se está vendo, papel preponderante nas reações bio-químicas que caracterizam a degradação da matéria orgânica por aerobiose. Pasteur pôz esse elemento em grande destaque quando descobriu a atividade química dos levêdos e das bactérias. Partindo das descobertas desse grande sábio, foi possível estabelecer como os elementos orgânicos constitutivos dos líquidos de esgotos, podem retornar ao reino mineral, através de fâses e etapas sucessivas. A experiência móstra ainda que a degradação dos esgotos, nos cursos dagua, não póde ser completa sem o concurso do oxigênio livre. Este deve estar presente, no mínimo para as reações finais, em particular para a destruição do hidrogênio sulfurado. De sorte que o poder auto-depurador dos rios, lagos e riachos, é função da maior ou menor existência de oxigênio dissolvido nas suas aguas.

11 — O papel preponderante do oxigênio na degradação da matéria orgânica sugeriu aos experimentadores a idéa de avaliar a matéria orgânica duma dada agua, pelo oxigênio livre consumido por essa mesma agua, em determinado tempo e á temperatura constante; daí a origem da demanda de oxigênio (B.O.D.) dos higienistas inglezes e americanos, — ou seja, como já foi dito, — o oxigênio exigido para a oxidação da matéria orgânica, até um certo limite. As avaliações do "B.O.D." envolvem a determinação do "oxigênio dissolvido", e da relação comparativa entre estes dois elementos resulta, como já se disse, o "balanço do oxigênio".

12 — Com a ajuda desses tres fatores é de certo modo possível, nos cursos dagua, onde são descarregados líquidos de esgotos ou resíduos industriais, avaliar:

- a intensidade de poluição provocada pelos esgotos;
- a capacidade de auto-depuração do curso dagua receptor;
- e as medidas indicadas para limitar a poluição a este poder auto-depurador.

O "B.O.D." é bem uma medida científica quantitativa da intensidade de poluição de uma dada agua. Quanto à capacidade auto-depuradora de um curso dagua, — embóra constitúa quasi sempre um problema bastante complexo, — é ela todavia suscetível de uma avaliação, se considerarmos a influência marcada do oxigênio nesse fenômeno. De fáto, pela sua superfície constantemente em contáto com o ar, os cursos dagua dissolvem continuamente oxigênio; este oxigênio vem substituir aquele que foi consumido pelos fenômenos da degradação do material orgânico.

É evidente que, sem uma renovação rápida e contínua de oxigênio atmosférico, seria impossível o ciclo de decomposições por auto-depuração. Deste modo, a "velocidade de dissolução" (ou "reaeração") do oxigênio no curso dagua constitúe o fator mais importante para a estimativa da respectiva capacidade depuradora. Do balanço do oxigênio é possível, finalmente, tirar as bases para o diagnóstico e prognóstico de cada caso considerado, bem como o remédio adequado ao equilíbrio do curso dagua afetado.

13 — As determinações do oxigênio dissolvido nas aguas poluídas são feitas, na maioria dos casos, pelo método de Winkler.

Nas aguas fortemente poluídas, com altos teores de nitritos, sais de ferro, e certos compostos orgânicos, que pódem ser causa de erros, costuma-se empregar o método modificado de Rideal-Stewart, que dará resultados mais apurados. Todavia, segundo Theroux, o efeito dos nitritos pódem ser reduzido a um mínimo, se o laboratório seguir cuidadosamente a técnica do método ordinário de Winkler.

14 — As determinações de oxigênio dissolvido pelo método de Winkler obedecem a seguinte técnica, facilmente accessível a qualquer operador: —

I — Reagentes: —

- A — *Solução de sulfato manganoso* = Dissolver 480 gramas de sulfato manganoso cristalizado, em agua distilada, até perfazer 1 litro.
- B — *Iodureto de potássio alcalino* = Dissolver 500 gramas de hidróxido de sódio e 150 gramas de iodureto de

potássio, em agua distilada, até completar 1 litro de solução.

- C — *Solução de tiosulfato de sódio* — 0,025 N — É costume preparar-se uma solução normal forte, mais duradoura, para "stock" do laboratório, como se segue: —
- a) — Dissolver exatamente 24.820 gramas (1) de tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) em agua distilada, até 1 litro;
 - b) — Adicionar 1,5 gramas de carbonato de amônio e 5 ml. (cent. cubicos) de clorofórmio como preservativo, — solução esta que tambem deve ser preservada pela adição de 0,2 %, em peso, de hidróxido de sódio.

Esta solução "stock" é 0,1N, e considera-se suficientemente exata para ser diluida nas várias determinações de laboratório, inclusive as de oxigênio dissolvido. A sua duração é, não obstante, relativamente curta (cêrca de 3 semanas), de sorte que precisa ser frequentemente renovada. Deve ser guardada em frascos escuros, ao abrigo da luz.

A solução C — 0,025 N, mais fraca, é preparada usando-se a solução "stock" — 0,1N, confôrme a seguinte fórmula de diluição:

$$\frac{25}{0.1} = \text{ml. de solução "stock" — 0,1N, a ser dilui}$$

da em agua distilada, para fazer 1 litro de solução 0,025 N de tiosulfato de sódio. Adiciona-se 5 ml. de clorofórmio para preservativo. Deve ser renovada cada duas semanas.

- D — *Indicador de amido* — Fazer uma pasta fina de mais ou menos 2 gr. de um bom amido, em agua fria; despejar em 200 ml. de agua fervente, mexendo. Depois de frio, ajuntar algumas gotas de clorofórmio, como preservativo.
- E — *Acido sulfúrico concentrado* — Densid. 1.83.

II — Operação — (Theroux):

- 1 — Colhe-se a amostra em um frasco de rólha esmerilhada, cortada em bisél, de mais ou menos 250 ml. de capacidade, evitando-se cuidadosamente o contáto da amostra com o ar. O frasco déve ser completamente cheio. As amostras devem ser tomadas, de preferência, longe das margens do curso dagua, evitando-se revolver os depósitos sedimentados no fundo; (2)

(1) — O pêso equivalente do tiosulfato de sódio cristalizado é 248,12, de sorte que este pêso, diluido a 1 litro, dá uma solução 1 N de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

(2) — Para maiores detalhes vêr "Standard Methods Water Analysis".

- 2 — Imediatamente após a colheita da amostra, adiciona-se 1 ml. da solução *A* (sulfato maganoso), por meio de uma pipêta graduada, cuja extremidade inferior deve ser mergulhada abaixo da superfície do líquido contido no frasco;
- 3 — Ajunta-se do mesmo modo, 1 ml. da solução *B* (iodurêto de potássio alcalino);
- 4 — Arrolha-se o frasco, e mistura-se, invertendo-o várias e repetidas vezes, até a completa formação do precipitado;
- 5 — Espera-se o precipitado assentar e adiciona-se 1 ml. de acido sulfúrico concentrado (*E*), misturando-se como acima, até completa dissolução do precipitado (liberação do iodo), deixando-se a solução repousar durante pelo menos 5 minutos;
- 6 — Toma-se 100 ml. desta solução (5) em um frasco de Erlenmeyer, e titula-se com a solução normal *C* (tiosulfato de sódio 0.025 *N*), até que a coloração amarela do iodo desapareça quasi completamente;
- 7 — Adiciona-se mais ou menos 1 ml. da solução *D* (indicador de amido), e continua-se a titulação até que desapareça completamente a coloração azul da reação do iodo sobre o amido.

