

ASPECTOS BIOLÓGICOS DO FILTRO BIOLÓGICO (*)

ENG.º ALBERICO PRADO PASTANA FILHO (**)
ENG.º ARNALDO LOPES DA CRUZ
ENG.º DIRCEU GONÇALVES

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho constitui uma revisão de conjunto, isto é, um apanhado geral do conteúdo da bibliografia consultada e ao final referida relativa ao filtro biológico encarado de vários ângulos sempre em relação com os aspectos biológicos de seu princípio de funcionamento.

Buscou-se aqui, desde as apreciações iniciais de caráter descritivo até à exposição do princípio de funcionamento, da problemática de operação, manutenção e projeto, dar ênfase ao aspecto biológico fundamental neste processo de tratamento tão difundido para melhoria dos despejos sanitários a que se chama com relativa impropriedade de «filtro biológico».

2. DEFINIÇÃO

Filtro biológico é o nome dado a um dispositivo destinado à oxidação biológica da matéria orgânica contida no esgoto decantado em que este é espargido continuamente sobre um leito de pedras entre as quais o ar pode circular.

Considerando que filtração é a retenção dos sólidos suspensos num líquido que flui através de um leito poroso de-

ve-se preliminarmente esclarecer que nenhuma ação de filtração ocorre no filtro biológico em que o tamanho dos grãos é tão grande que não há retenção de sólidos nos poros e o próprio líquido não chega normalmente a inundar o leito mas escôa apenas sobre as pedras numa fina camada. A analogia entre o verdadeiro filtro e o chamado filtro biológico é pois apenas formal (grãos sólidos sobrepostos) mas a enorme diferença de granulometria e a circunstância de escoamento junto à superfície dos grãos implicam num fenômeno de natureza completamente diversa.

2.1 — Morfologia

O filtro biológico consta essencialmente de um recipiente geralmente cilíndrico (de eixo vertical) contendo um leito de pedras justapostas sobre o qual dispositivos de distribuição lançam continuamente o esgoto a oxidar.

2.1.1 — O «corpo» do filtro

Chamaremos de «corpo» ao recipiente que contem o leito de material granular; este corpo é estanque, de alvenaria ou concreto, de forma a poder-se inundá-lo quando se desejar; na parte inferior há dispositivo de drenagem do esgoto efluente e seu fundo é geralmente constituído de peças especiais de cerâmicas que facilitam a drenagem e o arejamento e não sofrem corrosão pelo esgoto que contem gás sulfídrico.

(*) Trabalho apresentado na Cadeira de Fundamentos Biológicos do Saneamento II da Faculdade de Saúde Pública da USP.

(**) Colaboradores — Carlos Chavez Roca — Fernando de Melo Mourão — Francisco de Assis Cardoso de Albuquerque — Humberto Beltrão Martins — Ivens Benedito Bloch Telles Alves — Luiz Eduardo do Canto Costa — Miguel Agostinho de Lator Imbiriba — Ramon Mario Roca — Roberto Fasanaro — Waterloo Vieira Fonseca.

Quando a distribuição de esgoto é rotativo o corpo do filtro é de planta circular o que ocorre mais freqüentemente; Há dispositivos de distribuição fixos aos quais geralmente se associa um corpo de filtro quadrado ou excepcionalmente retangular.

O dispositivo de saída de esgoto é tubulação dotada de registro de parada cujo fechamento permite a inundação do filtro; neste caso deve o corpo ser dotado de um ladrão (by-pass) para extravasão do esgoto.

Quando a parede do corpo é de concreto deve ser revestida para evitar a corrosão causada pelo ácido sulfídrico; o fundo deve ser dotado de chaminé lateral para aeração cuja extremidade superior deve ser alta o bastante para evitar por ali a extravasão de esgoto no caso de inundação deliberada do corpo do filtro.

A altura do corpo do filtro é variável, de acordo com a concepção do projeto, entre um e cinco metros aproximadamente.

A cobertura do filtro biológico às vezes adotada é um acessório ocasionalmente presente para prevenir o congelamento no inverno ou controlar a mosca do filtro devendo-se, quando ele existe, prover a: 1.º) Dispositivo de arejamento — aberturas, janelas, venezianas enteladas, chaminé de tiragem e ventilador; 2.º) Orifício na parede lateral para passagem do varão de desobstrução dos braços do torniquete e bocais de aspersão; 3.º) Porta de acesso para inspeção sobre o leito.

2.1.2 — O leito de percolação

O leito de percolação consta de material granular de 3 a 9 cm de diâmetro médio aproximadamente justaposto dentro do filtro com dupla função: 1.º) Dar apoio a uma película biológica gelatinosa que se desenvolve na superfície das pedras onde escoar o esgoto; 2.º) Permitir, graças aos vãos inter-pedras a circulação de ar para oxidação do esgoto.

Para material do leito de percolação no filtro biológico tem sido na maioria das vezes adotado pedra britada, pedregulho, cascalho, ou então tijolos cerâmicos, escoria, clínquer, madeira, plástico, etc.; na opção entre estas várias alternativas é de se considerar: 1.º) Custo do material colocado; 2.º) Características mecânicas — resistência à compressão — tendo em vista a altura dos filtros e esforços resul-

tantes do peso próprio do material do leito; 3.º) Resistência à corrosão (do ácido sulfídrico); 4.º) Tamanho, forma dos elementos e rugosidade da superfície; 5.º) Densidade (com vistas à inundação eventual do filtro).

2.1.3 — Distribuição do esgoto

A uniformidade na distribuição do esgoto sobre o leito do filtro biológico é a qualidade fundamental desta operação; é de se cogitar também da não obstrução dos condutos e bocais do sistema distribuidor que se pode classificar em dois tipos: o de estrutura fixa e o de estrutura móvel.

O distribuidor fixo consta de tubulação contendo o esgoto sob pressão e sangrada em pontos convenientes sobre o leito espargindo o esgoto por bocais de jato ascendente. Neste dispositivo não há peças moveis sujeitas a desgaste mas ocorre a obstrução freqüente de bocais surgindo em consequência zonas pobres de esgoto em contraste com outras pobres de arejamento o que cria problemas de operação.

