

# Biologia do Tratamento de Esgotos

SAMUEL MURGEL BRANCO

Biologista do DAE  
Instrutor da Cadeira de Parasitologia,  
da Faculdade de Higiene da U.S.P.

## 1. Princípios gerais

O tratamento biológico dos resíduos orgânicos está na dependência direta das atividades respiratórias de microorganismos aeróbios ou anaeróbios capazes de viver no ambiente constituído pelos esgotos. Tratar esgoto é, principalmente, oxidá-lo. É transformar seus componentes complexos em compostos simples, tais como sais minerais, gás carbônico e outros. Isso seria possível, em princípio, através da incineração: da queima do material orgânico que o constitui, resultariam sais minerais, sob a forma de cinzas, e gás carbônico. Entretanto, o esgoto é formado predominantemente de água, não podendo o seu material sólido, orgânico, parcialmente dissolvido e parcialmente em suspensão, servir como combustível. Seria necessária a utilização de outros combustíveis que fornecessem calor suficiente para essa calcinação e o processo, embora eficiente, se tornaria oneroso. Entretanto, a oxidação pode ser realizada mais lentamente, sem chama, através de reações enzimáticas promovidas por microorganismos que se desenvolvem e proliferam rapidamente no esgoto, rico em substâncias orgânicas que lhes servem de alimento. Esses processos podem ser observados na própria natureza, no decurso de um rio ou no volume de um lago poluído por despejos orgânicos. É a chamada auto-depuração dos cursos d'água, cujos princípios vêm sendo meticulosamente estudados a fim de serem aplicados nas modernas instalações de tratamento. Nestas, o homem procura repetir, em curto espaço de tempo e utilizando pequenas áreas, aqueles processos que se observam nos rios e lagos e que levam o material putrefato e de odor desagradável a transformar-se em sais minerais e gás carbônico, restabelecendo a limpidez das águas naturais.

Dois princípios biológicos fundamentais concorrem para a realização da depuração: nutrição e respiração. A nutrição consiste na propriedade, comum a todos os seres vivos, de se auto-construir e reproduzir, à custa de material obtido a partir de elementos do meio. Essa utilização de elementos do meio não se dá, porém, simples "incorporação" dessas substâncias ao ser que cresce, como acontece com os cristais minerais, por exemplo, mas existe, nos seres vivos, um processo ativo de transformação dos compostos do meio em compostos integrantes da sua estrutura física. Tais transformações são possíveis graças à atividade de enzimas ou catalizadores biológicos. Frequentemente, como sucede com as bactérias, essa ação enzimática se inicia externamente ao corpo do ser vivo, isto é, há uma secreção das enzimas para o meio, a fim de digerir parcialmente as moléculas, transformando-as em compostos solúveis, capazes de atravessar as membranas celulares, uma vez que tais microorganismos são desprovidos de bôca.

Grande parte do material utilizado na nutrição destina-se, porém, a fornecer energia para as atividades vitais dos organismos. Por essa razão, os compostos que servem de alimento devem ser de estrutura complexa, ou seja, constituídos de moléculas com elevado potencial de energia, que possa ser liberada e colocada "à disposição" do ser vivo. Organismos **autótrofos**, como por exemplo, as plantas verdes, inclusive algas, utilizam, como fonte de carbono para sua auto-construção o gás carbônico, porém, mediante transformação deste em compostos de elevada estrutura molecular, servindo-se da luz como fonte de energia. A energia contida nas moléculas orgânicas — ingeridas ou utilizadas pelo ser vivo — são liberadas por via de oxidação, no processo que se denomina respiração.

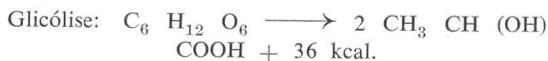
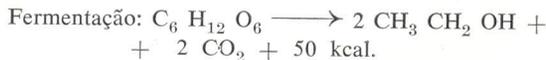
Tais reações de oxidação podem dar-se em presença ou em ausência de oxigênio livre. No primeiro caso, temos a chamada respiração **aeróbica**, em que os compostos orgânicos a serem oxidados são transformados em glicose que, depois, será "queimada" segundo a reação:



No processo **anaeróbico**, porém, tais desdobramentos se dão à custa de oxigênio contido nas próprias moléculas orgânicas, razão porque é chamado também respiração **intramolecular**. Podemos supor, apenas a título de exemplo, a seguinte simplificação:



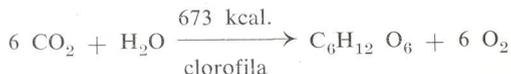
Reações semelhantes a esta têm sido, porém, verificadas, em ambiente desprovido de oxigênio:



Em reações desse tipo, a oxidação não é completa, de maneira que, em vez de resultar gás carbônico somente, que é composto perfeitamente estável, de pequeno conteúdo energético, há formação de compostos ainda oxidáveis, geralmente combustíveis, tais como a metana e outros. Como consequência disso, a produção de energia por esse processo, é bem menor que no caso da respiração aeróbica, ou seja, o **rendimento**, no primeiro caso, é menor.

Como vemos, há uma tendência para a extinção do oxigênio do meio, sempre que aí se realizam atividades respiratórias, ou seja, sempre que microorganismos **heterótrofos** se alimentam da matéria

orgânica aí presente. Por outro lado, entretanto, organismos autótrofos tendem a enriquecer o meio em oxigênio. O processo mais conhecido de síntese orgânica, que é a **fotossíntese**, ou seja, o processo empregado pelos vegetais possuidores de **clorofila**, (pigmento verde capaz de converter energia luminosa em energia química), obedece, à seguinte reação simplificada:



ou seja, o processo inverso ao da respiração. Esses organismos também respiram aerôbicamente, mas, devendo sintetizar muito mais do que consomem, realizam um saldo de oxigênio que irá enriquecer a atmosfera ambiente (seja no meio aéreo, seja no aquático). Esse princípio, responsável pela produção de grandes quantidades de oxigênio nas águas poluídas, no processo de auto-depuração, vem sendo utilizado, na prática, para o fornecimento de oxigênio em tratamento aeróbico de esgotos, nos sistemas de lagoas de estabilização. As algas, fotossintetizantes, exigem para sua nutrição, além do gás carbônico, alguns compostos minerais, de nitrogênio, fósforo e outros elementos, que encontram em abundância nos esgotos parcialmente oxidados.

A oxidação da matéria orgânica dos esgotos não se dá, simplesmente, pelo contato desta com o oxigênio do ar. É necessária a presença de catalizadores, enzimas, que facilitem a realização dessa reação. A presença de bactérias, em grande número, nos esgotos, proporciona exatamente os catalizadores necessários à reação, que são as suas enzimas respiratórias. Não se deve entender que as bactérias tenham, por isso, um papel específico — “e muito louvável” — que vem ao encontro dos anseios e necessidades do homem, em depurar os seus dejetos e os seus cursos d'água, mas trata-se apenas, de um ciclo biológico, como tantos outros que concorrem para a chamada **economia da natureza**. São oxidações desse tipo que causam a decomposição dos cadáveres ou das folhas e troncos de árvores no solo. As bactérias, fungos, vermes e outros microorganismos, responsáveis por tais oxidações, não estão “por um feliz acaso”, ou por qualquer interesse particular, facilitando a vida e o bem-estar do homem, mas apenas nutrem-se para viver: alimentam-se de matéria orgânica e respiram oxigênio. Não há razão para se reverenciar os urubus pelo fato de comerem cadáveres, pois eles estão, tanto quanto as bactérias, promovendo oxidação biológica, assim como o homem também promove oxidação biológica sempre que se alimenta e respira.

Existem dois caminhos para o tratamento biológico dos esgotos: aeróbico e anaeróbico, realizados respectivamente por bactérias aeróbias e anaeróbias. Mas, em ambos os casos, as bactérias desempenham papel preponderante, como intermediários da reação, embora existam, tanto no ambiente aeróbico como no anaeróbico, muitos outros organismos — vegetais e animais — promovendo, também, oxidação biológica. No processo de auto-depuração dos cursos d'água comparecem ambas as formas de oxidação, a primeira predominando nas águas junto da superfície, por onde se dá entrada de ar atmosférico, e a anaeróbica no fundo, especialmente nos depósitos de lodo orgânico, ou em toda a massa d'água, quando a carga de poluição é suficientemente grande para que haja consumo de todo o oxigênio. Do mesmo modo, o tratamento artificial dos esgotos pode seguir um desses dois

caminhos. Em geral, é, mesmo, o esgoto, dividido em duas partes: uma sedimentável, que constitui o **lodo de esgoto**, o qual é tratado anaerôbicamente em digestores; outra, mais líquida, contendo partículas de menores dimensões e, portanto, de sedimentação mais lenta, ou mesmo solúveis, a qual é tratada aerôbicamente.

## 2. Tratamento aeróbico

No processo aeróbico procura-se intensificar a proliferação de certos microorganismos, especialmente bactérias, que, além da propriedade de oxidar aerôbicamente a matéria orgânica, possuem uma característica particular, de especial importância para esse tipo de tratamento: a de formarem massas capazes de adsorver partículas em suspensão. Sendo os processos aeróbicos destinados principalmente ao tratamento da fase líquida, contendo finas partículas em suspensão, é de todo interesse que se verifique a **floculação** desse material, dando origem a massas de maior tamanho e densidade, os **flocos**, de sedimentação mais rápida, tal como é realizado na coagulação e decantação das águas de abastecimento, para remoção de partículas suspensas. Neste último caso, empregam-se coagulantes químicos que, pela sua natureza coloidal, possuem ação de superfície, capaz de produzir a adsorção das partículas. No caso do esgoto, o mesmo fenômeno é observado, porém, à custa de massas com propriedades coloidais, constituídas por certos tipos de microorganismos que o habitam, capazes de oxidar aerôbicamente as partículas orgânicas adsorvidas. Por essa razão, será dada, no presente trabalho, especial atenção às características dessas bactérias, principalmente no que diz respeito às suas propriedades de adsorção, nutrição, respiração e reprodução.

### 2.1. A formação de flocos no esgoto

Grande número de espécies bacterianas possui um envoltório ou bainha, de consistência gelatinosa, constituída de polissacarídeos, envolvendo cada uma das suas células. Sendo essa bainha emborrifável, e parcialmente solúvel em água, algumas vezes pode aumentar muito de espessura, ocorrendo **anastomoses** entre as bainhas de duas ou mais bactérias contíguas, chegando a constituir verdadeiras massas gelatinosas, contendo bactérias no seu interior. Essa massa gelatinosa recebe o nome de **zoogleia**, havendo opiniões favoráveis à sua modificação para **fitogleia**, uma vez que se trata de material produzido por organismos vegetais e não animais.

Essa massa de zoogleia tem sido considerada o elemento responsável pela flocculação do material em suspensão no esgoto. Por essa razão, certas bactérias capazes de digerir aerôbicamente a matéria orgânica, mas que não possuem capacidade de formar zoogleia, eram consideradas de menor valor e, até mesmo, prejudiciais ao tratamento.

A idéia que prevalecia, até recentemente, sobre a formação dos flocos no esgoto era, pois, a de que a propriedade de flocculação estava diretamente relacionada com a capacidade especial das bactérias em produzir zoogleia. Por essa razão, acreditava-se que a bactéria **Zooglea ramigera**, cuja principal característica está na grande quantidade de massa gelatinosa que suas colônias são capazes de produzir, seria a que mais importante papel desempenharia no processo. A gelatina ou zoogleia, adsorvendo grande número de partículas em suspensão, daria origem a grandes flocos que se precipitariam, sendo

em seguida, a matéria orgânica nêles contida, assimilada pelas bactérias.

Pesquisas realizadas nos últimos anos vieram, entretanto, alterar profundamente essas idéias. Verificou-se que, tanto em meio de cultura como no esgoto, é possível obter-se floculação de inúmeras espécies de bactérias, além de *Zooglea ramigera* e que essa característica de produzir floculação está relacionada não com propriedades especiais de um ou alguns tipos de bactérias, mas sim com determinadas condições de vida em que estas se encontram. O ponto de vista defendido hoje em dia (1) (2) é o de que a floculação é proporcionada por características coloidais da massa das bactérias, relacionadas com a intensidade das atividades metabólicas destas. Na verdade, segundo ficou demonstrado, através desses estudos, as bactérias comportam-se como **micelas** de um coloide do tipo hidrófobo ou liófobo, isto é, como os coloides inorgânicos. É sabido que, nesse tipo de coloides, as micelas se encontram sujeitas a duas ordens de forças antagonicas: uma, proporcionada pela sua própria carga superficial eletrocinética ou **potencial zeta**, originada pela adsorção de ions do meio, pela partícula: sendo sempre cargas do mesmo sinal, em tôdas as partículas, estas tendem a se repelir quando aproximadas umas das outras; outra, agindo em sentido oposto, responsável por uma atração que se verifica entre as partículas e que se denomina **força de Van der Waals**. Sempre que as micelas do coloide se chocam umas com as outras, em virtude do **movimento Browniano**, uma de duas coisas pode ocorrer: ou aglutinam-se — e isso acontece sempre que o potencial zeta das partículas é muito baixo, prevalecendo as forças de Van der Waals, ou tornam a se repelir, no caso do potencial eletrocinético ser elevado. No primeiro caso, diz-se que houve **floculação** do sistema e esta pode ocorrer sempre que são misturados coloides de cargas opostas, quando se mistura um eletrólito à solução, etc.