Nota-se o numero de ml. de tiosulfato empregado, fazendo-se finalmente o cálculo seguinte:

ml. de tiosulfato $0.025N \times 2 = p.p.m.$ (°) de oxigênio dissolvido.

- 15 — A modificação de Rideal — Stewart obedece à seguinte técnica:

I — Reagentes :

Os mesmos *A*, *B*, *C*, *D*, e *E*, do método comum de Winkler, e mais os seguintes :

F — *Permanganato de potássio* — Dissolver 6.3 grms. de permanganato de potássio em 1 litro de agua distilada;

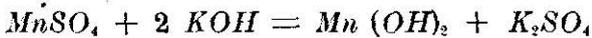
G — *Oxalato de potássio* — Dissolver 20 grms. de oxalato de potássio em agua distilada, até 1 litro.

II Operação :

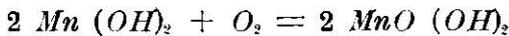
- 1 — Imediatamente após a colheita da amostra, adiciona-se 0.7 ml. de acido sulfúrico concentrado (*E*), e 1 ml. da solução *F* (permanganato), por meio de pipêtas, abaixo da superfície do líquido contido no frasco. A coloração rósea comunicada ao líquido deve persistir durante pelo menos 20 minutos. Se tal não acontecer, ajunta-se mais 1 ml. de permanganato; se ainda fôr insufficiente, usa-se uma solução mais forte;
- 2 — Vinte minutos depois, (permanecendo a coloração rósea), adiciona-se 1 ml. da solução *G* (oxalato de potássio), arrolha-se o frasco, e mistura-se, até o desaparecimento da coloração;

(2) — p. p. m = partes por milhão, ou miligramas por litro.

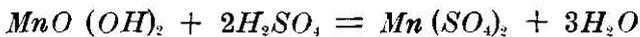
- 3 — Ajunta-se então 1 ml. da solução *A* (sulfato manganoso) e 3 ml. da solução *B* (iodurêto de potássio alcalinizado), arrolhando-se o frasco e misturando;
- 4 — Adiciona-se 1 ml. de ácido sulfúrico concentrado, e mistura-se até dissolução do precipitado e liberação do iodo. Procede-se à titulação e o respectivo cálculo de oxigênio dissolvido do mesmo modo como já ficou explanado em 5,6 e 7 do método ordinário de Winkler.
- 16 — As reações que caracterizam as várias fases do método de Winkler, pôdem ser expressas pelas seguintes equações: — o sulfato manganoso reage sobre o hidróxido de potássio, na solução de iodurêto de potássio alcalinizado, produzindo um precipitado flocculento, branco, de hidróxido manganoso, ou:



Se o precipitado fôr branco, não haverá oxigênio dissolvido no líquido sob análise; se o precipitado fôr pardacento escuro, quer dizer que o oxigênio esteve presente, reagindo sobre o hidróxido manganoso, resultando num óxido mangânico básico:



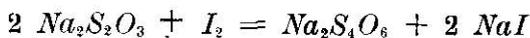
Sob a ação do ácido sulfúrico, este precipitado é dissolvido, formando sulfato mangânico:



Uma reação imediata tem lugar entre este composto e o iodurêto de potássio previamente adicionado, com liberação de iodo, e consequente coloração típica do iodo no líquido sob análise:



A quantidade de iodo liberado é equivalente à quantidade de oxigênio presente no líquido (iodometria), e é determinada por titulação com tiosulfato de sódio:



A solução de tiosulfato terá uma concentração tal que 1 ml = 0,2 mg. de oxigênio.

Calcula-se a normalidade dessa solução como se segue:

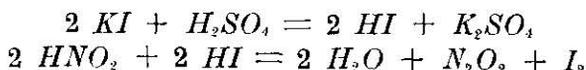
$$a = 0,2 \text{ mg. por ml.} = 0,2 \text{ grs. por litro;}$$

$$b = \text{Equivalência do oxigênio} = 8,0$$

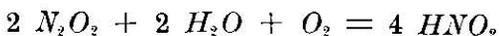
$$c = \text{normalidade da solução} = \frac{a}{b} = \frac{0,2}{8,0} = 0,025 \text{ N}$$

- 17 — O erro que pôde advir da presença de nitritos ocorre no momento em que a solução é acidulada pelo H_2SO_4 . Em meio áci-

do, os nitritos reagem sobre o iodurêto de potássio, pondo iodo em liberdade:



Se a reação se completasse nesta fase, o erro causado pela presença de nitritos seria desprezível; mas se a amostra demorar exposta ao ar, o oxigênio que ela irá dissolvendo, reage sobre o N_2O_2 , continuando a produzir nítritos:



Este nítrito, evidentemente liberará mais iodo, e pôde assim, ao fim de certo tempo, introduzir erros apreciáveis na análise.

Tal inconveniente pode, porém ser afastado pela imediata titulação da amostra, evitando-se a sua prolongada exposição ao ar.

- 18 — Na modificação de Rideal-Stewart, os nitritos, ferro e elementos orgânicos são oxidados pelo permanganato de potássio, até um ligeiro excesso deste reagente na solução sob análise, — excesso que é posteriormente removido pela adição de oxalato de potássio. Convém lembrar que um exagerado excesso de oxalato de potássio é também causa de erro no resultado final, de sorte que a sua adição deve ser operada com cuidado.
- 19 — A determinação da demanda bio-química de oxigênio (B. O. D.) é, como já se sabe, uma medida do oxigênio exigido para a oxidação da matéria orgânica de uma dada agua, através da atividade bacteriana.

O *test* consiste, em síntese, nas determinações do oxigênio dissolvido antes, e depois de um período de incubação da amostra, à temperatura de 20°C, — período este usualmente limitado a 5 dias. Se a demanda de oxigênio da agua sob análise fôr maior que o oxigênio nela disponível, é preciso diluí-la, de modo a fornecer-lhe um excesso daquele elemento. E' evidente que a taxa dessa diluição depende do valor da demanda; deve em todo o caso ser tal que resulte num residual de oxigênio dissolvido de, pelo menos 1.5 a 2.0 p. p. m., depois do período de incubação. Assim, para líquidos de esgotos ou resíduos industriais, cuja demanda é desconhecida, é necessário que se opere sobre um certo numero de diluições, de modo a se obter uma que satisfaça as condições impostas.

- 20 — Existem certos fatores que interferem na oxidação bacteriana da matéria orgânica, e por conseguinte na demanda bio-química de 5 dias. Dentre estes, os mais importantes são os que se referem ao valor do pH, tipo da agua empregada nas diluições, e teor bacteriano da agua sob análise.

O pH ótimo está ordinariamente contido entre 7.0 e 7.6; em certos casos especiais ha que se ajusta-lo antes da incubação. Se a amostra é de um líquido esterilizado (efluentes de esgoto desin-

fetados), ou de uma agua que não contenha flóra bacteriana, é necessário submete-los a uma prévia sementeira microbiológica antes da incubação.