O distribuidor rotativo consta de um torniquete hidráulico impelido pelos jatos de distribuição do esgoto que varrem a superfície circular do leito e cujo espaçamento deve não ser exagerado para não dar ensejo ao aparecimento de zonas pobres de esgoto no seio do leito. Os braços do torniquete atingem comprimento até de vinte metros ou pouco mais e porisso são atirantados afim de evitar flechas excessivas inconvenientes. Para a desobstrução de cada braço do torniquete há um varão suficientemente comprido e para seu uso a extremidade do braço é dotada de um cape removível.

O apoio central do distribuidor é um mancal de pião de bronze atravessado pelo fluxo do esgoto afluente.

A boa distribuição do esgoto exige uma vazão mínima em cada bocal em virtude do que, para atender às variações de vazão, o número de pares de braços distribuidores pode variar com ela: se há quatro braços, estes atendem às vazões grandes desligando-se dois quando as vazões são pequenas; para isto costuma-se dotar dois braços de sifões altos junto ao centro do filtro para que só recebam esgoto quando a pressão é maior dada a maior razão afluente.

Quando as vazões de esgoto são muito baixas e para os diversos tipos de distribuidores adotam-se tanques fluxíveis.

Além destes tipos citados de distribuição de esgoto no filtro biológico há outros mais raros, como por exemplo o disco rotativo sobre o qual o esgoto cai sendo espargido ou o dispositivo de bocais montados sobre tubulação móvel de vai-e-vem sobre um leito retangular porém esta referência tem significado quasi que exclusivamente histórico.

Quanto aos bocais dos braços rotativos, eles devem dar impulso para a rotação mas também — e principalmente — garantir ampla difusão do esgoto no leito sub-jacente e para isto costuma-se dotá-los de uma chapa soldada próxima ao bocal onde o jato incide alargando-se: é o tipo chamado de «rabo de peixe».

2.2 — Classificação

De acordo com o valor da vazão de esgoto o filtro biológico é classificado em: 1.º) Filtro de baixa capacidade — cuja vazão de serviço vai até 2,2 m³/m²/dia com carga de DBO acima de 200 mg/l; 2.º) Filtro de alta capacidade, para vazão da ordem de 8,5 m³/m²/dia até 28 m³/m²/dia e carga de DBO de 500 a 1800 mg/l.

Os filtros de alta capacidade podem ser: 1.º) Com recirculação quando a recirculação do esgoto efluente é indispensável à eficiência estabelecida para a vazão de serviço; 2.º) Sem recirculação — quando a altura do leito filtrante e as demais condições de funcionamento permitem a taxa de serviço indicada sem necessidade de recirculação do esgoto.

Pode-se também classificar o filtro biológico em estágios se o esgoto efluente de um filtro é afluente do seguinte que assim procederá à oxidação da matéria orgânica remanescente: 1.º) Filtração simples — de um só estágio; 2.º) Filtração dupla — se há dois estágios; 3.º) Filtração múltipla se há mais de dois estágios.

3. FUNCIONAMENTO

A transformação sofrida pelo esgoto no filtro biológico que sumariamente se diz ser uma oxidação biológica da matéria orgânica é o resultado de uma ação complexa de caráter físico, químico e biológico para cuja análise vamos considerar separadamente seus aspectos.

3.1 — Aspectos físicos e físico-químicos

Os teores existentes, no líquido a depurar, de oxigênio e matéria orgânica, presidem ao fenômeno da oxidação biológica. Ao início de seu funcionamento o filtro recebe esgoto decantado oriundo do decantador primário e sobre o leito de pedras começa a se desenvolver uma população microbiana característica habitante da película gelatinosa que envolve as pedras num ambiente tipicamente aeróbio devido à circulação de ar nos vazios do leito.

Esta película formada em contacto com o ar absorve-o, enriquecendo-se de oxigênio, favorecendo o desenvolvimento rápido dos organismos presentes alimentados pela matéria orgânica do esgoto dissolvida ou finamente suspensa. A velocidade de transferência de oxigênio depende do deficit deste no líquido (isto é, da diferença entre a concentração existente e a de saturação) e da natureza das substâncias contidas nesse líquido.

Ocorrendo a saturação de oxigênio no líquido junto à interface líquido-ar a transferência de oxigênio se anula mas pode prosseguir se o líquido saturado for transferido para longe da interface e substituído por outro ainda não saturado ou então se o oxigênio for levado por difusão para o resto da massa líquida; esta solução de transferência por difusão para garantir o prosseguimento desta oxigenação é pouco eficiente porque o fenômeno de difusão é muito lento; esta oxigenação mais eficiente se obtém por renovação do líquido não saturado junto à interface graças à turbulência na camada líquida o que é chamado «renovação superficial» e permite, com abundância de oxigênio, alcançar-se o máximo metabolismo microbiano. A «onda» de esgoto produzida pela passagem periódica do braço rotativo distribuidor sobre cada ponto do leito realiza a turbulência necessária à «renovação superficial».

Se as pedras do leito forem de diâmetro pequeno terão grande superfície total e o volume dos vazios intersticiais será pequeno o que implicará em pobre oxigenação devido à grande demanda de oxigênio (devido à grande área da película biológica ou interface líquido-ar e pouco volume de ar disponível nos vazios intersticiais): por outro lado o tamanho exagerado das pedras de filtro permite intenso

arejamento mas reduz a demanda de oxigênio do que se conclui haver uma granulometria ideal capaz de balancear o volume de ar nos vazios e a demanda de oxigênio na interface líquido-ar.

O ar circulante no leito, à medida que o atravessa se empobrece de oxigênio; para garantia da circulação indispensável ao processo biológico é preciso prevenir a obstrução ao ar que pode decorrer de granulometria inadequada das pedras do filtro, excesso de vazão de líquido com afogamento dos interstícios ou desenvolvimento exagerado de formações biológicas (algas na superfície insolada ou colônias de bactérias e protozoários no interior do filtro) com espessamento excessivo da película que recobre as pedras.

No inverno o ar é geralmente mais frio que o esgoto e o contrário se dá no verão, o que acarreta condições variadas que presidem à circulação de ar no filtro biológico. Quando há convecção o ar ascendente rico de oxigênio no interior do filtro dele se empobrece à medida que sobe; porém a aspersão de esgoto e a superfície livre superior bem arejada do leito, enriquece também de oxigênio a zona superior do filtro e então a oxigenação é praticamente uniforme em toda a massa do filtro.