A massa de bactérias não é um verdadeiro coloide, mas comporta-se como tal. As células, que desempenham o papel de micelas no sistema, são envolvidas por uma cápsula de gelatina que pode ter maior ou menor desenvolvimento. Verificou-se, através da experimentação, que partículas dessa natureza deveriam aglutinar-se sempre que o potencial zeta de sua superfície fôsse inferior a 15 milivolts. Entretanto, medindo-se, por intermédio da eletroforese, o potencial de grande número de bactérias em cultura, encontrou-se, para a grande maioria destas, potencial situado entre 6 e 12 milivolts, apesar de não estarem floculadas no meio de cultura. A explicação para o fato é a seguinte: a bactéria, quando em meio rico em nutrientes, apresenta-se dotada de grande motilidade sendo, graças a isso, capaz de "fugir" à floculação, contrapondo a sua energia própria, de locomoção, às forças de Van der Waals, que procuram aproximá-las. De fato, foi observado que, no material floculado, as bactérias se apresentam imóveis e com metabolismo reduzido ao mínimo. Por outro lado, nunca se produz floculação, quando as bactérias se acham em **fase logarítmica de crescimento**, que é a curva de proliferação que se observa quando o meio é extremamente rico em nutrientes, ou mesmo na **fase de declínio**, em que o meio sendo mais pobre, a proliferação é apenas proporcional à quantidade de matéria nutritiva: apenas são floculadas as bactérias em **fase endógena**, quando, esgotados os nutrientes, as bactérias passam a viver principalmente de suas próprias reservas nutritivas, caindo a curva de reprodução. Assim sendo, a floculação está condicio-

nada, além dos fatores coloidais, à capacidade energética do meio em que vivem. O valor energético do esgoto pode ser medido em quilos de D B O por dia, por quilo de esgoto: quando esse valor é muito elevado, as bactérias têm seu metabolismo intensificado e suas atividades locomotoras impedem a floculação: quando baixo, as bactérias entram em atividade, aderindo umas às outras toda vez que o movimento Browniano as põe em contato. Se, ao material floculado, são adicionados compostos nutritivos, os flocos se desfazem novamente; se as bactérias não floculadas são retiradas de um meio de cultura rico em nutrientes e colocadas em simples solução salina, passam a formar flocos.

Nos processos aeróbicos de tratamento de esgotos, a floculação é de grande importância, a fim de produzir a decantação do material em suspensão. Por outro lado, entretanto, a metabolização das substâncias orgânicas é altamente desejável, como já foi dito acima. A aeração do esgoto, por qualquer processo, produz a oxidação rápida desse material através de uma intensa proliferação de bactérias aeróbicas, que consomem a matéria nutriente, entrando em fase endógena, por superpopulação. Nessa fase dá-se a floculação, que permite a precipitação das restantes partículas em suspensão. Nessas condições, pode-se ter várias situações, com relação aos fatos mencionados: uma aeração deficiente poderá manter um excesso de matérias nutritivas, portanto excesso de valor energético, impedindo a boa floculação: uma aeração excessiva (particularmente no caso de tratamento por lodos ativados) intensifica a floculação, porém, dando origem a flocos de baixa capacidade depuradora, devido a um metabolismo muito reduzido das bactérias que o formam.

Naturalmente, nos esgotos, o processo encerra maior complexidade. Além dos fatores expostos, podem intervir outros. Assim, por exemplo, é sabido que, nesse meio, podem existir diversos tipos de coloides, orgânicos e inorgânicos, de diversas origens, além dos de origem bacteriana. Tais coloides, conforme a sua carga eletrocinética e natureza química, podem intervir de uma ou de outra maneira no processo, quer servindo como alimento para as bactérias, fornecendo-lhes energia, e, por conseguinte, agindo contra a floculação, quer produzindo floculação, adsorção de partículas e das próprias bactérias. Por outro lado a presença de eletrólitos no esgoto é considerada de pouca importância, dada a pequena capacidade de reação apresentada pela cápsula de polissacarídeos da bactéria. Está demonstrada, também, a existência de floculação causada por protozoários (2) (3) (4). Essa floculação, originada de maneira um pouco diferente da que foi discutida, e diversa, também, do que se supunha anteriormente, pode ser observada, nas seguintes condições: quando protozoários, especialmente cílios, que habitam em grande número os esgotos, entram em fase de declínio do crescimento, começam a formar corpos esféricos, de tamanho relativamente grande, no interior de suas células. Uma vez mortos os organismos, estas esferas são libertas — já tivemos ocasião de observar a expulsão ativa, dessas esferas de gelatina, pelos microorganismos ainda vivos — reunindo-se em massas de capacidade adsorvente, dando origem aos flocos.

## 2.2. Nutrição dos microorganismos do esgoto

A realização da oxidação do esgoto depende da presença de microorganismos em grande quantidade, os quais devem reproduzir-se, portanto auto-cons-

truir-se, ou melhor, sintetizar novos organismos, à custa do material do meio, através do processo de nutrição. Os organismos responsáveis por essas atividades podem ser autótrofos ou heterótrofos, compreendendo-se nessas classificações, vários graus de necessidades, com relação aos nutrientes minerais e orgânicos. Considerando-se o conjunto, pode-se dizer que há exigência, por parte dos organismos, quer em substâncias minerais, quer orgânica, para o desempenho de suas funções.

O alimento orgânico é construído principalmente pelas partículas de substâncias decomponíveis, oxidáveis, que representam o material poluidor do esgoto. Há exigências diferentes, pelos vários tipos de microorganismos heterótrofos, com relação à natureza desses compostos. A bactéria *Sphaerotilus*, por exemplo, que forma extensos filamentos em certos tipos de esgotos e águas poluídas, exige, no seu metabolismo, grandes quantidades de carboidratos, reproduzindo-se mais intensamente em meio que contenha maior porcentagem dessas substâncias (5) (6) (7) (8). Acredita-se, mesmo, que tenham certa importância na transformação desses compostos em tratamento de esgotos (9). Certos fungos, frequentes em estações de tratamento aeróbico, utilizam para sua nutrição, substâncias resultantes da decomposição das bactérias (10). Ainda, certos tipos de animais, como caramujos, vermes e larvas de insetos, que se nutrem de matéria orgânica de esgoto, podem, às vezes, destruir a camada de zoogleia que se forma nas pedras dos filtros biológicos, prejudicando em parte o tratamento. Finalmente, certos protozoários nutrem-se de bactérias, fato que é considerado de importância para o tratamento, sob vários aspectos, como será discutido adiante.

É interessante, do ponto de vista do tratamento, que, do material orgânico consumido pelas bactérias, apenas uma parte mínima seja utilizada para produção de energia por esses organismos, sendo desejável que a maior parte constitua elemento material para a reprodução bacteriana (11) e isto é tanto mais verdadeiro quando considerado em face dos novos conceitos sobre a atividade purificadora das bactérias. Pode-se prever que cerca de meio quilo de novas células se forma para cada quilo de D B O estabilizado.

Com relação às necessidades em nutrientes minerais, manifestadas pelo conjunto de microorganismos do esgoto, sabe-se que, na sua maior parte, estes se acham presentes, como constituintes normais dos esgotos domésticos e industriais. Apenas os compostos de nitrogênio e fósforo podem ser insuficientes, especialmente nos despejos do segundo tipo. Tem sido suficientemente demonstrada a importância de se conhecer, em um despejo, as relações entre D B O e nitrogênio e D B O e fósforo, procurando-se estabelecer a relação ótima que permita uma boa estabilização. Essa relação pode ser modificada, em um despejo, pela introdução de outro mais ou menos rico em nitrogênio ou fósforo, que é o que se verifica quando se realiza a mistura de esgoto doméstico com despejo industrial. Para que se obtenha uma boa taxa de estabilização, deve-se procurar obter, nesses casos, uma relação:

$$\frac{DBO}{P} = \frac{17}{1}$$

e uma relação:

$$\frac{DBO}{P} = \frac{90}{1} \quad (11).$$

### 2.3. Reprodução — Papel dos protozoários

A reprodução de diversos microorganismos que tomam parte no tratamento aeróbico de esgotos depende, primeiramente, da nutrição, da maneira como já foi mencionada. Além disso, depende, ainda, do fornecimento de oxigênio e outros fatores, como por exemplo, a concorrência, a produção de auto-toxinas, etc. A concorrência se verifica sempre que um determinado meio constitui substrato favorável ao desenvolvimento de vários tipos de microorganismos diferentes. Quando, entretanto, existe uma condição desfavorável, aqueles microorganismos capazes, por suas características, de sobreviver a ela, passam a predominar sobre os outros. No tratamento de esgotos é frequente observar-se em certas épocas, a predominância de certos tipos de fungos ou outros organismos, de acordo com as condições de temperatura, etc., vigentes, nesse período (10). Fato semelhante ocorre com os vários gêneros de protozoários que, num dado instante, populam os filtros biológicos ou as câmaras de lodos ativados (9).

Quanto ao último fator mencionado, relacionado à reprodução dos microorganismos, ou seja, à produção de auto-toxinas, sabe-se que muitas proliferações são limitadas de modo a impedir a superpopulação. Isso se deve não só à falta de nutrientes, que acaba por verificar-se, quando o meio não é renovado, como também à secreção, pelos próprios microorganismos, de substâncias com características antibióticas, que impedem ou diminuem a taxa de reprodução.

Quando se observa o crescimento de microorganismos em um meio de cultura, verifica-se que este se dá segundo uma curva, em que se reconhece: uma fase de rápida ascensão, ou fase de crescimento logarítmico (uma vez que cada indivíduo forma dois descendentes, por divisão, e assim sucessivamente); uma fase de declínio do crescimento (em que a reprodução atinge um limite, para começar a regredir); e uma fase endógena (em que a curva do crescimento cai sensivelmente) (2). O declínio e, especialmente, a fase endógena, em que os microorganismos passam a viver de suas próprias reservas, devem-se, principalmente, ao esgotamento das substâncias (ou de alguma em particular) nutritivas no meio. Está provada, porém, a existência de substâncias auto-inibidoras do crescimento que, produzidas pelas células, aumentam de concentração, no meio, na medida em que estas se multiplicam, chegando a uma quantidade tal, que impedem ou diminuem muito, a reprodutividade dos microorganismos. Tal é o caso, por exemplo, das algas do gênero *Chlorella*, produtoras de inibidor químico que já foi isolado, a *clorelina*. Por esse motivo, para se obter culturas em larga escala, desses microorganismos é necessário não só adicionar, frequentemente, novo material nutritivo, como também eliminar parte dos microorganismos, a fim de diminuir a concentração do antibiótico.

Não fôsse a ação auto-inibidora de reprodutividade, chegar-se-ia a resultados fantásticos, no processo de divisão dos microorganismos. Com efeito, se calcularmos, a título de curiosidade, o volume desses seres que se formaria após um período de 62 horas de livre reprodução, em fase logarítmica, isto é, em progressão geométrica de razão dois, supondo um único organismo inicial, medindo cerca de 3 micra cúbicos, sofrendo divisão em cada meia hora, teríamos, depois de decorrido esse tempo, um volume da ordem de um trilhão de quilômetros cúbicos, o que equivale ao do globo terrestre (12).

Tratando-se de reprodução de bactérias, a remoção de parte dos microorganismos, de modo a

mantê-los em fase de grande reprodutividade, pode ser realizada por intermédio de protozoários que as utilizam como alimento. Com efeito, grande número de ciliados do esgoto nutrem-se de bactérias e a importância do seu papel, com esse respeito, tem sido apontada por inúmeros autores (9) (10), acreditando ser essa, uma das razões pelas quais a presença, nos aparelhos de tratamento, de grande número de ciliados como *Vorticella*, e outros, constitui indício de boas condições de funcionamento dos mesmos. Tais protozoários não permitiriam que as bactérias atingissem, no esgoto, um número tal que causasse o acúmulo de produtos tóxicos ou escassês de nutrientes, mantendo-os, assim, em fase de crescimento logarítmico, quando seriam mais produtivos. Em face dos novos conhecimentos sobre o verdadeiro papel das bactérias na floculação dos esgotos, entretanto, há alguma dificuldade em se conciliar esse ponto de vista com o de que as bactérias atingem maior grau de produtividade, com relação à floculação, na fase endógena de reprodução e não na fase logarítmica. Por outro lado é evidente que na fase de mais franco crescimento e, portanto, de metabolização, as bactérias são mais produtivas com relação à oxidação de matéria orgânica e remoção de D B O, sendo necessário obter-se, em qualquer processo aeróbico de tratamento biológico, um meio termo, em que as bactérias se apresentem igualmente eficientes com relação ao seu papel na sedimentação e na oxidação. Isto poderá ser obtido, com efeito, através de um fornecimento adequado de oxigênio, como será discutido futuramente.

Outras funções têm sido atribuídas, por diversos autores, aos protozoários no tratamento aeróbico (2) (3) (4). Além do fato de contribuírem, indubitavelmente, para a oxidação, uma vez que, sendo organismos heterótrofos, alimentam-se do lodo orgânico, alguns pesquisadores tem relacionado os protozoários com a produção de flocos. Alguns ciliados segregam muco a fim de aglutinar bactérias que, uma vez fixas e reunidas em massas mais ou menos volumosas, ficam menos sujeitas aos turbilhonamentos produzidos na água, além de permanecerem nas vizinhanças do animal. Essas massas gelatinosas formam flocos adsorventes, tal como a massa de zoogleia produzida por certos tipos de bactérias. Foi observado, além disso o fato, já mencionado, de produzirem, ao entrarem em fase de declínio de crescimento, corpos esféricos no interior de suas células, os quais são libertos para o meio por ocasião da morte.