Relativamente à agua das diluições, mais adiante será dado o tipo "standard" a empregar, — tipo até agora aceito pelos técnicos, e facilmente preparado para "stock" do laboratório. Como se está vendo, não é possível estabelecer regras gerais abrangendo todos os casos, dentro dos quais se podem enquadrar os "testes" do B. O. D.

O método que a seguir vai exposto satisfaz, todavia, a quasi totalidade dos casos correntes de determinação da demanda bio-química de oxigênio.

21 — As determinações do B.O.D. nas aguas poluidas comportam dois casos: —

1.^o caso — A agua está fracamente poluida, e contém oxigênio dissolvido suficiente para satisfazer a demanda de 5 dias. Neste caso:

1 — Toma-se duas amostras conforme já foi assinalado para o oxigênio dissolvido (paragrafo 14), usando-se o mesmo tipo de frasco de rôlha esmerilhada. Faz-se uma determinação do oxigênio dissolvido de uma das amostras, imediatamente após a colheita; é o oxigênio dissolvido (O. D.) antes da incubação;

2 — Incuba-se a outra amostra durante 5 dias, à temperatura de 20°C. Ao fim deste tempo, determina-se o oxigênio dissolvido da amostra incubada: é o O. D. após incubação.

Uma simples subtração dará o valor do B. O. D., ou [p. p. m. de O. D. antes da incubação] — [p. p. m. de O. D. depois da incubação] = p. p. m. de B. O. D. à 5 dias.

2.^o caso — A agua está intensamente poluida, e não contém oxigênio suficiente para satisfazer a demanda. Neste caso é preciso diluir a amostra em uma agua convenientemente arêjada, de modo a supri-la de um excesso de oxigênio dissolvido.

A agua para as diluições é preparada para "stock" do laboratório, como se segue (Theroux):

Adiciona-se mais ou menos 6 grms. de bicarbonato de sódio em 20 litros de agua destilada. Esta agua deve ser arêjada, durante alguns dias, por borbulhamento de ar na massa líquida, até que o teor de oxigênio dissolvido se mantenha acima de 7.0 p.p.m. Esta agua deve repousar no laboratório pelo menos 2 semanas, antes de ser usada.

A determinação do B. O. D. segue-se como abaixo:

- 1 — Toma-se duas ou mais amostras conforme especificado no 1.^o caso;
- 2 — Sifona-se 750 ml. da agua de diluição adrede preparada, em um frasco calibrado de um litro de capacidade;
- 3 — Sifona-se 250 ml. da amostra na agua de diluição contida no frasco calibrado, misturando-se cuidadosamente, procurando-se sempre evitar a aeração da agua. Esta diluição é a 25%;
- 4 — Enche-se dois frascos de rôlha esmerilhada de 250 ml., por sifonagem, com a diluição do frasco calibrado;

- 5 — Esvasia-se, sempre por sifonagem, a diluição contida no frasco calibrado de um litro, deixando-se neste apenas 400 ml da diluição a 25% ;
- 6 — Adiciona-se agua de diluição aos 400 ml. que ficaram no frasco calibrado, até completar 1 litro, enchendo-se, como acima, mais dois frascos de 250 ml. desta nova diluição, que é agora a 10% ;
- 7 — Põe-se dois frascos, — um de cada diluição (25% e 10%) em incubação durante 5 dias à 20°C;
- 8 — Faz-se a determinação do oxigênio dissolvido, imediatamente, das diluições contidas nos dois outros frascos, — e depois de 5 dias determina-se o oxigênio dissolvido das diluições a 25% e a 10% incubadas.

O B. O. D. será :

$$\frac{[\text{p. p. m. O. D. antes da incubação}] - [\text{p. p. m. O. D. depois da incubação}]}{\% \text{ da diluição}} \times 100 = \text{p. p. m. B. O. D. á 5 dias}$$

- 22 — Ocorre lembrar que a técnica de laboratório até aqui indicada, refere-se a testes de "aguas poluidas" (cursos dagua, lagos, lagoas). As determinações de oxigênio dissolvido nos líquidos de esgotos e resíduos industriais, quando têm logar, são feitas conforme a técnica já descrita para as aguas poluidas, usando-se o método de Winkler ou a modificação de Rideal-Stewart, sem outras alterações.

O B. O. D. dos líquidos originais de esgotos ou de resíduos industriais, exigindo um certo número de diluições, é determinado porém como se segue:

- 1 — Lava-se prèviamente os frascos de rôlha esmerilhada, de 250 ml. destinados às amostras, com a seguinte solução:
Dissolver mais ou menos 100 gramas de bicromato de potássio comercial, em 375 ml., de agua distilada, e completar a solução até 1 litro, com ácido sulfúrico concentrado, adicionando-se o ácido aos poucos, mexendo constantemente com uma baguêta de vidro;
- 2 — Uma vez limpos e sêcos os frascos, procede-se ao enchimento de um frasco com agua de diluição (parágrafo 21 — 2.º), que irá à incubação juntamente com as amostras diluidas;
- 3 — As diluições do líquido de esgoto são feitas como se segue: —
 - a) — Diluições de 1% ou mais da amostra:
Mede-se a capacidade dos frascos em ml. Enche-se até a metade com a agua de diluição (parágrafo 21 — 2.º), por sifonagem. Completa-se o enchimento do frasco, ajuntando-se-lhe a quantidade de amostra de esgoto necessária para a porcentagem desejada (1% ou mais), e agua de diluição até enchimento completo;
 - b) — Diluições menores de 1% da amostra:
Sifona-se 500 ml. de agua de diluição em um frasco calibrado de 1 litro, prèviamente limpo como neste paragrafo (nº 1).

Adiciona-se a quantidade de amostra requerida para o tipo de diluição escolhido (menos de 1%), e completa-se o enchimento do frasco até 1 litro, com a agua de diluição;

4 — As determinações do B. O. D. seguem-se como abaixo:

a) — Para as diluição menores de 5% :

Incuba-se a amostra de agua de diluição do n.º 2 deste parágrafo, e as diluições à 20°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) durante 5 dias, ao fim dos quais procede-se uma determinação do oxigênio dissolvido na agua de diluição, e em cada amostra de esgoto diluido, empregando o método de Winkler. O resultado será :

$$\frac{[(\text{p.p.m.O.D. na agua de diluição}) - (\text{p.p.m.O.D. no esgoto diluido})] \times 100}{\% \text{ da amostra na diluição}} = \text{p.p.m.B.O.D.} - 5 \text{ dias}$$

b) — Para diluições contendo mais de 5% da amostra de esgoto: — Enche-se dois frascos com agua de diluição. Faz-se duas diluições para cada porcentagem, como ficou dito em 3 — a). Põe-se uma amostra da agua de diluição e uma amostra de cada porcentagem de esgoto diluido, à incubação 20°C. Procede-se uma imediata determinação do O.D. das amostras. Após 5 dias de incubação, determina-se o O.D. das amostras incubadas. A diferença entre o O.D. da agua de diluição, antes e depois da incubação, é a correção para o B.O.D. dessa agua.