Quando não há convecção e o ar é arrastado juntamente com o esgoto de cima para baixo, nesse sentido também decresce a oxigenação tal como também se dá com a demanda de oxigênio face ao empobrecimento do esgoto em matéria orgânica oxidável ao longo da descida.

A influência da temperatura no processo físico químico pode ser resumida em :1.º) Não havendo tiragem forçada o sentido do fluxo de ar depende da temperatura e está associado a uma correspondente distribuição de oxigênio no leito; 2.º) A temperatura na interface líquido-ar, entre outros fatores define a solubilidade do oxigênio.

Em resumo destas considerações sobre a oxigenação da película de esgoto sobre as pedras pode-se dizer que a aerobiose é garantida por arejamento interpedras e película delgada biológica, ou, sendo espessa, havendo turbulência satisfatória. Por outro lado as condições de anaerobiose podem-se instalar no filtro por obstrução dos vazios interpedras ou maior espessura da película biológica e não havendo turbulência que permita a

oxigenação da interface pedra-líquido que, quando a película é espessa, fica longe da interface líquido-ar. Igualmente as condições do fluxo de ar pode empobrecer de oxigênio a região inferior do filtro propiciando aí a anaerobiose. A variabilidade natural de todos estes fatores citados evidencia à saciedade porque o filtro biológico é na realidade um dispositivo de caráter facultativo ao invés de aerobio estrito.

Quanto à matéria orgânica contida no esgoto afluyente dissolvida ou finamente suspensa, ela escôa sobre a película microbiana que envolve as pedras onde a penetração da matéria orgânica afluyente depende da concentração na película e no esgoto recém-chegado; se este é mais rico em matéria orgânica, vai transferi-la por diluição no meio líquido ou turbulência que é o processo mais rápido. A transferência de matéria orgânica tem sua velocidade em função da diferença de concentrações entre a película e o esgoto afluyente em cada ponto do filtro biológico e é porisso que, circulando o esgoto de cima para baixo, é neste sentido que se empobrece de matéria orgânica o esgoto fluente e se enriquece o leito de modo que a saturação das camadas superiores permite o posterior aumento de atividade das subjacentes.

A maior concentração de matéria orgânica exige maior concentração de oxigênio para sua oxidação, e sua não suficiência resulta condições de anaerobiose. Neste processo cabe papel relevante, do ponto de vista físico-químico, à temperatura (do ar e do líquido), à pressão atmosférica, ao teor e natureza dos sólidos dissolvidos ou suspensos. A temperatura elevada e a baixa pressão atmosférica reduzem a capacidade de dissolução do oxigênio cuja fixação na massa líquida aumenta com o aumento do teor de matérias orgânicas na dependência de sua natureza.

O tempo de retenção do esgoto no filtro biológico depende das condições hidráulicas do escoamento que definem sua velocidade descendional e da altura do filtro que mede o caminho a percorrer. Deve-se ter sempre em conta que a quantidade de matéria orgânica oxidada está diretamente relacionada com o tempo de retenção do esgoto no filtro.

A natureza da matéria orgânica contida no esgoto deu origem ao conceito de

tratabilidade. É que as matérias orgânicas de oxidação mais fácil são fixadas nas camadas superiores e as remanescentes no líquido, constituídas de material de oxidação mais difícil, sobram para as camadas inferiores ou, se se tratar de filtros em série fica a cargo do segundo estágio cuja eficiência em termos de massa orgânica oxidada é assim prejudicada. Dizemos que o esgoto inicial tem mais tratabilidade que seu remanescente. À oxigenação mais ativa nas camadas superiores contrapõe-se nas inferiores a intensa nitrificação propiciada pelo ambiente anaeróbio resultando num efluente mais estabilizado que o dos lodos ativados.

3.2 — Aspectos biológicos

O ambiente ecológico desempenhado pelo filtro biológico tem como condicionantes matéria orgânica, oxigênio, luz, temperatura e pH principalmente. O leito de pedras do filtro biológico, atravessado por fluxo de líquido contendo matéria orgânica e oxigênio a uma temperatura compatível, é adequado à vida de seres aeróbios mas a variabilidade dos fatores de oxigenação permite a instalação de condições anaeróbicas do que resulta alternância de condições que permite a predominância dos organismos chamados facultativos em geral.

A presença de luz solar na superfície dos filtros descobertos permite a vida de algas e outros vegetais superiores que não ocorrerá nas camadas subjacentes ou mesmo em todo o filtro coberto. A ausência de luz elimina a presença de organismos autótrofos deixando espaço livre às bactérias fungos e protozoários principalmente, além de artrópodos e macroinvertebrados.

Quando o filtro biológico é inicialmente posto em serviço o esgoto afluente traz as matrizes da população que se instalará, sob a forma de ovos, cistos, ou indivíduos reprodutores.

As espécies livre-natantes contidas no meio líquido são com ele arrastadas através do leito não se estabelecendo neste; as capazes de fixação nas pedras, nestas se implantam com organelas próprias a tal função e garantem sua subsistência pelo líquido que flui por elas cujos solutos absorvem e cujas partículas suspensas apreendem. Esta possibilidade de fixação é a seleção preliminar para constituir o ecossistema do filtro biológico a partir da

vida disponível no líquido fluente. A ocorrência de pontos no leito em que a velocidade de escoamento é muito baixa e o interstício reduzido pode permitir a imobilização de partículas em torno das quais se desenvolverão núcleos de população de microrganismos e isto poderá ocorrer também sobre os indivíduos já instalados.

Pode-se sumarizar quanto ao ambiente ecológico os seguintes atributos:

	No filtro		Nas pedras	
	Em cima	Em baixo	Em ar/ liq.	Liq./ pedra
Matéria orgânica	muita	pouca	sim	sim
Oxigênio	muito	variável	sim	pouco
Luz solar	muita	ausente	não	não
Temperatura	ambiente	pouco maior	—	—
Algas	sim	não	—	—
Bactérias	sim	sim	aeróbias	anaeróbias
Protozoários	sim	sim	sim	sim
Fungos	sim	sim	sim	sim

Na instalação inicial dos microrganismos no filtro, a aerobiose é absolutamente predominante e a película líquida que molha as pedras tem sua população rapidamente aumentada adquirindo o aspecto de um envólucro gelatinoso de natureza coloidal cuja espessura progressivamente vai aumentando; isto permite ao líquido fluente romper esta camada cujo espessamento enfraqueceu e arrastar seus fragmentos flocosos, enquanto seus remanescentes sobre a pedra reiniciam o processo de crescimento. Esta renovação de camadas delgadas por remoção das espessas preserva o espaço inter-pedras da obstrução, estabilizando o processo de arejamento e oxidação.