Alguns pesquisadores chegam a considerar os protozoários como os elementos mais ativos no tratamento aeróbico, reconhecendo nas bactérias apenas uma importância secundária, tendo obtido purificação do esgoto com culturas puras de ciliados do gênero *Epistylis*, em ausência completa de bactérias; outros, conseguindo resultado idêntico com culturas puras de bactérias (90% de remoção de D B O) afirmam ser nulo o papel dos protozoários; finalmente, a opinião mais comum é a de que ambos tem importância no processo. Experiências realizadas com lodos ativados normais, em que os protozoários eram inativados por vários processos químicos e físicos, revelaram que, na ausência total destes, embora se obtenha boa eficiência com relação à remoção de D B O, essa eficiência não é tão grande no que diz respeito à clarificação do efluente. Concluem os autores que, embora esses organismos sejam importantes para o tratamento por auxiliarem a clarificação e também a purificação, sua importância no tratamento é bem menor que a das bactérias (3).

#### 2.4. Respiração dos microorganismos de esgoto

Através da respiração aeróbica os organismos formadores de flocos oxidam a matéria orgânica que retiram do esgoto. O oxigênio necessário deve estar no próprio esgoto constituindo o O D, que pode ser enriquecido pela atividade de microorganismos fotossintetizantes, por contato direto com o ar ambiente ou por insuflação mecânica, de acordo com o tipo de tratamento aeróbico.

As bactérias e outros microorganismos aeróbios, ao destruir a matéria orgânica do esgoto, procedem como os animais superiores ao nutrirem-se: ingerem esse alimento, após transformá-lo em compostos solúveis e assimiláveis, que ficam armazenados em suas células, constituindo reservas que, posteriormente, serão utilizadas na composição de novas células (reprodução) ou no fornecimento de energia. Assim, o esgoto, ao ser intensamente arejado, na fase inicial do tratamento, sofre grande redução da sua D B O e, portanto, do seu conteúdo de matéria orgânica. Mas essa matéria orgânica é, inicialmente, armazenada nas células, principalmente sob a forma de glicogênio e não é imediatamente metabolizada. Só posteriormente, com a continuação do processo de tratamento é que será transformada em material para construção de novos microorganismos ou oxidada para a produção de energia necessária a essa mesma síntese ou a atividades locomotoras, etc.

De acordo com Eckenfelder e Weston (13), os seguintes fatos podem ser observados nesse processo: assim como nos meios de cultura, também no esgoto em oxidação biológica os microorganismos se reproduzem segundo uma curva que compreende uma fase logarítmica de crescimento, ou fase de máxima reprodução das células da massa biológica; uma fase de declínio, causada pela extinção do alimento no meio, o que determina uma diminuição das frequências das divisões celulares — esta fase termina por um estacionamento da curva, antes de iniciar a descida em virtude da morte de grande número de células, que começa a ocorrer, em número igual ao de formações de novas células; finalmente, uma fase de regressão e morte das células, ou fase de respiração endógena, em que morrem mais células do que se formam por novas divisões. A maior oxidação biológica do esgoto (redução de D B O) se verifica quando os microorganismos se encontram na primeira fase, isto é, no início da oxidação, quando a quantidade de matéria orgânica no meio é muito elevada e as células armazenam-na sob forma de glicogênio. Com o prosseguimento da aeração e diminuição da matéria orgânica, as células passam a se multiplicar, a transformar glicogênio em material para a formação de novas células (síntese) e a oxidar ativamente parte desse glicogênio na produção de energia (respiração) até que, não possuindo mais reservas, entram em fase de declínio. Aqui, pois, é que a D B O é realmente consumida, a matéria orgânica realmente oxidada. Finalmente, se faltar suprimento em matéria orgânica, prosseguindo o fornecimento de oxigênio, as células passam a respirar endógenamente, isto é, oxidar seu próprio material que foi sintetizado, morrendo em grande número. Quando isto sucede, a massa biológica fica com verdadeira "avidéz" de compostos orgânicos, como será visto ao se tratar do processo de lodos ativados.

O fornecimento de ar tem por função, portanto, suprir o meio em oxigênio, o suficiente para que os microorganismos possam respirar, oxidando suas reservas de glicogênio (no caso de bactérias) ou de outros compostos (no caso de protozoários, etc.). Um fornecimento excessivo de oxigênio, em relação

à quantidade de matéria orgânica, pode levar ao estabelecimento de fase endógena, em que a massa biológica passa a se auto-destruir, transformando o material sintetizado em gás carbônico, água, e amônia. Esse fornecimento de oxigênio pode ser realizado por intermédio de processos físicos, no caso da filtração biológica e intermitente, lodos ativados, etc., ou por processos bioquímicos, como no caso das lagoas de oxidação.

### 2.5. Aeração física

Existem, essencialmente, dois processos físicos de aeração dos esgotos. Um, que consiste em se reduzir o líquido a uma camada muito delgada, com grande superfície exposta diretamente ao ar atmosférico: são os sistemas de leitos de contato, filtros biológicos, filtros intermitentes, etc.; outro, que se realiza através da insuflação do ar, por meio de bombas, diretamente na massa líquida: são a simples aeração do esgoto e o processo clássico dos lodos ativados. Atualmente existem inúmeras variantes de todos esses processos, não se podendo distinguir, perfeitamente, os dois sistemas principais apenas com respeito ao modo pelo qual é realizada a aeração. Existem biofiltros e câmaras de contato com circulação forçada de ar, e existem lodos ativados em que a aeração é realizada por contato superficial, por intermédio de agitação produzida por rotores, etc.

Uma segunda característica, porém, distingue basicamente os dois princípios: enquanto que no primeiro a massa biológica, os flocos, forma uma película aderente a um substrato sólido, às superfícies das pedras, grãos de areia, carvão, etc., no segundo sistema essa massa biológica constitui flocos em suspensão na massa líquida.

#### 2.5.1. Filtração biológica e leitos de contato

Todos os processos atualmente existentes, de depuração biológica por meio de filtração, são derivados, quanto à essência de seu funcionamento, de um tipo mais primitivo de tratamento que consiste em lançar-se o esgoto ao solo. Reconhecendo-se, posteriormente, tratar-se, na verdade, de um processo de oxidação, em que os microorganismos tinham papel preponderante, constituindo os grãos de solo apenas um substrato sólido de grande superfície para fixação desses microorganismos, passou-se a estudar a possibilidade de variar o tamanho ou a qualidade desses grãos, por conseguinte, à consideração do tipo de solo que condicionaria maior rendimento. Assim, surgiram primeiramente os processos de filtração intermitente através de areia e, finalmente, os modernos filtros biológicos construídos com cascalhos, em vez de material mais fino, ou, ainda, os leitos de contato, construídos com material poroso que, sem ser finamente dividido, oferece também, grande superfície para fixação de microorganismos.

A filtração que se realizava pelo lançamento de esgotos em qualquer área de solo, foi primeiramente modificada com a descoberta de que determinados tipos de solo, arenosos, eram mais eficientes para o tratamento do que outros. Posteriormente, verificou-se a necessidade de uma distribuição uniforme do esgoto na superfície do terreno, além de uma drenagem eficiente, e esses conceitos, como também a interpretação biológica que passou a ter o tratamento, levaram à criação dos sistemas de filtração intermitente, desenvolvidos nos Estados Unidos há mais de 50 anos e que são ainda utilizados, naquele país, sem grandes alterações (14) (15). As vantagens alegadas da utilização que ainda se

faz, desse tipo de tratamento, são as seguintes (16): não apresenta dificuldades de operação; não necessita grande e complexo equipamento; não produz, praticamente, quantidades apreciáveis de moscas e mosquitos; os filtros são de fácil manutenção; o efluente é límpido; a renovação de bactérias é muito grande, não havendo, geralmente necessidade de clorar o efluente; é o processo que apresenta maior grau de remoção de DBO (98%). Por outro lado, os filtros de areia apresentam os seguintes inconvenientes principais: exigem grandes áreas de terreno (cerca de vinte vezes maiores que as exigidas pelos filtros biológicos); nem sempre são encontradas, no local, areias com características ideais para a filtração; não se pode impedir o crescimento de mato, no leito dos filtros, o qual precisa ser removido periodicamente; não é muito fácil uma boa distribuição do esgoto por todo o leito.

O bom funcionamento desses filtros depende principalmente (15) de um pré-tratamento eficiente do esgoto; eficiência do sistema de drenagem; periodicidade e volume adequado da aplicação do esgoto; características da areia, quanto ao tamanho e uniformidade dos grãos (espaços muito reduzidos, entre os grãos, além de impedirem o suficiente arejamento, para as atividades de oxidação, restringem o desenvolvimento de microorganismos e dificultam a saída do lodo. Além disso, esses espaços são facilmente obstruídos por partículas contidas no esgoto, o que diminui muito a taxa de filtração).

A zona mais eficiente no tratamento é constituída pela camada superficial de areia que vai até 30 cm. de profundidade, verificando-se (17) que nessa camada é encontrada a maior parte das bactérias formadoras de flocos, bem como grande população de protozoários. As bactérias são as principais responsáveis pelo tratamento que se realiza nos filtros intermitentes (16). Proliferam, aderentes aos grãos de areia, formando massas adsorventes capazes de oxidar a matéria orgânica. Entre as bactérias que povoam esse tipo de filtros destacam-se, por ordem decrescente de predominância: **Zoogleia ramigera**; **Bacillus cereus**; bactérias amarelas, como **Flavobacterium aquatile**; **Alcaligenes faecalis**; actinomicetias, como **Nocardia** e **Streptomyces**, sendo **Nocardia** muito mais frequente que o último. Os protozoários predominantes são: **Colpoda** e **Paramecium** que, entretanto, podem desaparecer em certas épocas, provavelmente em virtude de variações de temperatura, umidade, etc. Além desses dois gêneros, podem aparecer **Colpidium**, **Tetrahymena**, **Glaucoma** e **Leucophrys**, que se alimentam de bactérias (como os dois anteriores). O flagelado **Peranema** pode, também, aparecer em quantidades apreciáveis. Além disso, são muito frequentes, atingindo números elevadíssimos, as amebas, tanto testáceas, como nuas. Encontram-se, ainda, metazoários anelídeos, platielmintos, nematóides, rotíferos, ácaros, insetos adultos e larvas. Todos esses, como também os protozoários, parece terem grande importância na remoção de lodo como também no excesso de zooglia que, quando em grande quantidade, pode diminuir muito a taxa de filtração.

Uma vez reconhecida a atividade biológica dos microorganismos que proliferam sobre os grãos de solo ou de areia, como principal fator da depuração dos esgotos, e que esta atividade está na dependência de uma adequada ventilação constituindo fonte de oxigênio para a decomposição aeróbica, procurou-se reduzir a área necessária ao tratamento construindo filtros de maior altura (ou profundidade) (29). Como já foi dito, entretanto, a camada ativa de um filtro de areia ou de solo não ultrapassa

30 cm. de espessura, certamente em virtude da deficiente ventilação existente nas camadas mais profundas. Além disso, ficou perfeitamente estabelecido que o importante, em um filtro biológico, é a área ocupada por microorganismos, em relação à quantidade de esgoto que o atravessa, não havendo necessidade da existência de poros muito finos, que, de resto, são até mesmo prejudiciais por se obterem com facilidade. Substitui-se, assim, os grãos de areia por pedaços de carvão coque ou pedras, de preferência porosas, a fim de fornecer grande superfície de contato. Essas pedras enchem tanques onde é o esgoto lançado, intermitentemente, emergindo completamente o material poroso, em cuja superfície se desenvolvem microorganismos capazes de adsorver e oxidar o esgoto. Nesses leitos de contato, entretanto, desenvolvem-se facilmente, condições de anaerobiose, o que dá origem à formação de uma flora e fauna mistas, em que são encontrados microorganismos anaeróbios e semi-anaeróbios, como a sulfobactéria *Beggiatoa* ao lado de aeróbios como *Zoogleia ramigera*. Posteriormente, introduziu-se a aeração forçada, por meio de borbulhamento de ar no interior dos tanques-aeração por contato. Mesmo assim, não é um processo de grande rendimento. O lodo se sedimenta no fundo das câmaras, necessitando ser removido frequentemente. Além dos microorganismos citados encontram-se em grande número, nesses leitos, os gêneros *Oicomonas*, *Tetramitus*, *Paramecium*, *Metopus* (15).

Transformando o sistema intermitente em sistema de lançamento contínuo, criou-se o chamado filtro biológico, largamente empregado nas modernas estações de tratamento de esgotos. Lançado o esgoto, contínua e uniformemente distribuído sobre a superfície de um grande volume de cascalhos, há formação, sobre estes, e em poucas semanas, de uma película gelatinosa ativa, constituída de fungos, bactérias, algas, protozoários, etc. Depois de completada a formação dessa camada ativa, o filtro permanece em funcionamento contínuo. Os filtros biológicos podem ser de **baixa capacidade**, ou filtros Standard, quando é pequeno o volume de esgoto aplicado por unidade de tempo, e filtros de **alta capacidade** em que a vazão é maior. Nesse último caso, o efluente é geralmente rico de material em suspensão, além de flocos biológicos ativos ou mortos que constituem, por assim dizer, um excesso de material acumulado sobre os cascalhos e que é removido pela ação mecânica do fluxo contínuo de esgoto. Nos casos de filtros de baixa capacidade esse material permanece no filtro, sendo totalmente oxidado, e o efluente é mais límpido; porém, no tipo anterior, verificou-se que os flocos se multiplicam com muito maior rapidez, além de não entupirem os interstícios, uma vez que o excesso é continuamente removido.