O resultado será expresso :

Seja A = O.D. da diluição antes da incubação;

B = O.D. depois da incubação;

C = correção como acima;

$$\frac{(A - B - C) \times 100}{\% \text{ da amostra na diluição}} = \text{p.p.m.B.O.D.} - 5 \text{ dias}$$

23 — Certos líquidos de esgotos e resíduos industriais podem ter uma demanda imediata de oxigênio, cuja quantidade é às vezes necessário conhecer. Esta demanda imediata provém da presença de substancias facilmente oxidaveis, como H₂S, ferro, — substâncias estas que são frequentemente encontradas nos esgotos séticos. Tais condições, aliás, só podem prevalecer em líquidos inteiramente exaustos de oxigênio. A demanda imediata póde ser calculada por duas determinações de oxigênio, — uma da agua de diluição e outra de uma diluição da amostra do líquido de esgoto. Esta diluição deve ser tal que garanta um excesso apreciavel de oxigênio, depois de feita a mistura da amostra com a agua de diluição. O teste é feito imediatamente após a colheita da amostra, e o resultado será :

$$A = \frac{\text{p.p.m.O.D. na agua de diluição} \times \% \text{ da agua de diluição empregada}}{100} =$$

= p.p.m.O.D. da diluição, antes da demanda imediata;

B = p.p.m.O.D. da diluição, depois da mistura;

$$(A - B) \times \frac{100}{\% \text{ da amostra na diluição}} = \text{p.p.m.}$$

24 — Ocorre lembrar que o B.O.D. — 5 dias, não representa a demanda *total* de oxigênio pela amostra considerada. A demanda total pôde ser todavia calculada em base dos elementos da "estabilidade relativa", abaixo tabelados:

Estabilidade relativa

| Período de incubação a 20°C Dias | % da demanda satisfeita | Período de incubação a 20°C Dias | % da demanda satisfeita |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| 0.5 | 11 | 8.0 | 84 |
| 1.0 | 21 | 9.0 | 87 |
| 2.0 | 37 | 10.0 | 90 |
| 3.0 | 50 | 12.0 | 94 |
| 4.0 | 60 | 14.0 | 96 |
| 5.0 | 68 | 16.0 | 97 |
| 6.0 | 75 | 20.0 | 99 |
| 7.0 | 80 | — | — |

Convém notar que os elementos figurados na tabela acima são applicaveis aos líquidos de esgotos, aguas, ou resíduos industriais, sob a condição de que o meio seja favoravel à proliferação e atividade das bactérias responsaveis pela oxidação da matéria orgânica presente: devem ser usados, por conseguinte, com certa reserva.

A estabilidade relativa é uma medida da demanda de oxigênio, — medida porém relativa, e não absoluta; marca de certo modo o gráo de putrescibilidade de uma dada agua residuária ou poluida. Quimicamente é a relação percentual entre o oxigênio disponivel do líquido, e o B. O. D. Funda-se na propriedade que possuem os enzimas redutores, de descorar o azul de metilêno no instante em que se inicia o processo da putrefação, na ausência do oxigênio disponivel. Uma amostra tratada com aquele corante permanecerá azul, enquanto o oxigênio estiver presente. Uma vez absorvido o oxigênio disponivel, pela demanda bio-química, — o que se conhece pelo tempo exáto do descoramento do azul de metilêno, — segue-se que uma certa porcentagem da demanda

foi satisfeita. Esta porcentagem é que vem figurada na tabela acima. Assim, se uma amostra mantém-se corada até 5 dias, quer isso dizer que originalmente existia na amostra oxigênio suficiente para satisfazer 68% (vêr tabela) da demanda total. Póde-se calcular a demanda de oxigênio a qualquer período que se deseje, — em base do B. O. D. determinado a 5 dias, 20°C, no laboratório, — usando-se a seguinte fórmula: —

A = p. p. m. B. O. D., determinado no laboratório;

B = porcentagem da demanda, satisfeita no período usado para a determinação em A, conforme a tabela de estabilidade relativa;

C = porcentagem da demanda, no período desejado, conforme a mesma tabela;

$$\frac{A}{B} \times C = \text{p. p. m. B. O. D., no período desejado.}$$

25 — A determinação da estabilidade relativa pelo azul de metileno, obedece à seguinte técnica de laboratório:

I — *Reagente* = Solução de azul de metilêno. Dissolver 1.0 grama de azul de metileno (duplo sal de zinco de Merck) em 1 litro de agua distilada.

II — *Operação*

- 1 — Encher, até transbordamento, um frasco de rólha esmerilhada de 250 ml., com a amostra cuja estabilidade relativa se vai determinar;
- 2 — Adicionar 0.5 ml. da solução de azul de metilêno (I), por meio de uma pipêta graduada, abaixo da superfície do líquido contido no frasco;
- 3 — Arrolhar o frasco, tendo-se o cuidado de evitar a formação e permanência de bôlhas de ar entre o líquido e a base da rólha esmerilhada, no gargalo do frasco;
- 4 — Deixar o frasco em um lugar onde a temperatura seja mais ou menos constante, e o mais próxima possível de 20°C, observando-se a amostra pelo menos uma vez por dia, anotando-se o tempo, decorrido em dias, para o descôramento. Este tempo, que corresponde a um período de incubação a mais ou menos 20°C, levado à tabela do parágrafo 24, dá a porcentagem correspondente da demanda satisfeita, ou porcentagem da estabilidade relativa.

26 — O tipo de incubação mais simples para os testes que exigem essa operação, consiste em mergulhar os frascos, contendo as amostras, em uma cuba de vidro (aquário de laboratório) cheia dagua continuamente renovada, cuba esta que se coloca em um

local do laboratório frêsko e ventilado. A temperatura é controlada por intermédio de um termômetro de contâto, mergulhado na agua do banho. As variações de temperatura são da ordem de 0.5 a 1 grão, e os resultados são satisfatórios para os casos correntes da prática.

- 27 — Quando se descarregam líquidos putrescíveis em um curso dagua, o têor de oxigênio disponivel começa a diminuir, sob a ação dos micro-organismos que elaboram a matéria orgânica por aerobiose (parágrafo 10); mas, à proporção que vai baixando o têor de saturação de oxigênio das aguas, estas tendem a enriquecer-se de novo desse elemento, dissolvendo-o do ar atmosférico, sendo que este fenômeno é tanto mais intenso, quanto maior é o *deficit* verificado, medido em % de saturação (parágrafo 12).