Quanto a camada gelatinosa sobre a pedra é suficientemente espessa, na interface pedra-líquido forma-se ambiente anaeróbio que se povoa dos habitantes respectivos; a remoção da camada espessa arrastada pelo esgoto inclui também parcial ou totalmente a população anaeróbia que posteriormente da mesma forma se reconstitui ficando temporariamente esse local desprovido dessa atividade anaeróbica.

Ve-se pois que ao início do funcionamento do filtro a população microbiana cresce como nas fases lag e log atingindo a fase de taxa decrescente tendendo para uma população de saturação que

caracteriza o «regime normal» de funcionamento do filtro. Esta população depende da carga orgânica aplicada aumentando com ela dentro dos limites impostos pela aeração que são relacionados com o fator construtivo. Deve-se considerar que a população de saturação se estabelece com o equilíbrio biológico das espécies presentes dependente da competição recíproca.

Cooke e Hirsch (apud S. Branco, 4) citam a seguinte composição da capa biologicamente ativa que reveste as pedras do filtro biológico: 1.º) Predominância de fungos ocorrendo também bactérias e protozoários na capa superficial; 2.º) Algas, onde há luz solar, filamentosas predominantes; filamentos de fungos, protozoários e vermes nematóides na espessa camada intermediária; 3.º) Micelios de fungos aderentes à pedra penetrando em suas reentrâncias e envolvendo células de bactérias, algas (se há luz) e protozoários. Além destes organismos fixos, outros há, móveis, que se deslocam através da película gelatinosa.

Esta composição é comum a todos os filtros biológicos variando apenas as espécies com as taxas de filtração a estação do ano e a natureza do despejo.

A denominação de zooglea dada a este revestimento gelatinoso pode-se considerar inadequada porque não é constituído exclusivamente da própria zooglea ramígera mas sim de uma grande variedade de microrganismos.

A olho nu não se observam fungos nem bactérias no filtro biológico exceto quando ocorrer uma coloração alaranjada devia a esporos de fungos do tipo *Fusarium aqueductum*. Os micelios de fungos, além de decomporem a matéria orgânica fixam também nas pedras colônias de bactérias.

Os fungos mais freqüentes no filtro biológico são os seguintes: *Fusarium aqueductum*; *Geotrichum candidum* e *Pullularia pullulans* nos filtros de grande capacidade; *Corniothyrium fuckelli*, *Fusarium aqueductum*, *Geotrichum candidum*, *Sepedonium* sp., *Ascoides rubescens*, etc. nos filtros de vazão normal. Há dezenas de outras espécies menos freqüentes.

Tapetes cinzentos ou brancos espessos de *Leptomitium lacteus* formam-se em áreas restritas dos filtros de alta capacidade no inverno.

Segundo Hawkes os fungos rivalizam com as bactérias heterotróficas como prin-

cipais consumidores da matéria orgânica dos despejos mas podem estar ausente ou existir em quantidades insignificantes nos esgotos essencialmente domésticos. O desenvolvimento de fungos está associado à temperatura, sendo maior no inverno. Este autor observou que a massa de micelio produzida no leito biológico é maior no inverno do que no verão a despeito de seu consumo pelas outras espécies o que pode ser explicado pela concentração de nutrientes que, neste caso, é o principal fator limitativo, e o aumento da taxa respiratória na época de maior calor da menos acúmulo de produtos de síntese.

A variação, sazonal da atividade vital dos fungos reflete sua competição com as bactérias que atacam os micelios: baixas temperaturas e vazões menores (concentração maior de esgoto) favorecem os fungos. Quando a temperatura se eleva, além do aumento da atividade das bactérias também os fungos são mais destrutíveis.

A limitação do desenvolvimento de fungos é às vezes necessária no filtro biológico para prevenir obstrução ou inundação e é possível também por recirculação, dupla filtração alternada ou o aumento do período de distribuição com o braço rotativo (aumentando a vazão nos bocais distribuidores). O controle de moscas indesejáveis pode-se alcançar pelo de fungos.

Painter (apud S. Branco, 4) informa que de 5 a 30% dos sólidos totais da película gelatinosa constituem-se de fungos pelo que, seu controle é necessário para prevenir obstrução e «afogamento» do filtro; isto não ocorre se a vazão de serviço é suficientemente grande para remover a película espessa por turbulência. Mas a fauna de invertebrados que se alimenta dos fungos está presente constituída de vermes nematóides, rotíferos e tardígrados, anelídeos, moluscos, ácaros e insetos; a espécie *Hypogatrura viativa* (*Achou-rutes subviaticus*) chegou a ser, para tal fim, exportada da Inglaterra para Arménia, Europa e África.

A fauna de metazoários que se alimenta nos filtros biológicos varia de acordo com a vazão de serviço, tamanho das pedras, distribuição e forma dos bocais sobre o leito; se o bocal é estreito no jato (jato em «bico de pato») ao invés de ser «rabo de peixe» haverá faixas mais úmidas sobre os jatos e menos úmidas entre eles criando dois «habitats» e consequen-

temente duas faunas diferentes adjacentes: vermes oligoquetos e certas larvas de mosquitos ocupam a zona molhada e os insetos colembolos (*hypogastrura viatica* — *Achourutes sub-viaticus*) e outras larvas de mosquitos habitam a zona inter-jatos.

Esta população de metazoários é flu-tuante de acordo com a população de fun-gos que lhe serve de substrato. Na época de maior desenvolvimento de fungos, isto é, no inverno, quando seu controle é mais difícil esta fauna do filtro biológico é cons-tituída de oligoquetos e larvas de diptero *Anisopus fenestralis* que assim adquirem maior importância.