A camada de gelatina biologicamente ativa, que recobre cada um dos cascalhos das camadas superficiais, possui a seguinte composição (18). Uma película superior, ou **camada superficial**, em que há predominância de fungos, mas onde se encontram, também, bactérias e protozoários. Abaixo desta está uma camada espessa, **camada intermediária**, em que há predominância de algas, filamentosas ou não, (somente nos cascalhos atingidos pela luz), incluindo hifas de fungos, além de protozoários e vermes nematóides. Finalmente, abaixo destas e aderente à superfície da pedra, penetrando parcialmente em suas reentrâncias, existe uma **camada basal** constituída por um micélio de fungo que envolve células de bactérias, algas e protozoários. Nas regiões do filtro ou cascalho em que a iluminação é meros

intensa, pode faltar a primeira camada de fungos, ficando a camada de algas diretamente exposta. Além disso, encontram-se, em quantidade, organismos móveis tais como algas, protozoários, etc., que se deslocam através de todas essas camadas. Esta estrutura parece ser constante nos cascalhos permanentemente lavados pelo esgoto: apenas as espécies ou mesmo gêneros de microorganismos podem variar, em épocas diferentes, ou de um tipo para outro de filtro, como por exemplo, de um filtro de alta capacidade de filtração para um de baixa capacidade. A denominação de zoogleia, para essa gelatina, parece inadequada no caso desses filtros, uma vez que ela é constituída, na verdade, por uma grande variedade de microorganismos e não apenas bactérias.

À simples vista não se pode notar a presença de fungos ou bactérias, a não ser em certas ocasiões, em que a gelatina toma coloração alaranjada, em virtude da formação de esporos nos fungos da espécie *Fusarium aquaeductum*. O micélio do fungo, que se prende às pedras, parece ter, além da função de decompor matéria orgânica, o papel de fixar as colônias de bactérias, impedindo que se desprendam das pedras, pelo menos em certas épocas do ano. Os fungos mais frequentemente encontrados nos filtros de alta capacidade são, por ordem decrescente de frequência: *Fusarium aquaeductum*, *Geotrichum candidum*, *Pullularia pullulans*. Nos filtros do tipo "standard" são: *Corriothyrium fuckelii*, *Fusarium aquaeductum* e *Geotrichum candidum*. Eventualmente, podem formar-se espessos tapetes acinzentados ou brancos de *Leptomitius lacteus* em áreas limitadas dos filtros de alta capacidade, nas épocas mais frias do ano. Além dessas são citadas dezenas de outras espécies de fungos que povoam os cascalhos dos filtros biológicos (18).

Entre as algas figuram, geralmente, os gêneros comuns em águas poluídas: *Stigeoclonium*, *Euglena*, *Chlorella*, *Oscillatoria* e *Phormidium* são mais frequentes. Entre as bactérias, acham-se presentes, além das espécies formadoras de zoogleia, algumas que decompõem compostos nitrogenados (*Nitrosomonas* e *Nitrobacter*) e muitas outras, responsáveis por várias funções. Encontram-se, também, quando as condições são favoráveis, tufos de bactérias filamentosas do gênero *Sphaerotilus*, que é causa frequente de entupimentos, além de *Beggiatoa* e bactérias anaeróbicas, principalmente na base da película de gelatina, quando esta é espessa, originando condições propícias: espirillum e *Chromatium* são, também, aí encontradas (15).

Os protozoários situam-se geralmente nas camadas superficiais, sendo os mais frequentes: *Epistylis* e *Opercularia* (10), *Paramecium*, *Oxytricha*, *Euplotes* e o anaeróbio *Metopus*, representando os ciliados, devoradores de bactérias; amebas e flagelados estão, também, muitas vezes, presentes. Além disso, são encontrados vermes, tais como os anelídeos *Tubifex* e *Limnodrilus*, nematóides, etc., e larvas de insetos, principalmente, *Psychoda polyepidum*, *Harnischia*, *Cricotopus* e *Glyptotendipes*. Também ácaros dos gêneros *Histiogaster* e *Histosoma* são frequentes. Todos esses organismos são benéficos ao tratamento por ingerirem matéria orgânica. Entretanto são citadas, às vezes, como nocivas, as larvas de *Psychoda*, além de caramujos e vermes, por removerem o filme de gelatina (9), e também as formas adultas de moscas do gênero *Psychoda* que, quando em grande número, podem tornar-se incômodas. A melhor solução para remoção do excesso desses organismos indesejáveis ainda parece ser a **inundação** do filtro (10).

### 2.5.2. Lodos ativados

O princípio da depuração que se verifica no processo dos lodos ativados é, essencialmente, o mesmo já estudado nos anteriores. O elemento ativo é o floco, formado por bactérias e outros organismos. A diferença essencial está em que, neste processo, não há propriamente um substrato sólido para fixação desses organismos ou, se há, este é constituído pelas próprias partículas de lodo do esgoto. Disto resulta, evidentemente, uma economia de espaço nos aparelhos, que não têm de ser preenchidos com cascalhos ou outro material de grande superfície — a superfície total das partículas de lodo em suspensão, é de resto, muito maior do que a dos cascalhos. Uma segunda característica do processo é a de que, sendo os flocos móveis e não fixos permanentemente em uma determinada posição do aparelho, podem aqueles ser retirados do esgoto que já se encontra em fase de adiantada oxidação e transferidos para o esgoto bruto ou em início de depuração, sob forma de **lodo de retorno**, que acelera o processo não só em virtude da grande capacidade depuradora que já possui, como também por constituir, esse retorno, uma verdadeira inoculação em massa de microorganismos depuradores que irão se reproduzir rapidamente no novo meio. A insuflação constante de ar pode ser realizada por intermédio de bombas, sob pressão, ou pela movimentação da massa líquida através da rotação de escovas, tôrres ou outros meios que renovem sua superfície em constante contato com o ar atmosférico, promovendo a aeração superficial. Esses processos não só fornecem o oxigênio indispensável à atividade respiratória dos microorganismos depuradores, como promovem a agitação do meio, distribuindo uniformemente o lodo contendo flocos por toda a massa líquida.

Quanto à natureza do floco é a que já foi descrita em páginas anteriores. Inclui, além de bactérias, grande número de outros organismos, tais como: fungos, protozoários, algas, rotíferos, nematoides e, algumas vezes, larvas de insetos. Quando, no seu interior, existem condições de anaerobiose parcial, podem ser encontrados organismos como *Beggiatoa*, etc. Em geral, existe uma matriz gelatinosa, onde se encontram incluídos os organismos. Existem flocos constituídos por um só tipo de organismos, como *Zooglea ramigera* ou *Sphaerotilus natans*. O floco, como já foi dito, tem um papel de agente físico-químico, na depuração, dada sua natureza essencialmente coloidal, adsorvendo partículas; porém, além disso, desempenha papel biológico, assimilando a substância orgânica que transforma, parte em energia e parte em novos organismos, através do processo de síntese. O floco pode ser assim considerado quase que um elemento vivo, que se nutre e cresce; além disso, o floco pode morrer, dando origem à formação, no seu interior, de ambiente anaeróbico, que determina a morte dos elementos aeróbios característicos da sua estrutura (15).

Além da *Zooglea ramigera*, foi verificada a presença de outras bactérias no floco (1): *Bacillus cereus*, *Escherichia intermedium*, *Paracolobactrum aerogenoides*, *Nocardia actinomorpha*, e uma pertencente ao gênero *Flavobacterium*. Com exceção da primeira, todas essas bactérias realizam remoção de DBO do esgoto, nas seguintes proporções relativas: *E. intermedium*: 76%; *P. aerogenoides*: 76%; *N. actinomorpha*: 88%; *Flavobacterium*: 78%. Além dessas, outras bactérias, como *Aerobacter aerogenes* são também eficientes na depuração, embora menos ativas que as anteriores. Mais recentemente, muitas outras bactérias formadoras de flocos têm sido isoladas dos lodos ativados (2). A presença, em grande

número, de protozoários no floco, especialmente cilíados, como *Vorticella*, *Paramecium* e *Blepharisma* constitui um importante indicio de boas condições do lodo ativado, seja pelo seu papel como reguladores do número de bactérias, seja por contribuírem para a formação do próprio floco e também removerem DBO, como já foi mencionado.

Na oxidação biológica que se verifica no processo de lodos ativados, tem-se que levar em consideração os seguintes fatos já mencionados anteriormente: primeiro, o de que a formação de flocos com capacidade adsorvente se encontra na dependência de uma inatividade parcial das bactérias, uma vez que, de outro modo, elas não se aglutinariam: essa inatividade pode ser proporcionada através de uma nutrição deficiente ou de uma elevada taxa de oxidação, ambas agindo no sentido de reduzir a quantidade de energia disponível das bactérias, as quais não terão, em consequência, forças suficientes para vencer a atração produzida pelas forças de Van der Waals; por outro lado, deve-se lembrar que a maior taxa de metabolização das bactérias e, consequentemente, a maior capacidade de remoção de DBO se dá nas fases logarítmica e de declínio de crescimento bacteriano, enquanto que na fase endógena — isto é, quando, em virtude de um excesso de aeração ou falta de nutrientes, as bactérias passam a se auto-digerir — estas têm as suas capacidades metabolizadoras muito reduzidas. Assim, quando ocorre a oxidação total, nos lodos ativados, há formação de flocos de alta capacidade adsorvente mas de pequeno poder oxidante. Esse lodo pode auto-destruir-se, morrendo mais bactérias do que as que se formam por síntese, resultando como sub-produto, CO<sub>2</sub>, água e amônia no esgoto. Procura-se, pois, obter um estágio intermediário, através de uma adequada introdução de esgoto e de oxigênio, de modo a obter bactérias com suficiente capacidade de depuração, mas que ao mesmo tempo não disponham de energias tão grandes que lhes permitam fugir à formação de flocos adsorventes. Na fase logarítmica ocorre 90% da remoção de DBO e isso se dá nos primeiros 20 minutos de aeração. Essa DBO permanece armanzenada, por assim dizer, sob a forma de glicogênio, nas bactérias, para ser metabolizada na fase seguinte, ou de declínio, resultando dessa metabolização, a formação de energia e de novas células (13). Evidentemente essas fases não se observam distintamente, em uma estação de tratamento em que o fornecimento de esgoto é contínuo. É preciso, pois, que o suprimento de oxigênio seja calculado, em função da entrada de esgoto, de maneira a nunca se observar, nos aparelhos, um crescimento logarítmico, sem floculação, ou a fase endógena, pouco produtiva, causada por um deficiente suprimento de alimento para as bactérias.

Bactérias do gênero *Sphaerotilus*, comuns em esgotos ricos em carboidratos, são capazes também de flocular e remover DBO (56%) e turbidez (46%) do esgoto (6). O lodo formado apresenta-se entretanto, com aspecto pouco compacto, com volume aproximadamente três vezes maior que o equivalente em peso formado por *Zooglea ramigera*, contendo muito maior porcentagem de umidade quando sedimentado em cones Imhoff. Por essa razão, esse lodo não é capaz de sedimentar-se normalmente, tendendo a flutuar, formando uma espécie de espuma na superfície dos decantadores, fenômeno esse que recebe a denominação de "bulking", prejudicando a qualidade do efluente final (29). Outros organismos, como *Chladothrix dicotoma*, têm sido descritos como causadores do mesmo fenômeno (8). Várias tentativas têm sido feitas para a eliminação desses organismos nos lodos ativados.

Tem sido observado que uma aeração mais intensa do esgôto elimina o *Sphaerotilus* (7) (8) (19). Além disso, tem sido experimentada, com algum sucesso, a aplicação de doses de cloro, sulfato de cobre ou de malaquita (5 ppm.) suficientes para destruir o *Sphaerotilus* sem prejudicar o desenvolvimento normal de outras bactérias do esgôto (5).

Os chamados **Valos de Oxidação** (20) hoje de uso corrente para pequenas instalações na Alemanha e Holanda, constitui uma variedade simplificada do processo de lodos ativados. Assemelham-se, sobretudo, a êstes, por não conterem cascalhos ou quaisquer outros substratos sólidos para a fixação dos flocos, os quais se encontram dispersos em constante agitação produzida por escôvas rotativas. Entretanto, diferem do princípio anterior por não haver lodo de retorno. Os processos biológicos que se verificam são os mesmos, assim como, aparentemente, os microorganismos que tomam parte na depuração do esgôto. Como, entretanto, há deposição permanente de lodo no fundo dos valos, haverá, possivelmente, maior atividade de organismos de fundo, tais como vermes, larvas de insetos e outros que não apresentam grande importância no processo clássico de lodos ativados.

## 2.6. Aeração bioquímica. — Lagoas de estabilização

Desde o ano de 1900 vem sendo utilizado, em cidades europeias, especialmente Estrasburgo, um sistema de tratamento secundário de esgotos, idealizado por Hofer, em que se procura imitar os processos de oxidação natural que se realizam nos cursos d'água, à custa de atividade biológica principalmente de microorganismos. Partindo da observação de que a depuração biológica nos rios era realizada à custa de um abundante desenvolvimento de plantas e animais aquáticos e que aquela se observa mais intensamente nos pontos do rio onde é menor a velocidade da correnteza, Hofer supôs que o mesmo poderia ser realizado em tanques especialmente construídos, contendo as mesmas espécies vegetais e animais capazes de consumir matéria orgânica do meio e restabelecer o oxigênio dissolvido. O sistema construído em Estrasburgo (21) (22), apresentava as seguintes características: o esgôto era tratado primariamente em decantadores que o clarificavam, retirando 63,4% do material sedimentável, o qual era encaminhado para tratamento anaeróbico. O efluente líquido, por outro lado, era lançado, à razão de 20 litros por segundo, a quatro tanques com dimensões de 40 a 50 m de largura por 100 a 150 m. de comprimento, com profundidade de 0,30 m. nas margens e 0,80 m. no centro. Êstes tanques recebiam, além do esgôto clarificado, mais 60 litros por segundo de água de rio que a êle se misturava diluindo-o. Nos tanques eram colocados, previamente, animais, tais como microcrustáceos, larvas de insetos, moluscos, etc., e vegetais, especialmente as formas fixas, enraizadas no fundo. No último desses tanques, um pouco mais profundo que os anteriores (até 1 m.) foram colocados peixes (especialmente carpas) em número de 700 inicialmente, os quais se alimentavam de microorganismos que aí se desenvolviam. Por essa forma, os nutrientes introduzidos com o esgôto eram, finalmente, transformados em carne de peixe, observando-se que o pêso médio das carpas aumentou, efetivamente, de 329 gramas em média, para 1.500 gr. no espaço de apenas sete meses.