As aguas não poluidas, e normalmente saturadas, contém as seguintes quantidades de oxigênio dissolvido, em função das respectivas temperaturas, a 760 milímetros de mercúrio:

Solubilidade do oxigênio na agua

N.º 1

| Temperatura °C | Oxigênio dissol- vido p.p.m. | Temperatura °C | Oxigênio dissol- vido p.p.m. |
|-------------------|------------------------------------|-------------------|------------------------------------|
| 0 | 14.62 | 16 | 9.95 |
| 1 | 14.23 | 17 | 9.74 |
| 2 | 13.84 | 18 | 9.54 |
| 3 | 13.48 | 19 | 9.35 |
| 4 | 13.13 | 20 | 9.17 |
| 5 | 12.80 | 21 | 8.99 |
| 6 | 12.48 | 22 | 8.83 |
| 7 | 12.17 | 23 | 8.68 |
| 8 | 11.87 | 24 | 8.53 |
| 9 | 11.59 | 25 | 8.38 |
| 10 | 11.33 | 26 | 8.22 |
| 11 | 11.08 | 27 | 8.07 |
| 12 | 10.83 | 28 | 7.92 |
| 13 | 10.60 | 29 | 7.77 |
| 14 | 10.37 | 30 | 7.63 |
| 15 | 10.15 | — | — |

- 28 — O oxigênio que satura as aguas de um dado rio, não é constituído sómente pelo que provém do ar atmosférico por dissolução, mas também pelo que se origina da ação fotosintética das plantas aquáticas clorofiladas, e que em certos casos pode ser consideravel. Além destes, ha o oxigênio que pôde provir dos cursos dagua

afluentes saturados desse gás, e o que póde advir dos nitratos e nitritos (parágrafo 2). A capacidade de aquisição de oxigênio de um rio depende, por outro lado, — não tanto do seu volume d'agua, mas principalmente da grandeza de sua superficie (parágrafo 12), à qual são proporcionais tanto o oxigênio dissolvido da atmosfera, como o produzido pela vegetação aquática clorofilada. Aceleram esta capacidade de aquisição, — a agitação superficial produzida pelos ventos, e a maior ou menor turbulência das aguas, agitação e turbulência que provocam uma continua renovação da estratificação superficial da massa líquida, favorecendo deste modo a absorção do oxigênio.

- 29 — A experiência tem mostrado que, num curso d'agua mais ou menos tranquilo, a absorção média de oxigênio atmosférico, por metro quadrado de superficie e por dia, e para diversos grãos (%) de saturação, séguez uma curva, da qual a fig. 1 é uma represen-

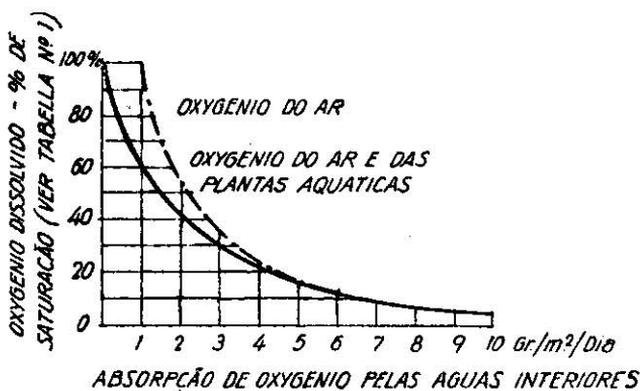


Fig. 1

tação gráfica. Se a esse gráfico se ajuntar o oxigênio proveniente da fotosíntese clorofiliana, — à razão experimental de 1 grama por metro quadrado/dia, durante as horas do dia, — obtém-se a curva pontilhada, como está figurada no referido gráfico.

Como este oxigênio adicional é independente do grão ordinário de saturação, ocorre que nas aguas já normalmente saturadas produz-se uma supersaturação.

- 30 — A temperatura tem uma influência bem marcada na atividade auto-depuradora das aguas poluídas.

Durante os frios os teores de oxigênio dissolvido são mais elevados, mas a capacidade de aquisição, ou reoxigenação, é menor do que nos periodos quentes. Do mesmo modo a atividade bacteriana diminúe com as baixas temperaturas. Desta ordem de idéas resulta que, para as simples descargas de esgotos "in natura" num grande curso d'agua, são preferiveis as condições das aguas no inverno do que no verão. Se, porém, as substâncias poluído-

ras devem ser elaboradas e neutralizadas num determinado trêcho de rio, ha então que tratar os esgotos mais cuidadosa e completamente no inverno do que no verão.

Quando a temperatura se eleva, a atividade microbiana se faz mais viva e intensa; daí succede que o trêcho de rio, onde se processa a auto-depuração, torna-se por esse motivo mais curto. Mas a atividade biológica pôde atingir uma tal intensidade que acaba sobrepujando as possibilidades da reoxigenação das aguas. Em tal caso ocorre diminuir, no verão, a carga admissivel de material poluidor no curso dagua, por isso que a decomposição, que tem logar então em um curtissimo trêcho de rio, pôde dar logar a completo exaurimêto do oxigênio disponivel, e como consequência o grave inconveniente do início do processo putrefativo.

31 — Esta intensificação estival na atividade hidrobiológica pôde tornar-se particularmente perigosa, se no fundo do curso dagua existir lôdo velho de esgoto, ainda não elaborado, e como tal suscetivel de se decompôr, produzindo gâses. O desenvolvimento desses gâses pôde, então, assumir inesperadamente tal intensidade, que o seu movimento ascencional, em bôlhas, arrastará grandes massas de lôdo à superfície das aguas.

Tais massas de lôdo flutuante não sômente emprestam ao rio um aspêto desagradavel, mas absorvem ainda avidamente o oxigênio disponivel, tornando cada vez mais precário o equilíbrio, ou balanço do oxigênio.

Basta que a temperatura ultrapasse de 20° C para que este fenômeno seja de temer, — mesmo nos cursos dagua onde nunca tal tenha acontecido. Deve-se neste caso, procurar fazer com que a quantidade de gâses que se desenvolvem por unidade de superficie, nos períodos de maior atividade bacteriana, — os quais ocorrem nas temperaturas mais elevadas, — não exceda de um determinado valôr, medido em volume de corpos sedimentavêis, e relativa a uma dada temperatura média.

A fig. 2 registra gráficamente o efeito das variações de temperatura sobre a produção de gâses, para 1 quilograma de substância orgânica.

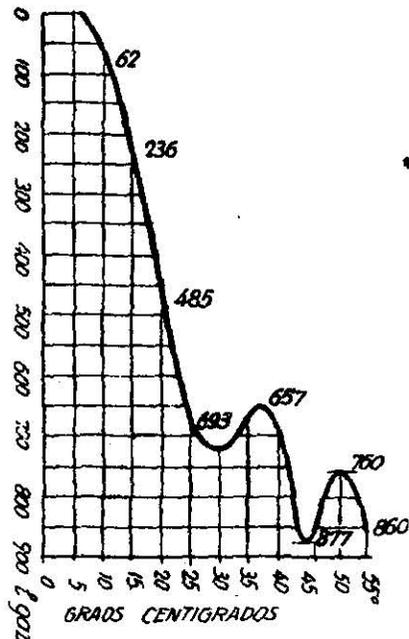


Fig. 2

32 — Conhecendo-se previamente o B. O. D. de um líquido de esgoto, e certos elementos hidráulicos de um dado curso dagua, pôde-se calcular “modo grosso”, — mas com aproximação todavia suficiente, — a capacidade auto-depuradora desse curso dagua, em função do volume de esgotos “per capita”, que vai receber (párrafo 12).