Quanto às algas, elas surgem na su-perfície superior insolada do filtro bioló-gico sendo mais freqüentes as algas co-muns de águas contaminadas como *Sti-geoclonium*, *Euglena*, *Chlorella*, *Oscillat-oria* e *Phormidium*. Nos filtros biológicos insolados as algas contribuem com mais de 5% do oxigênio dissolvido consumido pela população microbiana presente.

Quanto às bactérias presentes no fil-tro biológico, além da *Zooglea ramigera* cujo papel é relevante na formação da pe-lícula gelatinosa sobre as pedras, há que citar *Nitrobacter* e *Nitrosomonas* que de-compostos nitrogenados formando nitra-tos, *Sphaerotilus* que são filamentosas e podem causar obstruções, *Beggiatoa* que são anaeróbias presentes na interface pe-dra-líquido onde ocorrem também espirilos e *Chromatium*.

Hawkes, especialista inglês estudioso da ecologia e dinâmica das populações mi-crobianas de leitos de filtros biológicos considera que as bactérias heterotróficas formadoras da zooglea são os consumi-dores da matéria orgânica predominante podendo porisso ser consideradas como os principais agentes primários da puri-ficação cujos agentes finais seriam as bactérias autotróficas nitrificantes que não podem competir com as primeiras nas re-giões ricas em matéria orgânica e porisso se localizam nas camadas inferiores do filtro.

Os protozoários localizam-se geral-mente nas camadas superiores sendo mais comuns: *Epistylis*, *Operculária*, *Parame-cium*, *Oxytrichia*, *Euplotes* e o anaeróbio *Metopus* representando os ciliados devo-radores de bactérias; ocorrem também amebas e flagelados.

Os vermes que aparecem no filtro biológico são: *Tubifex* e *Lymndrylus* (ane-

lideos) e nematóides; ocorrem também lar-vas de insetos principalmente *Psychoda*, *Polypedilum*, *Harmischia*, *Cricotopus*, *Gly-cotendipes*; igualmente ocorrem ácaros dos gêneros *Hystiogaster* e *Hystiosoma*. Todos estes metazoários são úteis por ingerir matéria orgânica.

De todos os seres que habitam o fil-tro biológico a *psychoda alternata* ou tam-bém chamada «mosca do filtro» é sem dú-vida o mais conhecido, graças ao incômo-do que causa sua presença até à distân-cia de um quilômetro do filtro, podendo seu alcance de vôo ser aumentado pelo vento ampliando sua ação de vetor mecâ-nico de germes patogênicos. Seu ciclo vital é função da temperatura podendo du-rar 22 dias a 15,5°C ou 7 dias a 29,5°C.

Embora a *Psychoda alternata* possa contribuir para a desobstrução do filtro por ingerir matéria orgânica tem sido com-batida e controlada com os seguintes pro-cessos: a) Pela inundação periódica do filtro por um dia; b) Pela elevada vazão de serviço (nos filtros de grande capaci-dade); c) Pela cobertura do filtro; d) Pelo uso de inseticida ou larvicida (BHC, isô-mero gama, 1,5 Kg/Ha) que serve também para controlar *Anisopus*.

4. OPERAÇÃO DO FILTRO BIOLÓGICO

A simplicidade de operação é pe-culiar ao filtro biológico que se recupera rapidamente dos prejuízos de bruscas va-riações de parâmetros de operação. No controle rotineiro de laboratório determi-na-se sólidos decantáveis, demanda bio-química de oxigênio, oxigênio dissolvido e grau de nitrificação.

Na manutenção preventiva de rotina inspeciona-se diariamente a desobstrução de tubos e bocais distribuidores, as con-dições de ventilação e as vazões de ser-viço.

A inspeção de algas na superfície dos filtros descobertos, as condições de es-coamento ou obstruções interpedras e a população de «mosca do filtro» (índice de fungos) são também objetos de atenção diária.

Quanto aos problemas de operação mais freqüentes e seus remédios vale ci-tar: a) Inundação localizada ou geral do leito por obstrução;

Causa: 1 — Desenvolvimento de al-gas: remédio-remoção das algas com for-tes jatos de água ou algicida.

2 — Espessamento da película biológica: remédio — parar o filtro alguns dias ou clorar o efluente passando em seguida a trabalhar com vazão maior de esgoto.

3 — Carga orgânica excessiva: remédio — redução do DBO com tratamento preliminar ou cloração (em regime de emergência).

b) Proliferação de moscas (psychoda) — causa: temperatura elevada ambiente ou aplicação intermitente de esgoto; remédio: aplicar inseticida ou inundar o filtro.

c) Maus odores; causa: digestão anaeróbica predominante; remédio: resguardar as condições aeróbicas com ventilação boa e carga orgânica adequada; vazão suficientemente elevada para remoção da película espessa que propicia a anaerobiose.

5. DIMENSIONAMENTO

No dimensionamento dos filtros biológicos devem ser levados em conta simultaneamente as taxas de aplicação por unidade de área, carga hidráulica e a carga poluidora ou orgânica.

5.1 — Carga poluidora ou orgânica

A sua medida mais significativa é a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) do esgoto que percola em um dia através da unidade de volume (m^3) de filtro; expressa em Kg de DBO/ m^3 ou gr de DBO/ m^3 .

O excesso de carga orgânica induz à anaerobiose. Valores recomendados.

a) Filtros de baixa capacidade (Clássicos ou Convencionais) Carga até 200 gr de DBO/ m^3 = 0,200 Kg de DBO/ m^3

b) Filtros de alta capacidade
Carga: De 500 gr de DBO/ m^3 = 0,500 Kg de DBO/ m^3
até 1.800 gr de DBO/ m^3 = 1.800 Kg de DBO/ m^3

Para que se obtenha com toda a segurança um efluente estabilizado, o filtro deve ser dimensionado de maneira a que, em média, se tenha uma carga poluidora de 175 gr de DBO/ m^3 /dia para filtros de baixa capacidade, e de 875 gr de DBO/ m^3 /dia para filtros de alta capacidade, sendo que estes dados pressupõem esgotos predecantados.