Os ensaios químicos e bacteriológicos destes tanques acusaram, no verão, uma redução de até

92,5% no número de bactérias, 78% no nitrogênio e de 88% na demanda de oxigênio. O efluente era límpido, absolutamente desprovido de odor e com um O D variando entre 5 e 7 ppm. Nas condições climáticas de Estrasburgo essa depuração foi obtida com uma superfície de água equivalente a um hectare para cada 2.000 habitantes servidos.

Nos Estados Unidos, mais recentemente, observou-se que esgotos lançados a lagoas naturais ou artificiais, com águas paradas ou tempo de detenção relativamente longo, sofriam um processo de auto-depuração, através de oxidação biológica, na qual tomavam parte principalmente organismos microscópicos. Estudos mais aprofundados, realizados principalmente a partir de 1950, demonstraram que, entre êstes microorganismos, os que tomam parte mais ativa no processo de depuração são as bactérias, decompondo a matéria orgânica, tal como o fazem nos cursos d'água em auto-depuração ou nas câmaras de lodos ativados, e as algas como elemento fornecedor do oxigênio indispensável à respiração aeróbica. Trata-se, pois, de um processo de estabilização semelhante aos demais em que, entretanto, o oxigênio é fornecido por via bioquímica, como resultado da reação de fotossíntese, ao invés de ser insuflado por processos mecânicos ou obtido do simples contato com o ar atmosférico. Provavelmente o mesmo mecanismo se verifica no sistema de Hofer, predominando, também, naqueles tanques, a atividade bacteriana e a oxigenação por algas, representando, os demais organismos, como crustáceos, moluscos e insetos, entre os heterótrofos, e as plantas enraizadas, entre os autótrofos, apenas um papel secundário.

O mecanismo da estabilização consiste, pois, no seguinte:

I — As bactérias aeróbicas, utilizando-se de suas enzimas e de processos oxidativos em grande escala, agem sobre a matéria orgânica, decompondo-a em moléculas mais simples e mais estáveis liberando nutrientes de algas, tais como gás carbônico e sais minerais.

II — As algas utilizam os nutrientes e, através da fotossíntese, liberam oxigênio que ajuda a manter as condições aeróbicas.

Nessas lagoas, denominadas **lagoas de oxidação** ou **lagoas de estabilização**, procura-se, ao contrário dos tanques de Estrasburgo, remover ou impedir o crescimento de plantas enraizadas, bem como de alguns animais macroscópicos, como as larvas de insetos, que podem apresentar mais inconvenientes do que vantagens, em virtude da insignificância de sua capacidade depuradora quando comparada à dos microorganismos que proliferam em números astronômicos, nesse rico meio.

O esgôto sofre, via de regra, um tratamento primário que afasta a maior parte dos sólidos em suspensão, os quais serão tratados por processo anaeróbico, seja em digestores comuns, seja, mesmo, em uma lagoa aneróbica, como é em geral realizado nos sistemas australianos de lagoas de oxidação. A parte líquida, clarificada, do esgôto, é lançada em uma ou mais lagoas sucessivas, com capacidade suficiente para permitir um tempo de detenção ótimo para a oxidação biológica aeróbica. Nestas lagoas prolifera um grande número de bactérias aeróbicas, além de várias espécies de algas verdes, azuis, flagelados pigmentados e, eventualmente, diatomáceas. Existem várias modalidades de sistemas principalmente com respeito ao número de lagoas, à existência de uma fase anaeróbica seguida de fase aeróbica em duas lagoas distintas ou, mesmo, na

mesma lagoa em diferentes estações do ano, dependendo do clima local. Entretanto, o princípio de funcionamento é o mesmo em tôdas elas e em tôdas se reconhecem os mesmos fatores a interferir na eficiência do processo. Apenas, do ponto de vista hidrobiológico, convém considerar separadamente do sistema clássico, norte-americano, o sistema australiano, uma vez que, neste último, existe uma fase de tratamento anaeróbico realizado também em lagoas que recebem o esgôto bruto total, enquanto que no primeiro há uma fase de decantação e clarificação que não faz parte, propriamente, do sistema de lagoas, mas que obedece ao processo convencional.

### 2.6.1. Sistema americano

No sistema mais utilizado norte-americano, o esgôto, depois de clarificado, é lançado em lagoas rasas onde se procura manter, pelo menos na maior parte do tempo, condições de aerobiose. Entretanto, especialmente nas regiões em que o inverno é mais rigoroso, sobretudo havendo formação de camada de gelo na superfície, o ambiente se torna séptico por espaços variáveis de tempo, acumulando-se então, lodo orgânico, em decomposição anaeróbica muito lenta. Os fatores que concorrem para o bom funcionamento de uma lagoa aeróbica são aqueles fatores que melhor favorecem o desenvolvimento e atividade metabólica de bactérias e algas, bem como o rendimento fotossintético destas últimas. São, pois, diretamente: a luz, a temperatura, e o fornecimento de nutrientes e, indiretamente, todos aqueles que se relacionam com a produção ou a limitação destes, tais como: a profundidade da lagoa, turbidez, área exposta à luz, intensidade luminosa, carga de esgôto, etc. Dêstes fatores, alguns podem ser controlados pelo técnico, seja por meio de providências de operação, seja através de cuidados na execução do projeto do sistema: tamanho, forma, área e profundidade da lagoa, composição do solo, escolha do lugar, carga de D B O e método de operação. Outros, entretanto, não se encontram sujeitos ao controle pelo homem, tais como: luz, temperatura, ventos e demais fatores climáticos (23). O estudo desses fatores, que será feito a seguir, é válido não só para lagoas do sistema americano como também para as lagoas aeróbicas que constituem a segunda fase do sistema australiano.

#### a) Bactérias e algas

Observa-se, nas lagoas onde são lançados os esgotos clarificados, o aparecimento de grande número de bactérias de vida livre, aeróbicas, de vários tipos. Além disso, a água, na lagoa, adquire em pouco tempo uma turbidez esverdeada, dada pela presença de algas microscópicas que aí se encontram em número de centenas de milhares de células por centímetro cúbico. Em geral, junto à entrada, predominam os gêneros de flagelados pigmentados, tais como: *Euglena*, *Pyrotrys*, *Chlamydomonas*, *Lepocinlis*, *Phacus*, enquanto nas regiões onde já se encontra degradada a maior parte da matéria orgânica, passam a dominar algas verdes como: *Chlorella*, *Chlorococcum*, (as quais, entretanto, podem ser encontradas em algumas épocas, predominando no início da lagoa) *Micractinium*, *Ankistrodesmus*, *Golenkinia*, *Scenedesmus*, *Actinastrum*; algumas formas filamentosas, como *Stigeoclonium*; algas azuis, como *Microcystis*; flagelados pigmentados como *Pandorina*, *Gonium*, etc. Algas azuis, embora pouco citadas na maior parte das lagoas de oxida-

ção dos Estados Unidos, podem chegar a atingir números muito elevados, como sucede com *Microcystis*, em número superior a um milhão de células por centímetro cúbico a 30 cm. de profundidade, em lagoas do Estado de São Paulo, produzindo, ao se decompor, forte odor de esgôto prejudicial às qualidades estéticas da lagoa aeróbica. Há referências ao fato de que, em algumas lagoas do sudoeste americano, a proliferação de algas azuis bem como, consequentemente, a produção de mau cheiro, se acham relacionadas com temperaturas muito elevadas (23). A análise comparativa de inúmeras lagoas de oxidação da Califórnia não revelou existência de variação geográfica na flora algológica (24). De um modo geral, as análises sistemáticas dos gêneros existentes em lagoas do Estado de São Paulo confirmam os resultados encontrados na Califórnia, a não ser com relação às algas azuis, *Microcystis*, que atingem aqui números muito elevados, assim como as algas verdes, *Chlorococcum*, não mencionadas na Califórnia. Variações estacionais, entretanto, têm sido observadas com frequência, assim como modificações devidas à variação de carga de D B O, pH, e outras características do efluente clarificado.

Estudos experimentais de tratamento de esgôto têm sido feitos utilizando-se culturas de diferentes espécies de algas.

Em geral, as algas experimentadas são do gênero *Chorella* (25) (26) (27) e *Euglena* (28) que são as mais frequentes em lagoas de estabilização. Entretanto, bons resultados têm sido obtidos, em laboratório, com algas azuis filamentosas do gênero *Oscillatoria* (29).

#### b) Nutrientes

O principal problema na alimentação dos organismos é o da aquisição de carbono, sob forma simples, como CO<sub>2</sub>, para síntese de matéria orgânica ou, já na forma de compostos orgânicos a serem assimilados pelos seres heterotróficos. Para as formas de vida que se desenvolvem nos esgotos, a fonte de carbono é constituída principalmente pelos vários tipos de compostos orgânicos, de que se nutrem as bactérias, protozoários e outros seres heterotrófos e pelo gás carbônico resultante da atividade destes, que servirá à nutrição dos autótrofos. Algumas algas, como *Chlorella*, *Chlorococcum*, *Euglena*, etc., que normalmente vivem autotróficamente quando em presença de luz, podem viver à custa de matéria orgânica, da mesma forma que bactérias e protozoários, quando a luz é escassa.

São importantes, por outro lado, também, as fontes de alguns outros elementos que entram na composição da célula, especialmente nitrogênio e fósforo. Para os seres heterotrófos esses elementos são obtidos a partir das próprias moléculas dos compostos mais complexos, enquanto que para os fotossintetizantes as principais fontes desses elementos são os sais minerais resultantes da decomposição da matéria orgânica, bem como de outras substâncias, especialmente detergentes, que são, lançados ao esgôto. Geralmente, porém, esses elementos não chegam a constituir fatores limitantes nas lagoas de oxidação, ao contrário do que ocorre normalmente nas águas não poluídas. Uma vez que são exigidos em quantidades muito pequenas, em relação ao carbono, e que se encontram em quantidades relativamente grandes em águas que recebem muita matéria orgânica complexa, esses elementos somente chegam a faltar ou tornar-se limitantes no caso de haver um fornecimento excessivo de carbono sob

forma de compostos simples, isto é, constituindo moléculas que não contenham nitrogênio e fósforo. Além disso, o fósforo, embora presente, pode precipitar-se, em forma de orto-fosfatos insolúveis, quando o pH do meio se eleva a níveis mais altos que 9,0 (30).

As algas que habitam uma lagoa de oxidação apresentam diferentes graus de auto ou heterotrofismo. Assim é que algumas espécies são, mesmo, capazes de viver em completa ausência de luz, alimentando-se de matéria orgânica; outras, embora autótrofas, podem utilizar-se de compostos nitrogenados reduzidos, tais como amônia ou mesmo amino-ácidos enquanto que as autótrofas estritas somente podem assimilar o nitrogênio na forma oxidada, de nitratos. Para estas últimas, as formas mais complexas de compostos nitrogenados são, mesmo, tóxicas, e isso pode condicionar uma variação de gêneros acompanhando a sequência de fases da depuração, ou seja, ao longo da lagoa, uma vez que os compostos, como proteínas, aminoácidos e amônia, abundantes no esgoto não oxidado, vão sendo aos poucos substituídos por nitritos e finalmente apenas nitratos, à medida que se aproxima do efluente (24).

As algas tendem a aumentar o teor de matéria orgânica dos esgotos, uma vez que sintetizam essas substâncias a partir de compostos minerais. Além de formarem novas células, reproduzindo-se ou crescendo, secretam, também, para o meio, substâncias orgânicas por elas elaboradas, as quais se dissolvem no meio. Isto ocorre em maior quantidade, sempre que o tempo de detenção é superior a 6 dias (27) (30). Esse material elaborado, bem como o das próprias algas quando morrem, pode constituir fonte nutritiva para as bactérias ou seja fator de DBO. Enquanto as algas se mantêm vivas, entretanto, seu material é mantido na forma estável, não oxidável, não constituindo fator de demanda de oxigênio mas sim, pelo contrário, fonte de oxigênio para o meio. Quanto à matéria orgânica secretada, em forma solúvel, para o meio, não se pode dizer o mesmo: é sempre um fator de demanda, devendo ser evitada a sua super-produção, se possível, através do controle do tempo de detenção.