Seja, por exemplo, uma cidade de 100.000 habitantes, a 150 litros de esgotos por pessoa e por dia, situada à margem de um rio de 20 ms. de largura média, e com velocidade média de deflúvio de 30cms. por segundo (fig. 3); quer se saber se o rio pôde elaborar sem inconveniente, durante um dia de deflúvio (cêrca de 26 Kms. de percurso), os esgotos que nele serão descarregados, — assumindo-se que o B. O. D. — 5 dias —, desse efluente, conforme foi determinado no laboratório, é igual a 200 p. p. m. (parágrafo 22).

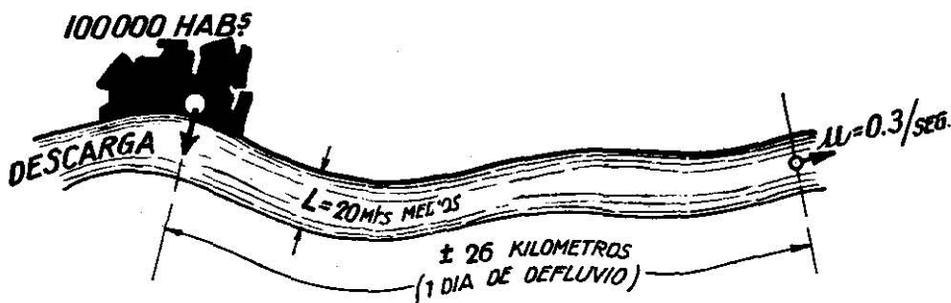


Fig. 3

O B. O. D., por pessoa e por dia, será no caso em aprêço:

$$(1) \text{ B. O. D.} = \frac{200 \text{ p.p.m.} \times 150 \text{ lts.}}{1.000} = 30 \text{ gramas por pessoa e por dia.}$$

Durante o primeiro dia de deflúvio, — e de acôrdo com a tabêla de estabilidade relativa (parágrafo 24), — deve haver disponível $\frac{21}{68}$, — (21 = % em 1 dia, e 68 = % em 5 dias) — isto é, cerca de 30% do valor do B. O. D. calculado em (1), ou sejam 9 gramas. “per capita” e por dia, — ou ainda um total de $9 \times 100.000 = 900.000$ grs./dia para toda a população.

As aguas do rio percorrem, em um dia de deflúvio, uma superfície de

$$20 \times 0.3 \times 86.400 = 520.000 \text{ m. q.}$$

A carga em elementos poluidôres em têor de B. O. D. (parágrafo 11), é, pois,

$$\frac{900.000}{520.000} = 1.73 \text{ grs. por metro quadrado e por dia.}$$

Se nos reportarmos ao gráfico da fig. 1, verifica-se que a massa de oxigênio necessária para o equilíbrio daquela taxa calculada, é obtida com 60% da saturação total, — ou abstraindo-se o oxigênio proveniente da vegetação aquática, — com 40% da saturação ordinária, valor este ainda superior aos limites estabelecidos para a vida dos peixes⁽¹⁾; donde se conclúe que a taxa em questão é perfeitamente admissível, e que as reservas de oxigênio das aguas em deflúvio, são suficientes para o caso em aprêço. As variantes do problêma acima são facilmente resolvidas, acompanhando-se os raciocínios feitos. Assim, por exemplo, assumindo-se que o curso dagua em aprêço seja reprezado, transformando-se num grande lago artificial, através do qual o período de deflúvio seja agora, por hipótese, de 5 dias, dada a baixa velocidade de escoamento provocada pelo alargamento da bacia, — e admitindo, ainda por hipótese, que nesses 5 dias o deflúvio cõbre uma área de 1.400.000 metros quadrados, é possível calcular o número de habitantes que esse lago pôde depurar biológicamente, em função do B. O. D. do effluente considerado.

Tomando-se o B. O. D. do exemplo precedente, — 200 p. p. m., ou 30 gramas por pessoa e por dia (150 lts. de esgotos/capita/dia), e assumindo-se a condição prévia de que a saturação seja de pelo menos 50%, — verifica-se que o oxigênio disponível medido em base da superfície, segundo a linha pontilhada do gráfico da fig. 1 (oxigênio total, inclusive das plantas aquáticas), deverá ser de 2 grms. por metro quadrado e por dia. Nestas condições o

lago poderá depurar os esgotos de $\frac{1.400.000 \times 2}{30} = 93.000$ pessoas,

sempre na hipótese de um deflúvio de 5 dias.

- 33 — Os lodos que se mantêm em suspensão nas aguas, e os que se depositam no fundo dos rios, são decompostos por intermédio de organismos anaeróbios. Os produtos desta primeira decomposição anaeróbica, são em seguida elaborados pela atividade de micro-organismos aeróbios (aerobiose).

Segundo Mahr, para que este trabalho em colaboração pelos dois grupos de organismos não sofra perturbação, é preciso que o curso dagua não receba de substância orgânica sedimentavel, — por unidade de superfície, — mais que $\frac{2}{3}$ da quantidade que poderia elaborar sob a fórma dissolvida.

(1) — A experimental da Ponte Pequena, estudando a respiração dos peixes fluviais comuns aos nossos rios, em aguas poluidas, chegou à taxa mínima de 28,3% de saturação a 20°C (2.5 p. p. m. de oxigênio dissolvido).

Com esgotos de tipo médio (200 p. p. m. de corpos sedimentáveis de natureza orgânica), e tendo em conta a duração média normal dos processos completos de decomposição — mais ou menos 100 dias, — a carga de lodo de esgotos, no fundo do rio, corresponderá a um estrato que atinge, ao fim daqueles 100 dias, uma espessura média de cêrca de 2 cms. por unidade de superficie.

É possível fixar aproximadamente a carga de substância orgânica sedimentavel (lodo de esgotos), que um curso dagua póde suportar, desde que se conheça, de um modo mais ou menos preciso, a extensão de curso sobre o qual se distribúe o lodo em aprêço.

Como nórma inicial, pode-se admitir que num curso dagua, mesmo com velocidades relativamente grandes, a maior parte dos corpos lódosos depositam nas primeiras duas horas.

Suponhamos que se queira saber, no caso atrás tratado, qual seria a influêncía das substâncias orgânicas sedimentaveis, tendo-se em conta que nas primeiras duas horas o rio deve iniciar tambem a decomposição da matéria dissolvida, o que é aliás verdadeiro.

A quantidade de lodo correspondente à superficie percorrida pelo curso dagua, em 2 horas de deflúvio, será evidentemente, sendo t = tempo expresso em segundos, e e = espessura do estrato de lodo em cms. (fig. 4):

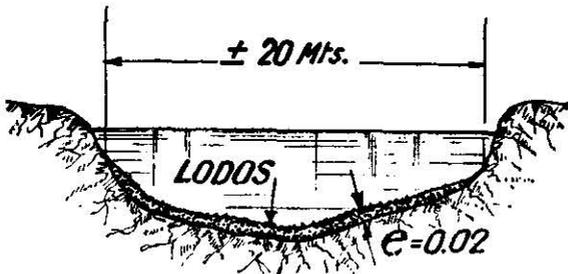


Fig. 4

$$V_1 = (LUt) 1000 e = 864.000 \text{ litros}$$

O volume dos esgotos descarregados em 100 dias, à razão de 150 litros por pessoa e por dia, é:

$$V_2 = 100.000 \times 0.150 \times 100 = 1.500.000 \text{ m. c.}$$

O teor admissivel de lodos, no esgoto a ser descarregado no curso dagua, medido em 2 horas do vaso de Imhoff, deverá ser, então:

$$v = \frac{V_1}{V_2} = \frac{864.000}{1.500.000} \cong 0.6 \text{ cc. por litro}$$

Esta taxa é relativamente facil de ser obtida, submetendo-se o esgoto bruto a um prévio tratamento, por decantação.