Quando não se dispõe de dados relativos a DBO dos efluentes pode-se ex-

primir a carga poluidora em função do número equivalente de habitantes. Por exemplo, se considerarmos que a carga poluidora seja de 54 gr/hab/dia (Valor médio para cidades Européias) e que após a decantação houve uma redução de 35% de DBO, e temos um DBO igual a:

$$54 \text{ gr/hab/dia} (1 - 0,35) = 35 \text{ gr/hab/dia.}$$

Por tanto os filtros biológicos de baixa capacidade podem receber uma carga unitária de:

$$\frac{175 \text{ gr de DBO}/m^3/\text{dia}}{35 \text{ gr de DBO}/\text{hab}/\text{dia}} = 5 \text{ hab}/m^3$$

e os filtros biológicos de alta capacidade podem receber uma carga unitária de:

$$\frac{875 \text{ gr de DBO}/m^3/\text{dia}}{35 \text{ gr de DBO}/\text{hab}/\text{dia}} = 25 \text{ hab}/m^3$$

Exemplo de cálculo

1.º Dados:

Eficiência do decantador = 35%

DBO do esgoto bruto = 200 mg/l

Vazão média = 10 l/s

2.º Solução:

DBO ao entrar no filtro biológico:

$$\text{DBO primário} = 300 \text{ mg/l}/(1-0,35) = 195 \text{ mg/l}$$

Quantidade de DBO/dia lançado no filtro biológico:

$$195 \text{ mg/l}/10 \text{ l/s}/86.400 = 168.500 \text{ gr de DBO}/\text{dia}$$

Carga adotada = 168,5 gr de DBO/ m^3 /dia

Volume do filtro biológico

$$V = \frac{\text{gramas de DBO}/\text{dia}}{\text{Carga}} = \frac{168.500}{168,5}$$

$$= 1.000 \text{ m}^3$$

$$V = 1.000 \text{ m}^3$$

5.2 — Carga Hidráulica ou taxa de Aplicação por Unidade de Superfície

É a relação entre o volume de esgotos que se faz passar por unidade de tempo por área unitária de superfície ou de soleira.

Valores recomendados

- a) Filtros de baixa capacidade: 0,80 até 0,20 m³/m²/dia
- b) Filtros de alta capacidade: de 8,50 até 28,0 m³/m²/dia.

A carga hidráulica ou vazão líquida insuficiente favorece a anaerobiose pelo espessamento da película biológica sobre as pedras do leito.

5.3 – Material Filtrante

Um filtro biológico compreende num leito de pedras resistentes às intempéries, escória britada, tufo de lava e peças cerâmicas ou de plástico. Tem-se empregado o coque e a hulha; em pequenas instalações se tem encontrado aplicação ripas de madeira empilhadas em cruz. No entanto o material mais usado é a pedra britada.

As dimensões do material geralmente estão compreendidas entre 3,0 e 9,0 cm, sendo mais comumente acima de 5,0 cm. Na Inglaterra o diâmetro médio é 4,0 cm, sendo que a altura da camada é de 1,80 m, tendo em vista estar relacionada ao tamanho das pedras. Nos EUA o diâmetro médio é de 6 cm com altura de 2 a 3 m.

A granulometria do material do leito define a relação aeração/demanda de oxigênio que é fundamental no processo biológico.

5.4 – Profundidade do Leito Filtrante

A altura do leito filtrante está relacionada ao tamanho das pedras com finalidade de ventilação. A capacidade de depuração de um filtro aumenta com sua altura; de maneira geral pode-se recomendar a adoção de filtros mais altos, contanto que se consiga uma boa ventilação através da soleira.

Geralmente a profundidade da camada filtrante está compreendida entre 0,90 m e 4,5 m, a saber:

Filtros clássicos de baixa capacidade	1,80 a 3,00 m
Biofiltros (Alta capacidade)	0,90 a 1,40 m
Aerofiltros (Alta capacidade)	1,50 a 2,50 m
Filtros accelo (Alta capacidade)	1,80 a 3,00 m
Filtros Alemães (sem recirculação)	3,50 a 4,50 m

A altura econômica adotada na Alemanha é de 4,00 m.

A altura do filtro fixa praticamente o tempo de aeração do esgoto e a possibi-

lidade de ação nitrificadora das camadas inferiores.

5.5 – Razão de Recirculação

A razão de recirculação é expressa através da seguinte relação:

$$\text{onde: } r = \frac{Q_r}{Q}$$

- r = razão de recirculação
- Q_r = vazão do esgoto recirculado
- Q = vazão do esgoto afluyente (bruto).

Com a recirculação consegue-se não apenas agir sobre a altura dos filtros biológicos como de se conseguir a taxa de aplicação e o grau de depuração necessários, porém não obtidos ainda benefícios adicionais.

A razão de recirculação varia entre 0,5 a 3,0, sendo função do interesse econômico, o qual deve ser comparado com o custo inicial e operacional de outros processos de eficiência semelhantes.

A recirculação permite intensificar a oxidação das camadas superiores do filtro biológico assim enfatizados sobre a nitrificação.

5.6 – Fator de recirculação

O número médio de vezes que a matéria orgânica disponível passa pelo filtro deve levar em conta o fator de recirculação, sendo expresso da seguinte forma:

$$F = \frac{1 + r}{(1 + 0,10 r)^2}$$

Razão de recirculação	N.de vezes que uma partícula de água passa	Fator de recirculação
r = 0	1,0	F = 1,00
0,5	1,5	1,36
1,0	2,0	1,65
1,5	2,5	1,88
2,0	3,0	2,09
2,5	3,5	2,31
3,0	4,0	2,51

A razão de recirculação tem influência nas características do efluente dos filtros biológicos, sendo estimada de acordo com a relação abaixo.

Q U A D R O I

DBO do efluente final

DBO do esgoto bruto	DBO do decantado primário	Recirculação					
		0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
462	100	33	25				
346	125	41	32	25			
385	150	50	38	30	25		
424	175	58	44	35	29	25	
308	200	67	50	40	33	28	25
154	225	75	57	45	38	32	28
192	250	83	63	55	42	35	31
231	275		69	50	46	39	34
270	300		75	60	50	43	37

5.7 – Eficiência dos Filtros

5.7.1 – Eficiência dos filtros simples

A eficiência de um filtro único ou então do primeiro filtro no caso de mais de um filtro em série, expressa em % de remoção de DBO no filtro e decantação secundária pode ser determinada pela seguinte expressão:

$$E_1\% = \frac{100}{1 + 0,443 \sqrt{\frac{W}{VF}}}$$

onde:

W = Kg de DBO/dia do esgoto predcantado

V = Volume útil do filtro em m³

F = Fator de recirculação.