### c) Temperatura

A temperatura da água de uma lagoa de oxidação acompanha, mais ou menos, a curva de variação da temperatura externa, com exceção das camadas mais profundas que se mantêm mais estáveis, podendo haver diferenças de até 5°C entre as temperaturas do fundo e da superfície (23). A eficiência da lagoa, com respeito à estabilização do esgoto, aumenta com a elevação da temperatura, dentro de certos limites. Admitem alguns autores (25) uma redução à metade, da taxa de reação nessas lagoas para cada 10°C de abaixamento da temperatura (seguindo de perto, pois, a curva prevista pela expressão de Van't Hoff-Arrhenius) dentro dos limites de 3 a 35°C dados respectivamente pelo enorme retardamento que sofre a atividade bacteriana às temperaturas próximas do ponto de congelamento da água e, no outro extremo, pela inativação térmica de vários tipos de algas. Dessas observações, conclui-se que, em função da temperatura média local, deve ser calculado o tempo de detenção na lagoa bem como a carga de DBO e superfície total da lagoa, tendo em vista que às baixas temperaturas o tempo de reação deve ser prolongado. Há, também, a possibilidade de se variar o tempo de detenção, a carga de DBO ou a profundidade da lagoa em diferentes estações do ano. Com menor profundidade há uma melhor distribuição da tempera-

tura na massa d'água, enquanto que as mais profundas tendem a reter o calor no fundo, o que é desejável, no inverno, a fim de evitar o retardamento do processo.

### d) Luz

A eficiência de uma lagoa de oxidação depende, em grande parte, da produção de oxigênio por fotossíntese e esta produção está por sua vez, na dependência do número de algas, ou melhor, concentração de clorofila existente na água da lagoa, bem como, além disso, da intensidade luminosa. Experiências realizadas com *Euglena gracilis*, bem como com outras espécies de algas frequentes em lagoas de oxidação, revelam que apenas uma pequena parcela, representando aproximadamente 5 a 7% do total de intensidade luminosa que chega às algas em um dia claro, é suficiente para que estas fiquem, por assim dizer, saturadas de luz. Mesmo em dias de chuva a intensidade de luz pode ser superior ao limite de saturação. O excesso, além de não poder ser utilizado na fotossíntese pode ser, mesmo, prejudicial, causando amarelecimento das células por destruição da clorofila (25) (31). Além disso, deve ser lembrado que essa pequena porcentagem representa o máximo que pode ser utilizado, para uma elevada taxa de fotossíntese, mas se se considerar apenas a energia luminosa que é necessária para que a taxa de produção de oxigênio, por fotossíntese, seja simplesmente superior à de consumo pela respiração das próprias algas, verifica-se que esta representa apenas 0,2 a 0,3% de intensidade luminosa que, em dias claros, atinge a superfície da água.

A intensidade luminosa, a uma dada profundidade, pode variar com os seguintes fatores locais (23): latitude e altitude, cobertura de nuvens, etc., fator estacional: radiação diária; penetração de luz incidente, de acordo com a profundidade, turbidez, espuma, cobertura de gelo, etc. Em certos locais, as algas situadas a profundidades maiores que 60 cm. não produzem suficiente quantidade de oxigênio para cobrir a sua própria demanda respiratória.

Partindo-se da equação de Beer-Lambert:

$$I_d = I_0 e^{-kcd}$$

em que  $I_d$  representa a intensidade luminosa a uma dada profundidade  $d$ , após a passagem da luz através de um meio que possua coeficiente de absorção  $k$ , concentração  $c$ , e profundidade  $d$ ;  $I_0$ , a intensidade original da luz incidente sobre a superfície da água ( $e$  é a base de logaritmo neperiano), e substituindo-se  $kc$  pelo valor  $n$  que representa o coeficiente de extinção, ou seja, a porcentagem de luz (medida diretamente pelos discos de Secchi), que é perdida, em cada metro, por ação dos fenômenos de absorção e dispersão, pode-se chegar a uma fórmula:

$$d = \frac{\log \frac{I_0}{I_d}}{n}$$

a qual permite determinar, em uma lagoa que receba determinada intensidade de luz, qual a profun-

didade em que as algas se encontram no chamado **Ponto de Compensação**, isto é, no ponto em que produzem, por fotossíntese, tanto oxigênio quanto consomem na própria respiração. Esta será, teoricamente a maior profundidade produtiva da lagoa, uma vez que abaixo da mesma, embora a luz ainda esteja presente, as algas consumirão mais oxigênio do que podem produzir. É necessário conhecer-se de antemão, entretanto, o valor  $I_q$ , ou seja, a intensidade luminosa necessária para atingir o ponto de compensação, das próprias espécies de algas em questão, o que pode ser determinado em laboratório.

Entretanto, na maior parte dos casos, considerando a relativamente pequena quantidade de oxigênio fotossintético que é necessário ser produzido por todo o conjunto de algas da lagoa, a fim de promover a estabilização, admitem os autores serem as variações de temperatura e não as de intensidade luminosa, as que constituem o fator mais importante para promover uma eficiente atividade microbiológica na lagoa (25).

#### e) Profundidade

A profundidade da lagoa é um fator importante a ser considerado, não só por limitar a penetração de luz como, também, por interferir na distribuição do calor na massa d'água. Alguns autores admitem, mesmo, ser esse último o aspecto mais importante, uma vez que a temperatura é mais limitante que a luz na maior parte dos casos (25).

Em geral, calcula-se (em função da temperatura como também da penetração de luz) que a maior eficiência é obtida com profundidade de 60 cm. a 1 metro, sendo que a melhor distribuição do calor é realizada com 60 cm. Nas regiões de temperatura média elevada e, principalmente, levando-se em conta que intensidade luminosa e temperatura são fatores climáticos que se encontram associados, é possível que as lagoas de oxidação apresentem um elevado rendimento com as máximas profundidades admitidas ou seja, cerca de um metro, a não ser que haja formação de uma camada espessa de algas flutuantes, principalmente **Microcystis**, que pode limitar muito a penetração da luz.

Um outro fator a ser considerado no cálculo da profundidade de uma lagoa é o crescimento de plantas enraizadas que pode ser prejudicial à boa operação, bem como constituir suporte para focos de larvas de insetos. Em geral, observa-se que essa vegetação cresce quando a profundidade é inferior a 70 cm. (23).

#### f) Produção de oxigênio

O processo de tratamento em lagoas de oxidação é um processo eróico, no qual a fotossíntese realizada pelas algas constitui a principal fonte de oxigênio. Para que se mantenham as condições de aerobiose é necessário que haja um balanço entre o oxigênio produzido ou introduzido e o consumido pela oxidação biológica no sistema. Nesse balanço entram, como principais fatores: a população de algas, que, segundo Hermann e Gloyna (25) é mais considerável que as variações de intensidade luminosa que podem ocorrer em diferentes épocas do ano; a luz e, de outro lado, a população de bactérias e outros microorganismos heterótrofos e a carga de esgoto a ser oxidado.

O oxigênio não provém exclusivamente da fotossíntese. Há, também, re-aeração pelo ar atmosférico, através da superfície exposta. É possível calcular a taxa de re-aeração (30), verificando-se então que esta pode variar entre 0 e 10 mg. por litro por dia, com valores médios de 1 a 4 mg. por litro por

dia, enquanto que valores mais altos somente podem ser obtidos em lagoas muito rasas e com forte agitação promovida pelo vento. Nessas condições, somente em tempos de detenção de 10 a 100 dias seria possível satisfazer uma DBO de 100 mg. por litro, apenas com aeração atmosférica. Isso somente pode ocorrer quando a demanda de oxigênio se faz sentir muito lentamente, em virtude da inativação das bactérias, produzida por baixas temperaturas.

A produção de oxigênio pelas algas é máxima quando estas se acham em fase logarítmica de reprodução e isso quando as condições de nutrição são favoráveis, especialmente, nas lagoas de oxidação, no que se refere ao fornecimento de carbono. Falando carbono elas se tornam menos ricas em clorofila, passando a acumular reservas sob forma de hidratos de carbono e gorduras, apresentando-se "envelhecidas", amareladas e volumosas, além de apresentarem uma produção de oxigênio menor que a sua própria demanda respiratória (26) (31). Uma água que contenha 100 mg. por litro de DBO é capaz de produzir aproximadamente 150 mg. por litro de peso seco de algas em cerca de 3 dias, com uma produção de 175 e até 200 mg. de oxigênio por litro por dia. Em geral, pode-se admitir que a taxa de re-oxigenação por fotossíntese, em uma lagoa de oxidação, é potencialmente 10 a 20 vezes maior que a atmosférica (30). O teor de oxigênio dissolvido pode chegar, em certas épocas, a 35 ppm. e 400% de saturação, sendo comum um OD de 10 a 20 ppm. durante o dia (32). A camada da lagoa onde há maior produção de oxigênio é a chamada **zona eufórica**, onde se dá a absorção de 99% da luz incidente. Em certas lagoas dos Estados Unidos (Dakotas), essa camada tem espessura de 5 a 70 cm. aproximadamente, caindo a produção de oxigênio à medida que se verifica a extinção da luz. Naquelas lagoas, a produção de oxigênio a cerca de 60 cm. é já inferior à demanda produzida pelos microorganismos aeróbicos (23).

#### g) pH

O pH das lagoas de oxidação está sujeito a grandes variações que ocorrem em diferentes estações ou horas do dia. A principal causa dessas variações está no consumo do gás carbônico realizado pelas algas, no processo de fotossíntese. Assim sendo, o gás carbônico, que é o principal responsável pela acidez das águas da lagoa, pode diminuir muito durante as horas claras do dia, quando a atividade fotossintética supera a respiração das bactérias e das próprias algas e é restabelecida durante a noite, quando cessa a fotossíntese, passando a preponderar a oxidação da matéria orgânica. Por outro lado, a liberação de amônia, que ocorre nas fases iniciais do processo de oxidação, tende a elevar o pH, mas em muito menor escala que a elevação devida à produção de  $\text{CO}_2$ . O pH, próximo do efluente, em dias favoráveis, pode chegar a 11,0 e o efeito tamponador dos carbonatos é muito pequeno, sendo frequente observar-se pH de 9,5 em águas contendo 400 ppm. de  $\text{CaCO}_3$ , porém, com variações não muito maiores que uma unidade (30) (32).

O pH pode interferir de várias maneiras, nos processos depuradores das lagoas. Estudos visando apurar a possibilidade de variações na flora algológica relacionadas com o pH não lograram resultados muito positivos, parecendo que esses organismos não são susceptíveis a variações extremas. Entretanto, os vários fatores relacionados com a variação do pH podem exercer ações de outra ordem sobre as algas (24) e já foi referido, entre outros, o fato de que o pH superior a 9,0 pode causar a precipi-

tação do fósforo sob a forma de orto-fosfatos insolúveis, limitando o crescimento de algas. Além disso, muitas bactérias são sensíveis a variações além dos limites de 6,0 e 9,0 e a própria taxa de fotossíntese pode ser reduzida pela elevação muito acentuada de pH. O controle de pH, em uma lagoa de oxidação, pode ser realizado através do controle de vazão do efluente e da profundidade da lagoa, fazendo-se variar a taxa, em diferentes horas do dia, aumentando-a sempre que as condições de luminosidade e temperatura favoreçam a realização da fotossíntese. Por outro lado, havendo uma fase de tratamento primário e digestão de lodos é sempre possível bombear esse material na fase ácida da digestão, introduzindo-o na lagoa quando o pH for demasiado alto (30).

#### h) Carga de DBO e área da lagoa

É de fundamental importância o estudo da carga de DBO que deve ser lançada à lagoa, ou seja, o número de quilos de DBO a serem lançados por dia, por unidade de superfície ou de volume da lagoa. Uma carga excessiva pode causar o aparecimento de condições sépticas, instalando-se flora e fauna anaeróbicas, com conseqüente produção de mau cheiro, etc. A carga permitida varia, naturalmente, com vários fatores, inclusive com fatores estacionais, relacionados principalmente com o tempo de insolação diária e, mais ainda, com a temperatura. Nas regiões de clima temperado, em que há congelamento da superfície da lagoa em um período do ano, o aparecimento dessas condições sépticas, mesmo com cargas mínimas, é inevitável durante um período variável de tempo, em que se acumulam lodos em processo muito lento, quase nulo, de digestão, em virtude da inativação das bactérias, mesmo anaeróbicas, por falta de calor. A decomposição anaeróbica será intensa, nesse caso, no início da primavera, quando se dissolver a capa de gelo e o calor for suficiente para permitir atividade bacteriana sensível. Nos climas em que o inverno é menos rígido, porém, as variações não são tão grandes. A carga de esgoto expressa em quilos de DBO por dia por metro cúbico (e não por metro quadrado) adotada por alguns autores (25) leva em maior conta os efeitos da temperatura que se tornam importantes, como já foi dito, sempre que se possa contar com uma intensidade luminosa, mínima, de ordem de 4000 a 5000 lumens durante algumas horas do dia, o que sempre sucede onde não haja cobertura de gelo. Uma vez que, entretanto, a profundidade da lagoa não pode ser ilimitada, sob pena de haver formação de uma zona séptica no fundo, onde a iluminação é escassa e há acúmulo de lodo, a superfície da lagoa é a principal dimensão a ser levada em conta no cálculo da carga admissível.

Outras características a serem levadas em consideração, na construção de lagoas de estabilização, são as que dizem respeito à sua forma, que deve ser a mais regular possível, a fim de evitar o acúmulo de espuma, com margens escarpadas, para impedir o desenvolvimento de vegetação enraizada, (embora mais sujeitas à erosão); aos dispositivos de entrada da lagoa, devendo esta ser múltipla para facilitar a homogeneização, e distante da margem, para facilitar o espalhamento pelos ventos do material sobrenadante; a saída, que deve poder ser operada em várias profundidades possibilitando, se necessário, evitar o despêjo de algas de superfície no receptor, etc. (23).