- 34 — Ocorre lembrar que o cálculo acima baseia-se num estrato de lodo deduzido da duração normal dos processos de decomposição (mais ou menos 100 dias), a 20.°C. Como já se disse porém, se a temperatura ultrapassa de 20.°C, ha a temer um desequilíbrio na taxa do oxigênio residuário, que então poderá se apresentar em *deficit*.

Assim, por exemplo, si se prevê uma temperatura máxima de 25.°C, — e como os gases que se desenvolvem de 1 kg. de matéria orgânica em um certo tempo a 25.°C, é maior do que aqueles que se desenvolvem, nas mesmas condições, a 20.°C — na relação de 693:485 (vêr o gráfico da fig. 2), — deve-se lógicamente procurar reduzir a espessura do estrato de lodo admissivel, nesta mesma relação.

No caso do exemplo acima tratado, — se assumirmos que a temperatura das aguas possa atingir 25.°C, nos períodos quentes, — o depósito admissivel, medido no vaso de Imhoff, em lugar de 0.6 cc. por litro, deverá ser (relação 693:485):

$$v_1 = \frac{v \times 485}{693} = \frac{0.6 \times 485}{693} = 0.42 \text{ cc. por litro}$$

Este valor já não é facilmente obtido na média das instalações ordinárias de decantação de esgotos. Neste caso, ha que se lançar mão de tratamentos complementares, biológicos ou químicos, parciais ou totais, conforme o caso, — no sentido de se ajustar o esgoto ás condições locais, promovendo-se um maior expurgo do material orgânico sedimentavel.

- 35 — É capital a importância que assumem as condições de existência de oxigênio nas aguas poluidas, como reflexo fiel e seguro da natureza e do progresso da decomposição dos esgotos nelas descarregados, pois como já foi dito, a putrefação da matéria orgânica dos esgotos diluidos nos rios, provoca a intensiva desoxigenação de suas aguas, por efeito das complexas reações tendentes à estabilização dos compostos orgânicos dos despejos, — estabilização que se processa à custa do oxigênio disponivel, por intermedio do metabolismo de elementos vivos microscópicos.

De um modo geral, pode-se distinguir nos cursos dagua carregados de esgotos, tres zonas de poluição mais ou menos distintas, a partir das descargas:

Zona de degradação — na qual têm início as decomposições do material orgânico, sob a atividade bacteriana, tornando-se as aguas progressivamente impróprias aos mistéres da vida.

No decorrer desta fase, o oxigênio das aguas começa a cair rápidamente, enquanto cresce o teor de CO_2 . Os corpos em suspensão entram a sedimentar, depositando-se no fundo e nas margens, sob a fórma de extensos lençóis e bancos de lodo, creando um meio hostile, do qual desaparecem as fórmas mais elevadas da vida

aquática, subsistindo apênas os elementos biológicos primitivos e rudimentares, próprios dos meios degradados. Se se tomar o teor de oxigênio do curso d'agua como índice, a zona de degradação estende-se por toda a região, a partir das descargas de esgotos, em que a taxa de saturação de oxigênio das aguas cái a cerca de 40%.

A esta primeira zona segue-se a *zona de ativa decomposição*, que ocupa toda a região na qual o processo de decomposição, já iniciado progressivamente na primeira zona, atinge o seu máximo de atividade.

No seio das aguas desenvolve-se agora a intensa decomposição dos corpos orgânicos complexos, formando-se compostos soluveis, volateis e gazosos. Enquanto as aguas contiveram alguma parcela de oxigênio dissolvido, nenhum mal grave advirá; mas nas aguas altamente poluidas, o oxigênio dissolvido pôde ser totalmente exaurido, prevalecendo então sobre o curso d'agua, perigosas condições anaeróbicas ou sépticas. A saturação do oxigênio, nesta fâse, cái abaixo de 40%, e não raro desce até zéro.

A zona de ativa decomposição segue-se a *zona de recuperação*, na qual o curso d'agua readquire gradativamente as suas primitivas condições normais, à custa de novas reservas de oxigênio, que lhe são cedidas do ar atmosférico pela reaeração, pelos afluentes não poluidos, e pela ação fotosintética dos vegetais clorofilados, que fixam carbono e liberam oxigênio.

A zona de recuperação é uma verdadeira zona de mineralização: nela, com efeito, completam-se os ciclos do nitrogênio, do enxofre e do carbono (parágrafo 6), de cujas transformações resultam finalmente os nitritos e depois nitratos, os sulfatos, o bióxido de carbono, e os carbonatos.

Abaixo dessas tres zonas encontra-se por fim uma zona quimicamente calma, em que os característicos da recuperação são francos e positivos, as aguas readquirem todas as qualidades primitivas, reaparecendo as taxas normais de oxigênio dissolvido, e com ela a vida aquática característica das aguas frêscas.

36 — O teor de oxigênio dissolvido nas aguas de um dado curso depende, em última análise, da temperatura e do gráo a que atingiu a desoxigenação abaixo do ponto de saturação, pela atividade bacteriana.

Esse teor varia, quando a agua está normalmente saturada, de 14.62 p. p. m. a 0° C, a 7.63 p. p. m. a 30° C (parágrafo 27).

O oxigênio dissolvido raramente ultrapassa 80-90 % da taxa de saturação normal, a uma dada temperatura. Pôde, entretanto, apresentar-se acima de 100 %, supersaturando a agua (parágrafo 29).

O limite mínimo para o teor de oxigênio dissolvido, admitido pela *Metropolitan Sewage Commission*, de N. York, — para aguas recebendo descargas de esgotos, — é de 4.3 p. p. m., correspondentes a cêrca de 47 % de saturação a 20° C. A maioria dos higienistas norte-americanos admite, todavia um mínimo até 25 %

de saturação, subordinando, porém, este mínimo a certas condições locais, dentre as quais sobressaem as referentes aos depósitos de lodos no fundo do curso dagua.

- 37 — Mas, se baixas porcentagens de saturação são admissíveis, sob o exclusivo ponto de vista do processo químico-biológico putrefativo, — visto como a putrefação não póde prevalecer onde quer que exista um pequeno resíduo de oxigênio disponível, — o mesmo já não sucede quando se trata da proteção à vida dos peixes.

A prática norte-americana estabelece, no caso em aprêço, uma taxa de saturação de pelo menos 70 %. A prática européa, por outro lado, fixa em 30 % a saturação amplamente suficiente para a maioria das grandes espécies de peixes. Com efeito, a estação experimental da Ponte Pequena (parágrafo 32), obteve a taxa mínima de 28.3 % de saturação a 20° C, ou sejam 2.5 p. p. m de oxigênio dissolvido, como limite para a vida aquática superior, comum aos nossos rios.