O DBO do efluente final de uma estação com um filtro único será:

$$DBO_{final} = DBO_{esg. bruto} \times (1-0,35) (1-E_1)$$

5.7.2 – Eficiência dos filtros de segundo estágio:

Dois filtros em série: para o segundo a % de remoção de DBO será:

$$E_2\% = \frac{100}{1 + 0,443 \times \sqrt{\frac{W}{VF}} \times \frac{1}{1 - E_1}}$$

onde:

W₁ = Kg de DBO do efluente do primeiro filtro, após a decantação intermediária: é a carga real sobre o segundo filtro.

E₁ = Eficiência do primeiro filtro.

E₂ = Eficiência do segundo filtro.

O DBO final em uma estação de tratamento com filtração em 2 estágios será:

$$DBO_{final 2} do est. = DBO_{esg. bruto} \times (1-0,35) (1-E_1) (1-E_2)$$

5.8 – Dispositivos de Distribuição dos Esgotos

A distribuição dos esgotos na superfície do meio filtrante é realizada por meio de aspersores fixos ou móveis.

Os distribuidores fixos são constituídos de sistemas de canalizações com bocais aspersores alimentados intermitentemente por uma câmara de dosagem. Estes dispositivos não garantem uma distribuição uniforme e favorecem a presença de regiões do filtro sem alimentação de esgotos.

Os distribuidores móveis rotativos, são movidos pela própria ação da água, como molinetes. Dois ou mais braços perfurados. Em cada fuso pode-se ter um bocal ou lâmina para espargir o líquido. Quando não há recalque e as vazões mínimas forem tais que se tornem insuficientes para garantir o movimento do distribuidor, devem ser previstos tanques fluxíveis. Havendo bombeamento as próprias bombas garantem uma vazão constante. É importante observar que a distribuição continua é a que leva a melhores resultados, mantendo o ambiente úmido favorável às bactérias.

– Cargas requeridas pelos distribuidores 0,30 a 1,50 m (Consultar os dados do fabricante)

– Altura dos braços à superfície do filtro 0,15 a 0,35 m

– Altura livre adicional (borda da parede) mínima 0,25 m.

Podem utilizar-se ainda distribuidores de discos motorizados: Para filtros com diâmetros até 10,00 m.

Exigem apenas 10 cm de carga, sendo portanto convenientes quando se dispõe de pequena diferença de nível para o tratamento.

Giram com 260 a 360 rpm.
Diâmetros dos discos: 0,30 a 0,85 m

O nível de água na unidade de sedimentação primária deve estar pelo menos 75 cm acima do nível do leito do filtro: os discos normalmente são instalados a 50 cm acima da superfície do leito filtrante.

5.9 – Sistema de Drenagem

O fundo do filtro é feito em declive, convergindo para um canal central. A espessura dessa laje geralmente é de 0,15 m e a sua declividade é de 0,5 a 2,0‰, sendo maior para os filtros pequenos.

O canal central deve ser projetado com dimensões adequadas para o rápido escoamento das águas e materiais aglomerados, e com folga para ventilação.

A seção e declividade devem assegurar uma velocidade de 0,60 m/seg. ou maior. Sobre a laje do fundo colocam-se blocos ou calhas pré-moldadas, de concreto, barro vidrado, cimento amianto ou plástico. Os blocos ou telhas drenantes possuem orifícios cuja área total não deverá ser inferior a 20‰ da área da superfície horizontal de cada peça ou ainda, a área dos furos deve superar os 15‰ da área do filtro.

5.10 – Ventilação

A ventilação pode ser natural ou artificial. Na maioria dos casos a ventilação natural é suficiente. O ar poderá circular para cima ou para baixo, dependendo da densidade do ar interior.

No inverno a ventilação se realiza de baixo para cima, e no verão de cima para baixo. A construção da soleira do filtro deve ser executada de tal forma que permita a livre circulação do ar, de baixo para cima.

A quantidade de ar necessário nos filtros de alta capacidade é aproximadamente de duas a três vezes maior do que a dos filtros de baixa capacidade.

Uma diferença de temperatura de 4°C entre o ar externo e o ar interno dos filtros já é suficiente para iniciar uma circulação de ar.

Na maioria das vezes constrói-se um fundo falso: a placa superior sustenta o meio filtrante, e é perfurada por fendas ou orifícios. A placa do fundo se destina

ao escoamento da água, e com tal finalidade é dotada de canaletas. Entre as duas placas fica o espaço para ventilação.

As aberturas para a passagem do ar através da soleira devem ser dimensionadas de maneira a permitirem uma corrente de ar vertical considerada suficiente; geralmente devendo ser maior do que 0,5‰ da área horizontal do filtro, devendo-se preferir 1‰.

A ventilação artificial é recomendada e geralmente se faz de cima para baixo.

Nos filtros cobertos os ventiladores podem ser instalados na cúpula. Para filtros com diâmetro até 12 m basta 1 ventilador. Filtros até 25 m de diâmetro devem ser equipados com 2 ventiladores. Filtros maiores (diâmetros acima de 25 m) não são recomendados.

Capacidade dos ventiladores: 300 l de ar/m²/minuto.

Potência dos ventiladores: geralmente superior a 1/5 HP e, raramente ultrapassa a 1,5 HP.

Diâmetro dos ventiladores são de 30 cm para cima.

Pressão máxima é da ordem de 20 a 25 cm de coluna de água.