#### i) Eficiência

Os dois critérios mais usados para medir a eficiência de um sistema de tratamento de esgotos — medida de redução do DBO e dos sólidos em suspensão — perdem seu valor na avaliação da depuração em lagoas de estabilização, e isto porque as algas que nelas se sintetizam, são sólidos em suspensão e constituídas de matéria orgânica. Uma vez que a matéria orgânica é aí sintetizada e não obtida por transformação do material introduzido, pode-se dar o caso, freqüente, de ser a quantidade de matéria orgânica que constitui as algas muito maior que a quantidade originalmente introduzida pelo esgoto. O subseqüente lançamento desse efluente a um manancial receptor, seguido de morte das algas, as quais se decompõem por atividade bacteriana, pode originar demanda bioquímica de oxigênio neste receptor, o que pode ser mencionado como um inconveniente do sistema. As algas lançadas ao manancial, entretanto, não morrem imediatamente: diluem-se na massa d'água, onde continuam a produzir oxigênio por um período de várias horas ou dias e somente morrem no caso de encontrarem condições muito adversas. Pode, além disso, constituir alimento riquíssimo para microcrustáceos e peixes, quando lançadas em receptores adequados, ou podem ser removidas do efluente por cloração a 10 ppm, seguida de decantação (32). De qualquer forma, na análise do efluente para determinação de eficiência, não se devem incluir os microorganismos no total de matéria orgânica em decomposição, e a própria técnica de determinação de DBO deve ser modificada no sentido de se evitar a interferência das suas atividades orgânicas. A amostra para DBO contendo algas, se for mantida em ambiente iluminado, tenderá a apresentar uma taxa crescente de oxigênio dissolvido, em virtude da sua produção por fotossíntese; se mantido no escuro, apresentará uma falsa demanda produzida pela respiração de microorganismos ou pela sua decomposição, após a sua morte, que certamente se dará dentro do prazo de 5 dias, geralmente adotado para a determinação. Por esse motivo, costuma-se proceder à filtração prévia a fim de remover as algas da amostra, antes da incubação, mas esta filtração não pode ser muito fina, a fim de que não haja remoção, também, de partículas orgânicas outras que não os microorganismos.

A redução de DBO que se observa nas lagoas de estabilização é tão grande ou maior que em outros sistemas de tratamento, assim como também o seu poder de eliminar bactérias fecais e patogênicas. Alguns autores sugerem que a destruição rápida que se verifica, de coliformes, em presença de algas, se deve à produção, por estas últimas, de compostos semelhante à **clorelina**, que é uma substância com propriedades antibióticas, semelhante à penicilina, que, entretanto, tem ação mais ou menos específica, não prejudicando a atividade bacteriana normal do esgoto. A formação de áreas sépticas, na lagoa, devidas geralmente a falhas de projeto ou de operação, pode dar origem a mau cheiro. As áreas sépticas podem ser distinguidas facilmente pela ausência de ondas sob ação do vento. Sua formação pode ser evitada promovendo-se a rápida mistura do efluente com o esgoto que já se encontra parcialmente estabilizado na lagoa, seja através de entradas múltiplas ou mediante mudanças freqüentes do ponto de entrada. É possível usar-se nitrato de sódio, como fornecedor de oxigênio ao meio anaeróbico, satisfazendo até 20% da DBO, impedindo a formação de H<sub>2</sub>S (32).

Deve-se evitar sempre a presença de plantas emergentes enraizadas no fundo da lagoa. Vegetação do tipo de taboa e outros, geralmente não aparecem quando a lagoa tem mais de 1 metro de profundidade. É necessário também, remover-se toda a vegetação enraizada existente antes do lançamento do esgoto, assim como manter as margens completamente limpas de quaisquer ervas a fim de dificultar o desenvolvimento de mosquitos e caramujos planorbídeos no esgoto em estabilização.

Têm sido realizadas algumas experiências visando evidenciar a capacidade de reter isótopos radioativos apresentada por essas lagoas. Esses trabalhos têm demonstrado que substâncias como o fósforo radioativo, podem ser absorvidas pelas algas precipitando-se, quando elas morrem, desde que haja suficiente tempo de detenção, dependendo, pois, das características que forem dadas ao projeto. Elementos como iodo e cézio radioativo, embora não absorvidos pelas algas, podem também ser eliminados por um conjunto de reações químicas e bioquímicas, tais como trocas de ions e precipitações que normalmente se verificam nas lagoas e que constituem, por assim dizer, um importante processo de remoção secundária de isótopos, sempre que haja longo tempo de detenção (33).

### 2.6.2. Sistema australiano

Na Austrália, como também em vários países, inclusive o Brasil (34) (35) (36) tem sido utilizado um sistema em que o esgoto, ao invés de sofrer tratamento primário clássico, é lançado diretamente em uma lagoa de volume reduzido, onde permanece por um tempo de detenção relativamente curto (cerca de 5 dias), dando origem, assim, a condições anaeróbicas, antes de ser lançado na lagoa aeróbica. O objetivo inicial desse processo era apenas o de promover a sedimentação do material em suspensão, porém, verificou-se que, além disso, há uma grande redução de DBO graças à fermentação anaeróbica que ali se verifica. Foi evidenciado, ainda, um papel importante, nessa depuração, desempenhado pelo próprio lodo sedimentado, verificando-se que nas lagoas anaeróbicas que já continham certa quantidade de lodo o grau de depuração era muito mais elevado que nas lagoas em que este era removido (37).

O tratamento que se verifica na lagoa anaeróbica não depende da irradiação solar, não havendo necessidade de grande superfície exposta. Por essa razão, tais lagoas podem ser muito mais profundas que as aeróbicas. No processo de depuração formam-se gás carbônico e metano que se desprendem sob forma de bólbhas, promovendo certa agitação e mantendo partículas em suspensão. Por esse motivo, bem como por não conter o seu efluente uma quantidade satisfatória de oxigênio dissolvido, o sistema não pode dispensar a fase seguinte, em lagoa aeróbica, com características semelhantes à do sistema americano. A relação ideal da área da anaeróbica para a da aeróbica é de um para cinco (38).

### 3. Biologia do tratamento anaeróbico

No tratamento anaeróbico procura-se obter, em instalações especiais, a mesma sequência de fenômenos que se verifica nos depósitos de lodo orgânico formados nos cursos d'água altamente poluídos. O processo é semelhante, sob muitos aspectos, à digestão de alimentos nos organismos animais, (inclusive o homem) que, como já foi exposto, nada mais é que um processo de degradação da matéria

orgânica com o fim de torná-la solúvel permitindo, assim, a sua passagem através das paredes do trato digestivo e incorporação ao sangue e às células. As reações que se verificam no interior desses órgãos são, também, anaeróbicas e muitas das bactérias que nelas tomam parte, capazes de respiração intramolecular, têm, também, papel importante em algumas das fases do processo anaeróbico de depuração. Por essa razão este último recebe, também, a denominação de digestão e os aparelhos destinados à sua realização, **digestores**.

Pode-se reconhecer, no decorrer do processo, duas fases distintas: a) uma primeira em que se dá a **liquefação** do material, tal como na digestão dos animais, isto é, transformação dos corpos em suspensão de tamanhos relativamente grandes, sedimentáveis, em substâncias solúveis ou, pelo menos, em um estágio intermediário, finamente dividido. Essa etapa é realizada graças à ação de enzimas **exógenas**, isto é, enzimas que uma vez produzidas pelas bactérias são libertadas no meio, onde vão exercer suas atividades catalizadoras sobre as partículas orgânicas a fim de que estas, solubilizadas, possam ser posteriormente assimiladas pelas células bacterianas. Realiza-se pois, nesse processo, mais uma transformação de estados físicos do que, propriamente, uma degradação química completa das substâncias orgânicas e os produtos que dela resultam são, em geral, tanto ou mais inconvenientes do que o próprio material fresco de esgoto (3). b) a segunda fase consiste na **gaseificação** desse material solúvel, absorvido pelas células, através de uma ação enzimática **endógena**, isto é, no interior das próprias bactérias. Os principais gases resultantes são, além do gás carbônico, a metana e o gás sulfídrico.

Ainda análogamente ao que se passa no interior de um aparelho digestivo animal, observam-se, no processo de digestão do esgoto, fases caracterizadas, por diferentes graus de pH, propícios a diferentes tipos de enzimas: assim, enquanto que os primeiros estágios da liquefação se dão em ambiente ácido (pH situado em torno de 5), as reações de fase de gaseificação exigem pH mais elevado (de preferência 6,4 a 7,2).

Como já foi dito, trata-se aqui, mais uma vez, de um ciclo de vida, em que as bactérias capazes de vida anaeróbica procuram obter energia para realização de suas funções e material para sua auto-construção. O processo de que se utilizam, para obtenção, liberação e utilização das energias encerradas nas moléculas complexas e de elevado potencial que constituem a matéria orgânica é, ainda, o da oxidação desse material, resultando disso a formação de compostos de baixa estrutura: somente que, não sendo capazes de utilizar oxigênio livre — cuja presença inibe as reações mencionadas, podendo ser considerado pois, como elemento tóxico às bactérias, tanto quanto o ácido cianídrico o é às células humanas — recorrem à oxidação intramolecular que, não levando a uma degradação ou estabilização completa, forma, como sub-produtos, compostos ainda oxidáveis, cuja energia ainda não foi totalmente liberada, mas que, sendo combustíveis, podem ser, finalmente, transformados pelo homem em gás carbônico, mediante ignição, fornecendo a este as energias que as bactérias anaeróbicas não puderam aproveitar.

Reações de oxidação podem dar-se através de dois caminhos diferentes: um, mediante a introdução, na molécula, de átomos de oxigênio; outro pela retirada de átomos de hidrogênio. Nesse último caso é geralmente necessária a presença de um

composto que tenha a função de **ceptor de hidrogênio**. No caso da formação de gases pelas bactérias de esgoto, a substância que tem função de ceptor é o gás carbônico que pode passar, também, a metana. Por essa razão, muitas vezes, a introdução de gás carbônico nos digestores pode acelerar a fase de gasificação. Admite-se, mesmo, a possibilidade de se chegar, no futuro, a sistemas de "lodos ativados anaeróbicos", em que o material sedimentável será lançado às câmaras decantadoras nas quais será insuflado gás carbônico recirculado proveniente, em parte, da queima de metana, o qual além do papel de ceptor, terá a função de, tal como nos lodos ativados, produzir agitação do material, promovendo maior contato entre estes e as bactérias, o que é de grande importância para se obter rendimento no processo (39).

Substâncias que, como a glicose, celulose, proteínas, aminoácidos e gorduras, não são diretamente transformados em metana, sofrem a ação de dois grupos de bactérias, em duas fases distintas, até chegarem à formação de metana. Na primeira fase, que se realiza por intermédio da ação de grande número de bactérias comuns, de putrefação, as substâncias mais complexas são transformadas em compostos que servem de substrato a diferentes espécies de metanobactérias que, a partir destes, formam, então, a metana. Tais substratos podem ser: formiatos, CO e H<sub>2</sub> (**Methanobacterium formicicum**); álcoois primários e secundários e H<sub>2</sub> (**M. omelianskii**); propionatos (**M. propionicum**); acetatos e butiratos (**M. sohngeni Methanococcus mazei** e **Methanosarcina methanica**); butiratos, valeriatos e caproatos (**Methanobacterium suboxydan**); formiatos, H<sub>2</sub> (**Methanococcus vanielii**); acetatos e butiratos (**Methanosarcina methanica**); metanol, acetos, HCO (**M. barkerii**) (3)..

A reação geral da formação de metana por intermédio da ação destas bactérias é expressa da seguinte maneira (39):



em que H<sub>2</sub> é composto consumido como substrato.

Além de bactérias, podem ser encontrados, no esgoto em digestão, outros tipos de microorganismos, especialmente protozoários tais como: amebas, cílios, etc. Estes, entretanto, não se encontram em tão elevada proporção, como sucede nos lodos ativados e filtros biológicos, aparentemente não exercendo nenhum papel com relação a já citada manutenção da taxa de proliferação das bactérias.

#### 4. O problema de desmineralização dos efluentes

Um grande aumento de atividade biológica, decorrente da fertilização, caracterizado principalmente por um enorme desenvolvimento de algas nocivas à utilização das águas, tem sido observado em muitos mananciais que recebem efluentes de estações de tratamento de esgotos (5) (40) (41). Tornou-se clássico o ocorrido em uma série de lagos no Wisconsin, E.U.A., denominados Mendota, Monona, Waubesa e Kegonsa, os quais recebiam efluentes de várias estações de tratamento de esgotos das cidades vizinhas. Surgiu, ali, o fenômeno de floração causado por algas que, ao se depositarem nas margens, apodreciam produzindo intenso mau cheiro. As circunstâncias se agravaram ainda mais porque a população das cidades ribeirinhas, tomando o cheiro das algas por cheiro característico de esgotos, fez com que a Câmara Legislativa local proibisse,

por meio de lei, o lançamento dos efluentes nos referidos lagos, ficando as Estações de Tratamento sem poder lançar as águas despidas dos resíduos orgânicos. O Governo do Estado, entretanto, vetou a lei, criando uma comissão científica que realizou estudos hidrobiológicos, verificando que o aumento do teor de fósforo e nitrogênio era a causa do distúrbio, passando a exigir a remoção desses elementos dos efluentes de Estações de Tratamento de Esgotos. Ainda nos Estados Unidos, em uma experiência mais recente, de utilização de efluentes tratados, de esgoto, para abastecimento de uma cidade no Kansas verificou-se que uma das causas de insucesso estava na produção de forte mau cheiro e gosto devidos ao grande número de algas (45.000 por centímetro cúbico) desenvolvidas em virtude da elevada mineralização, o que muito contribuiu para que essa não tivesse aceitação por parte do público (42).