- 38 — Tomando-se as taxas de oxigênio dissolvido como índices, e operando-se ao longo de um curso dagua, póde-se delimitar, com relativa aproximação, as zonas descritas no parágrafo 35, e deste modo avaliar com certa precisão, a extensão e o gráu de poluição a que atingiu o curso dagua considerado, — contornando-se, naturalmente, os fatores mais complexos do problêma.

As figuras 5 e 6 registram um resumo de observações dessa natureza feitas pela experimental da Ponte Pequena no rio Tietê, durante a estiagem de 1933. Este grande rio recebe,

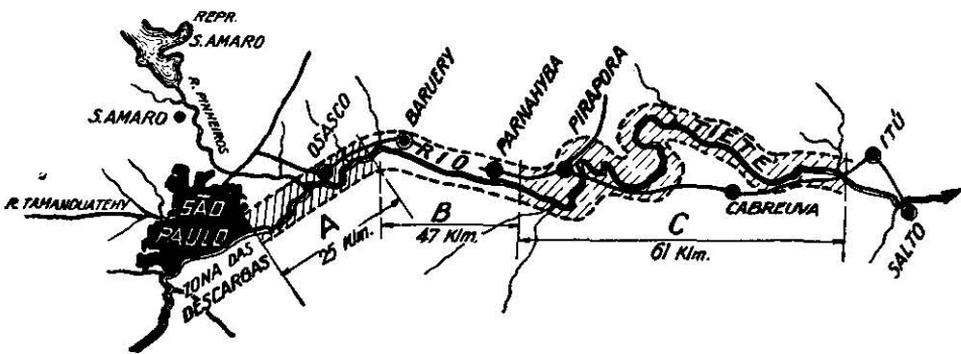


Fig. 5

diretamente no seu curso, e por intermédio dos rios Tamanduatef e Pinheiros, todo o efluente de esgotos da cidade de São Paulo (cêrca de 2.6 metros cubicos por segundo, em 1933).

Conforme se póde vêr nas figs. 5 e 6, a *zona de degradação* (A), correspondente á taxas de oxigênio de 40% de saturação até zêro, — ocupa toda a faixa de rio, situado entre Casa Verde (Capital), e um ponto além da confluência do rio Pinheiros, numa ex-

tensão aproximada de 25 quilômetros. Neste ponto tem início a *zona de ativa decomposição* (B), mais perigosa, e que se estende através de Parnaíba, até as proximidades de Pirapóra, numa extensão de rio de cerca de 47 quilômetros. Nesta altura, o movimento ascensional da curva do oxigênio (fig. 5) marca o início da *zona recuperação* (C), que conjuntamente com a zona de auto-depuração positiva, estende-se por aproximadamente 61 quilômetros, até as cercanias da cidade de Itú, onde o rio chega com 108% de saturação. A distância percorrida, entre pontos extremos, foi de cerca de 133 quilômetros, vencidos em uma média de 156 horas de deflúvio. Examinando-se o gráfico da fig. 5, verificar-se-á que o limite de 4.3 p. p. m. de oxigênio dissolvido, (47% de saturação), estabelecido pela *Metropolitan Sewage Commission*, atrás mencionada, marca, no rio Tietê em estiagem, uma vasta zona de franca poluição, situada entre Casa Verde (Capital) e proximidades de Pirapóra, numa extensão de rio de cerca de 72 qui-

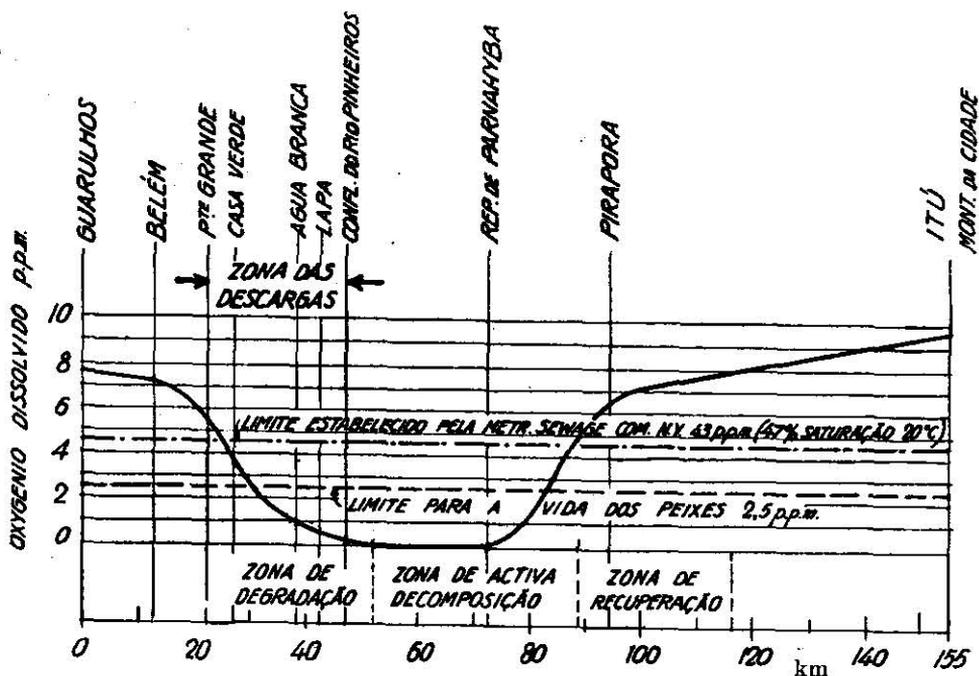


Fig. 6

lômetros. Nesse mesmo gráfico registrou-se o limite de 2.5 p. p. m. de oxigênio necessário à vida dos peixes, conforme foi observado nas experimentações da Ponte Pequena.

É interessante notar como a decomposição ativa dos elementos poluidores, com absorção total do oxigênio, tem lugar fóra da zona propriamente das descargas de esgotos da cidade (fig. 5), e só se inicia cerca de 15 quilômetros abaixo do último lançamento (Lapa), confirmando-se assim as teorias correntes sobre o assunto.

É também digno de nota o fato de não se ter encontrado, durante o período das observações, peixes em toda a zona de decomposição, confirmando-se deste modo a influência nociva que as fortes depressões de oxigenio causam à vida aquatica superior.

39 -- Convém não esquecer que as zonas estudadas no paragrafo 35, não ocupam, a todo o tempo, posições fixas nos cursos dagua, nem são nitidamente limitadas; variam, evidentemente, com as descargas dos rios, com os volumes e composição dos esgotos, e sobretudo com a temperatura das aguas. Dependendo principalmente da carga de esgotos que o curso dagua recebe, é claro que as zonas podem ocupar maiores ou menores extensões de rio, conforme as circunstancias.

Nos rios levemente poluidos póde mesmo faltar a zona de ativa decomposição (saturação abaixo de 40%), ao passo que nos intensamento poluidos as condições sépticas podem prevalecer por longos percursos. Não obstante, durante as estiagens e os calores das sêcas, quando as decomposições são mais ativas e intensas, as zonas apresentam-se bastante pronunciadas, e os limites, em função dos indices de oxigenio, podem ser estabelecidos com relativo rigor.