EXEMPLO DE CÁLCULO DE UM FILTRO BIOLÓGICO DE ALTA CAPACIDADE

Dados:

População = 5.000 habitantes

Taxa per capita = 200 l/hab/dia

$$K_1 = 1,5$$

$$K_2 = 1,3$$

$$K_1 \times K_2 \cong 2,0$$

Eficiência do decantador = 35‰

DBO do esgoto bruto = 310 mg/l

Eficiência total da estação de tratamento = 80‰

Solução:

a) Vazão de esgoto:

$$Q \text{ médio} = \frac{200 \times 5.000}{86.400} = 11,6 \text{ l/s}$$

$$Q \text{ máx} = \frac{200 \times 5.000}{86.400} \times 2 = 23,2 \text{ l/s}$$

b) DBO do efluente final da Estação:

$$DBO_{\text{final}} = (1,0 - 0,80) \times 310 = 62 \text{ mg/l}$$

c) DBO do esgoto ao entrar no filtro biológico:

$$DBO_{\text{primário}} = (1,0 - 0,35) \times 310 = 200 \text{ mg/l}$$

d) Quantidade de DBO a ser removida pelo filtro:

$$DBO_{\text{Removido}} = 200 - 62 = 138 \text{ mg/l}$$

e) Eficiência do filtro biológico:

$$\text{Eficiência} = \frac{138}{200} = 69\%$$

f) Quantidade de DBO/dia do esgoto Pré-decantado:

$$200 \times 11,6 \times 86.400 = 200 \text{ Kg de DBO/dia}$$

g) Razão de recirculação:

Entrando no quadro I do item 6 com o DBO do efluente final e interpolando, achamos $r = 0,15$

h) Fator de recirculação:

$$F = \frac{1 + r}{(1 + 0,10 \times r)^2} = \frac{1 + 0,15}{(1 + 0,10 \times 0,15)^2} = 1,12$$

i) Volume útil do filtro:

$$E_1\% = \frac{100}{1 + 0,443 \times \sqrt{\frac{W}{VF}}}$$

$$\begin{cases} W = 200 \text{ Kg BOD/dia} \\ E_1 = 69\% \\ F = 1,12 \end{cases}$$

$$VF = 0,196 \times \frac{F_1^2}{(100 - E_1)^2} \times W$$

$$V = 0,196 \times \frac{69^2}{(100 - 69)^2} \times \frac{200}{1,12}$$

$$= 173 \text{ m}^3$$

j) Área do filtro biológico:

Carga hidráulica fixada = $24 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$
Vazão máxima = $23,2 \text{ l/s} = 0,023 \text{ m}^3/\text{seg.}$

$$S = \frac{0,023 \times 86.400}{24} = 83 \text{ m}^2$$

k) Diâmetro do filtro:

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \therefore D = \sqrt{\frac{4 \times 83}{\pi}} = 10,30 \text{ m.}$$

l) Altura do filtro:

$$h = \frac{V}{S} = \frac{173}{83} \cong 2,10 \text{ m}$$

m) Carga orgânica aplicada:

$$\text{Carga} = \frac{200}{173} = 1,26 \text{ Kg DBO/m}^3/\text{dia}$$

n) Dispositivo distribuidor:

Distribuidor rotativo, com 4 braços (Deve-se consultar o fabricante).

o) Canaleta central:

Velocidade = $0,60 \text{ m/seg.}$

Vazão = $11,6 \text{ l/seg.}$

Declividade = 2%

$$\text{Área} = \frac{0,0116}{0,6} = 0,02 \text{ m}^2$$

Largura = $0,20 \text{ m}$

Altura = $0,10 \text{ m}$

Considerando mais $0,10 \text{ m}$ de folga para ventilação:

Altura total = $0,20 \text{ m.}$

p) Drenos:

Placas de concreto pré-moldadas.

q) Fundo:

Deve ter uma declividade de 2% convergindo para a canaleta central.

r) Cobertura:

Deverá ter forma de calota esférica.

s) Ventilação:

Ventilação de 30 cm com capacidade para insuflar $300 \text{ l/m}^2/\text{minuto}$, instalado na cúpula do filtro.

Serão instalados também, para circulação de ar na soleira, seis tubos de 200 mm de diâmetro.

t) Inspeção:

Será instalada uma porta para inspeção, medindo $0,70 \times 0,70 \text{ m.}$

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AZEVEDO NETTO, J. M.; HESS, M. L. — Manual de Tratamento de Águas Residuárias — São Paulo, 1970.
2. AZEVEDO NETTO, J. M. — Desinfecção de Águas — F.S.P. da U.S.P. São Paulo, 1970.
3. BIRKELAND, J. — Microbiology and man., 2.ª ed. Baltimore, Williams & Wilkins, 1949; 478-490.

4. BRANCO, S. M. — Hidrobiologia aplicada a la ingeniería sanitaria — Universidad Nacional de Ingeniería — Lima — Peru — 1969; 221-228.
5. CENTRO TECNOLÓGICO DE SANEAMIENTO BÁSICO — Tratamento de Esgotos Domésticos, 259-296, São Paulo, 1971.
6. DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK — Manual de Tratamento de Águas Negras, ed. Limusa-Wiley S. A. México, 1967.
7. FROBISHER, M. — Water supplies and sewage disposal — Fundamentals of Microbiology — Philadelphia, Saunders, 1962; 481-496.
8. GAINEY, P. L. — Activated sludge treatment of sewage — Microbiology of water and sewage for inginering students, Minneapolis, Burgess, 1944, 208-215.
9. GEBHARDT, L. P. & ANDERSON, D. A. — Microbiology of water and sewage — Microbiology, 3.ª ed., Saint Louis, Mosby, 1965; 215-247.
10. IMHOFF, K. — Manual de Tratamento de Águas Residuárias, trad. Max L. Hess, ed. Edgard Blücher Ltda., São Paulo 1966.
11. MC KINNLEY, R. E. — Microbiology for Sanitary Engineers, New York, Mac Graw-H, II, 1962; 194-215-201-214-262-242.
12. PELCZAR, M. J. & REID, R. D. — Microbiology New York, Mac Graw-Hill, 1958; 412-425.
13. PRESCOT, S. C.; WINSLOW, C. E. A. & MAC GRADY, M. H. — Water Bacteriology, 6.ª ed. New York, Wiley, 1947; 261-276.
14. SARLES, W. B. e col. — Microbiology-general and applied, New York Harper, 1951, 257-271.
15. SCHOKLITS CH. A. — Arquitetura Hidráulica, Tomo I, 532-537, ed. Gustavo Gili S. A. — Barcelona, 1961.
16. THOMAS, S. & GRAINGER, T. H. — Bacteria — New York, Blalenston, 1952; 428-447.
17. WEDBERG, S. E. — Introductions to Microbiology, London, Chapnan and Hall, 1966, 219-230.