No Brasil existem vários exemplos do mesmo fenômeno, embora nem sempre bem estudados. Na Represa Billings, em São Paulo, manancial que constitui um dos maiores lagos artificiais do país, observa-se o fenômeno periódico de floração das águas causado pela maciça proliferação de algas azuis, dos gêneros **Microcystis** e **Anabaena**, que freqüentemente causam transtornos e grandes despesas com o tratamento de águas que abastecem três municípios próximos. O forte odor que ali se desenvolve, causado pela putrefação dessas algas, exige o emprêgo de carvão ativado e outros recursos dispendiosos. O elevado teor mineral, responsável por essas proliferações, é devido ao despêjo de esgotos parcialmente tratados que se realiza em um ponto da represa, distante cerca de 20 quilômetros do ponto de tomada para abastecimento.

As algas utilizam, para sua nutrição, via de regra, não a matéria orgânica que constitui o esgoto, mas sim os sais minerais, especialmente de nitrogênio e fósforo, que resultam da sua oxidação. O tratamento de esgotos geralmente não é mais que uma oxidação acelerada do material orgânico, sendo o seu efluente muito rico nesses sais. Têm sido realizadas várias tentativas de retirar, do efluente, os sais minerais, seja através de processos físico-químicos, seja biológicos. No primeiro caso são incluídos os processos de coagulação em que são retirados por adsorção até 99% dos sais de nitrogênio e fósforo. Os coagulantes ou adsorventes utilizados são: sulfato ferroso, sulfato férrico, sulfato de cobre, terra diatomácea, sulfato de alumínio, etc. Entretanto, dada a grande quantidade desses materiais que é necessário empregar, esses processos são muito dispendiosos. Alguns experimentadores procuram reduzir o custo total através do reaproveitamento do coagulante que é feito por processos químicos. Utilizando-se o sulfato de alumínio, como coagulante, pode-se obter remoção de 66% do fósforo com 100 ppm. do coagulante, 96% com 200 ppm. ou 99% com 300 ppm., sendo mais econômica a remoção de 95% do fósforo que se obtém com o emprêgo de 185 ppm. do sulfato de alumínio em um pH situado entre 7,1 e 7,7 e com um tempo de contato de 10 a 15 minutos (43). Isso significa um gasto em coagulante 6 a 10 vezes maior que o empregado em tratamento de água para abastecimento. A recuperação do sulfato pode ser feita em meio alcalino (pH = 11,9) com uma despesa, em reagentes, correspondente a cerca de 40% do preço do sulfato e ainda com a possibilidade de se aproveitar o fosfato de cálcio que resulta como sub-produto da reação. Calcula-se que, por esse meio, o custo do coagulante fique reduzido à sua décima parte sem levar em conta, entretanto, o custo da operação e das instalações necessárias.

O processo biológico para desmineralização de efluentes de estações de tratamento de esgotos vem merecendo, nos últimos anos, a atenção de vários pesquisadores. Uma vez que o principal inconveniente do lançamento de um efluente, contendo sais minerais, em uma água de abastecimento está na sua capacidade de provocar o desenvolvimento de algas que os utilizam em sua nutrição, parece lógico que o processo que se apresenta, pelo menos como o mais natural, para a remoção desses sais, é o que consiste em criar condições que favoreçam, ao máximo, o desenvolvimento das algas, em tanques especiais por onde passarão as águas do efluente tratado, antes de serem lançadas. Admite-se que 80 a 90% dos fosfatos possam ser consumidos pelas algas e, portanto, eliminados do efluente (44), desde que se possa, de algum modo, retirar depois essas algas. Experiências realizadas no campo, em lagoas de esta-

bilização e, em laboratório, com efluente de esgoto tratado (17), revelaram a possibilidade de se obter uma redução dos fosfatos solúveis de 90%, e até mais, em tempos de contato de 6 a 12 horas apenas. A intensidade luminosa mínima exigida pelas algas está situada entre 1.000 e 2.000 lumens e os gêneros que melhor proliferam nessas condições são *Chlorella*, *Scenedesmus* e *Stigeoclonium*. Esses sais, depois de adsorvidos, são utilizados pelas algas incorporando-se ao protoplasma. Pode-se pensar na utilização desses organismos, depois de mortos e removidos do efluente por decantação ou outro processo, como alimento para peixes, forragem para gado ou mesmo como adubo rico em fósforo, nitrogênio e outros elementos (28) (45). A limitação para esse processo parece estar, principalmente, nas grandes áreas de terreno que serão necessárias para a instalação dos tanques de pequena profundidade.

### REFERÊNCIAS

- 1 — MC KINNEY, R. E. & HORWOOD, M. P., 1952. Fundamental approach to the activated sludge process. I — Flocc-producing bacteria. *Sewage and Industrial Wastes*, 24: 117-123. E.U.A.
- 2 — MC KINNEY, R. E., 1956. Biological Flocculation. *Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes*, 1: 88-100. Reinhold Publishing Corporation. E.U.A.
- 3 — HEUKELEKIAN, H. & CURBAXANI, M., 1949. Effect of certain physical and chemical agents on the bacteria and protozoa of activated sludge. *Sewage Works Journal*, 21: 811-817. E.U.A.
- 4 — ROHLICH, G. A., 1949. The biology of sewage treatment — A discussion. *Sewage Works Journal*, 21: 659-667. E.U.A.
- 5 — LACKEY, J. B. & WATTIE, E., 1940. The biology of *Sphaerotilus natans* Kutzung, in relation to bulking of activated sludge. *Sewage Works Journal*, 12: 669-684. E.U.A.
- 6 — LITTMAN, M. L., 1940. Carbon and nitrogen transformations in the purification of sewage by activated sludge process, with a culture of *Sphaerotilus*. *Sewage Works Journal*, 12: 685-693. E.U.A.
- 7 — MORGAN, E. H. & BECK, A. J., 1928. Carbohydrate wastes stimulate growth of organisms. *Sewage Works Journal*, 1: 46-51. E.U.A.
- 8 — SMITH, J., 1934. Bulking of activated sludge. *Sewage Works Journal*, 6: 1041-1053. E.U.A.
- 9 — LACKEY, J. B., 1949. Biology of sewage treatment. *Sewage Works Journal*, 21: 659-667. E.U.A.
- 10 — HOLTJE, R. H., 1943. The biology of sewage sprinkling filters. *Sewage Works Journal*, 15: 14-29. E.U.A.
- 11 — SAWYER, G. N., 1956. Bacterial nutrition and synthesis. *Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes*, 1: 3-17. Reinhold Publishing Corporation. E.U.A.
- 12 — BRANCO, S. M., 1959. Alguns aspectos da hidrobiologia importantes para a engenharia sanitária. *Revista D.A.E.*, 20 (n.º 33): 21-30; 20 (n.º 34): 29-42. São Paulo.
- 13 — ECKENFELDER JR., W. W. & WESTON, R. F., 1956. Kinetics of biological oxidation. *Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes*, 1: 18-34 Reinhold Publishing Corporation. E.U.A.
- 14 — IMHOFF, K., MULLER, M. J. & THISTLETHWAYTE, D. K. B., 1956. *Disposal of Sewage and Other Water-Borne Wastes*. Butterworth Scientific Publication. Inglaterra.
- 15 — LACKEY J. B. & SMITH, D. B., 1959. Factor influencing development of biological flocs. *Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes*, 1: 108-115. Reinhold Publishing Corporation. E.U.A.
- 16 — CALAWAY, W. T., 1957. Intermittent sand filters and their biology. *Sewage and Industrial Wastes*, 29: 1-5. E.U.A.
- 17 — CALAWAY, W. T., CARROLL, W. J. R. & LONG, S. K., 1952. Heterotrophic bacteria encountered in intermittent sand filtration of sewage. *Sewage and Industrial Wastes*, 24: 642-653. E.U.A.
- 18 — COOKE, W. B. & HIRSCH, A., 1958. Continuous sampling of trickling filter populations II, Populations. *Sewage and Industrial Wastes*, 30: 138-156. E.U.A.
- 19 — RUCHHOFT, C. C. & WATKINS, J. H., 1928. Bacteriological isolation and study of the filamentous organisms in the activated sludge of the *Plaines River* sewage treatment works. *Sewage Works Journal*, 1: 52-58. E.U.A.
- 20 — HESS, M. L., 1959. *Lôdos Ativados a Baixo Custo Para os Esgotos de Pequenas Cidades*. (Mimeografado). Porto Alegre, R.G.S.
- 21 — BRITO, F. S. R., 1962. *Melhoramentos do Rio Tietê em São Paulo*. Ed. "O Estado de São Paulo", São Paulo
- 22 — DIENERT, M., 1922. *Cours d'Épuration des Eaux et Assainissement des Cours d'Eau*. École Spécial des Travaux Publics. França.
- 23 — TOWNE, W. & DAVIS, W. H., 1957. Sewage treatment by raw sewage stabilization ponds. *Journal of the Sanitary Engineering Division. — Proceeding paper 1337*. E.U.A.
- 24 — SILVA, P. C. & PAPPENFUSS, G. F., 1953. *Report on a Systematic Study of the Algae of Sewage Oxidation Ponds*. State Water Pollution Control Board. E.U.A.
- 25 — HERMANN, E. R. & GLOYNA, E. F., 1958. Waste stabilization ponds — III. Formulation of design equation. *Sewage and Industrial Wastes*, 30: 963-975. E.U.A.
- 26 — OSWALD, W. J.; GOTAAS, H. B.; LUDWIG, H. F. & LYNCH, V., 1953. Algae symbiosis in oxidation ponds — II. Growth characteristics of *Chlorella pyrenoidosa* cultured in sewage. *Sewage and Industrial Wastes*, 25: 26-27. E.U.A.
- 27 — PIPE, W. O. & GOTAAS, H. B., 1960. Utilization of organic matter by *Chlorella* growth in sewage. *Applied Microbiology* 8: 163-169. E.U.A.
- 28 — LUDWIG, H. F.; OSWALD, W. J.; GOTAAS, H. B. & LYNCH, V., 1951. Algae symbiosis in oxidation ponds — I. Growth characteristics of *Euglena gracilis* cultured in sewage. *Sewage and Industrial Wastes*, 23: 1337-1355. E.U.A.
- 29 — GAUR, A. C.; PIPES, W. O. & GOTAAS, H. B., 1960. Culture of *Oscillatoria* in organic wastes. *Journal Water Pollution Control Federation*, 32: 1060-1065. E.U.A.

- 30 — PIPES Jr., W. O., 1961. Basic biology of stabilization ponds. *Water and Sewage Works*, E.U.A.
- 31 — OSWALD, W. J.; GOTAAS, H. B.; LUDWIG, H. F. & LYNCH, V., 1953. Algae symbiosis in oxidation ponds. — III. Photosynthetic oxygenation. *Sewage and Industrial Wastes*, 25: 692-705. E.U.A.
- 32 — CALDWELL, D. H., 1946. Sewage oxidation ponds — Performance operation and design. *Sewage Works Journal*, 18: 433-458. E.U.A.
- 33 — STEEL, E. W. & GLOYNA, E. F., 1955. Concentration of radioactivity in oxidation ponds. *Sewage and Industrial Wastes*, 27: 941-956. E.U.A.
- 34 — PHILIPPOWSKY, C. L., 1960. Emprêgo de lagoas de oxidação no tratamento de esgotos. *Revista do Serviço Especial de Saúde Pública*, 11: 287-294. Rio de Janeiro.
- 35 — PHILIPPOWSKY, C. L., 1961. Notícia Sobre os Resultados da Operação de Lagos de Oxidação em São José dos Campos, São Paulo. (Mimeografado). Rio de Janeiro.
- 36 — VICTORETTI, B. A., 1961. Lagoas de oxidação para estabilização de esgotos em São José dos Campos, São Paulo. *Engenharia*, 20: 233-241. S. Paulo.
- 37 — PARKER, C. D.; JONES, H. L. & TAYLOR, W. S., 1950. Purification of Sewage in Lagoons. *Sewage and Industrial Wastes*, 22: 760-775. E.U.A.
- 38 — PARKER, C. D., 1960. Sewage lagoons in Australia. *Proceedings of Symposium on Waste Stabilization Lagoons*, sec. 7. E.U.A.
- 39 — KUNTZ, R. R. & NESBIT, J. B., 1956. A bacterium looks at anaerobic digestion. *Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes*, 2: 44-47.
- 40 — BRANCO, S. M., 1960. Os sais minerais como fatores de poluição. *Revista D,A,E.*, 21 (n.º 36): 49-51. São Paulo.
- 41 — SAWYER, C. M., 1944. Biological engineering in sewage treatment. *Sewage Works Journal*, 16: 925-935. E.U.A.
- 42 — METZLER, D. F. et al., 1958. Emergency use of reclaimed water for potable supply at Chanute, Kan. *Journal Americal Water Works Assn.*, 50: 1021-1060. E.U.A.
- 43 — LEA, W. L. ROHLICH, G. A. & KATZ, W. J., 1954. Removal of phosphates from treated sewage. *Sewage and Industrial Wastes*, 26: 261-275. E.U.A.
- 44 — BOGAN, R. H. A Treatment Process for Removing Phosphorus from Sewage and Industrial Wastes. (Mimeografado). E.U.A.
- 45 — SENA, O. L. S., 1963. A Lagoa de Estabilização de Esgotos, Início de seu Uso no Brasil e a Teoria da Nova Agricultura das Algas. (Mimeografado) Escola de Engenharia da Universidade da Bahia, Salvador.