

Avaliação da microfauna no efluente final para monitoramento da qualidade ambiental em estações de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados

Aldo P. Ferreira¹
Cynara L.N. Cunha²
Odir C.C. Roque³

Resumo

A microfauna presente nas Estações de Tratamento de Esgoto da Penha e Ilha do Governador, ambas do tipo lodos ativados de aeração prolongada, foi caracterizada permitindo a determinação do modelo cinético de degradação de matéria orgânica como forma de avaliar o rendimento e qualidade do processo. A análise microbiológica qualitativa do lodo, englobando tamanho, quantidade de filamentos, compactação e identificação das espécies dominantes foi suficiente para uma caracterização imediata das condições depurativas do sistema de tratamento das ETEs estudadas.

Palavras-chave: Microfauna, lodo ativado, indicador biológico, estação de tratamento de esgoto, controle de eficiência.

Abstract

EVALUATION OF MICROFAUNA IN FINAL EFFLUENT FOR ENVIRONMENTAL QUALITY MONITORING IN ACTIVATED SLUDGE WASTEWATER TREATMENT PLANTS. The microfauna was characterized in Sludge Wastewater of Penha and Ilha do Governador Treatment Plants, both of activated sludge type with drawn out aeration, allowing the determination of the kinetic model to organic matter degradation as a manner to evaluate the income and quality of the process. The sludge microbiological qualitative analysis, which included the flocs size, amount of filaments, compacting and the identification of the dominant species, was enough to an immediate characterization of the depurative conditions at the SWTPs studied.

Keywords: Microfauna, activated sludge, biological indicator, sludge wastewater treatment plant, efficiency control

Introdução

A implementação de leis e normas ambientais cada vez mais restritivas e a criação de mercados mais competitivos vêm exigindo que as indústrias aliem o aumento da produção a um menor gasto de insumos e menor geração de poluentes. Um dos processos mais utilizados para o tratamento de efluentes é o sistema de lodos ativados por ser um processo que requer pouco espaço físico e grande potencial de degradação.

A demanda crescente de água de abastecimento em contraponto à disponibilidade cada vez menor de água que possa ser potabilizada, com técnicas menos onerosas e mais rápidas, levou à conscientização da indispensável e urgente necessidade de efetivos tratamentos a serem aplicados aos esgotos sanitários. Estes, a cada dia em quantidades maiores

e qualidades menores, geram problemas de poluição e até de contaminação, fruto da presença de substâncias tóxicas ou de patógenos (Von Sperling, 1997; Semenas et al., 1999; Mara, 2003; Bento et al., 2005; Heylen et al., 2006).

De forma geral, as estações de tratamento de esgoto sanitário (ETEs) recebem os esgotos *in natura* e os submetem a uma série de processos físicos, químicos e biológicos que têm por objetivo eliminar da água contaminada as diversas substâncias indesejáveis nela contidas, possibilitando assim o seu retorno ao meio ambiente com características sanitárias mais adequadas, sendo o processo dos lodos ativados um dos mais utilizados no mundo e também no Brasil. (Vilanova et al., 2004, Bento et al., 2005; Falcioni et al., 2005).

1 CESTEH/ENSP/FIOCRUZ – Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana, Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rua Leopoldo Bulhões 1480, Manguinhos. 21041-210 Rio de Janeiro RJ, Brasil. aldoferreira@ensp.fiocruz.br.

2 LEMMA/UFPR – Laboratório de Estudos em Modelagem e Monitoramento Ambiental. Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná. Caixa Postal 19100, Centro Politécnico UFPR, Curitiba PR Brasil, 81531-990. cynara@ufpr.br

3 DSSA/ENSP/FIOCRUZ – Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental, Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz - Rua Leopoldo Bulhões 1480, Manguinhos. 21041-210 Rio de Janeiro RJ, Brasil. odir@ensp.fiocruz.br.

A maioria das ETEs faz uso de processos biológicos, cujos objetivos são retirar sólidos grosseiros, sedimentáveis, coagular, remover colóides não sedimentáveis e degradar parcialmente ou estabilizar a matéria orgânica remanescente no esgoto após o tratamento. A matéria orgânica é transformada por meio do metabolismo celular (Schomburg & Muller, 1987). A massa bacteriana de natureza coloidal e suas atividades metabólicas é que devem proporcionar os fenômenos de floculação. A coagulação biológica que ocorre nos sistemas de tratamento biológico de esgoto origina o lodo, que é uma mistura de sólidos orgânicos e inorgânicos. A parte mineral se origina da floculação de sólidos inorgânicos em suspensão, enquanto que a porção orgânica é composta por uma fração de massa bacteriana viva e outros sólidos voláteis suspensos sem atividade biológica, que se originam da floculação de sólidos orgânicos inertes do aflente e do decaimento das bactérias, gerando o resíduo endógeno (Vilanova et al., 2005).

O lodo é constituído, em boa parte, por bactérias vivas. Como a eficiência dos processos biológicos está ligada à quantidade de células vivas, atuantes no processo, os sistemas de tratamento mantêm o aflente em um meio rico em lodo: um processo biológico é considerado eficiente e econômico se puder ser operado com baixos tempos de detenção hidráulica e tempos de retenção de sólidos suficientemente longos para permitir o crescimento de microrganismos. O tratamento biológico por lodos ativados é atualmente o mais utilizado para a depuração de efluentes sanitários e industriais caracterizados por contaminação de carga orgânica e produtos nitrogenados, representando um sistema de tratamento com baixo custo de investimento e alta taxa de eficiência a partir da remoção de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio).

O processo de lodos ativados pode ser definido como um sistema no qual uma massa biológica que cresce e floclula é continuamente circulada e colocada em contato com a matéria orgânica do despejo líquido aflente ao sistema, em presença de oxigênio. O tratamento de efluentes domésticos e industriais pelo sistema de lodo ativado mostra-se bastante apropriado por ser um processo que requer pouco espaço físico, baixo custo e grande potencial de degradação. Um exame microscópico do lodo ativado revela que ele é formado por uma população heterogênea de microrganismos, responsáveis pela biodegradação do sistema, que muda continuamente de acordo com a variação na composição da água residuária e condições ambientais, sendo esta característica um importante indício de funcionamento do processo e um bom indicador biológico (Schomburg & Muller, 1987, Vilanova et al., 2002). O lodo ativado é composto por uma população bacteriana (degradadoras primárias) agregada sob a forma de flocos biologicamente ativos que fixam um substrato complexo. O aumento da

concentração da biomassa em suspensão no meio líquido pode reduzir o volume requerido. Quanto mais bactérias houver em suspensão, maior será a assimilação da matéria orgânica presente no esgoto bruto (Vilanova et al., 2005).

Em qualquer situação, quanto mais o lodo se assemelhar à matéria orgânica fresca, maior será seu potencial de degradação, de produzir odores desagradáveis e apresentar elevada concentração de microrganismos patogênicos. A medida em que o lodo fresco passa por processo de biotransformação, seus componentes orgânicos, mais facilmente biodegradáveis, são transformados e o lodo ganha características de lodo estabilizado, apresentando odor menos ofensivo e menor concentração de microrganismos patogênicos. A necessidade de estabilização do lodo está, principalmente, ligada a estas duas características negativas do lodo fresco: seu potencial de produzir odores e seu conteúdo de microrganismos patogênicos, sendo que na prática, um lodo pode ser estabilizado por outros métodos, além dos processos de biodegradação (Gentzer et al., 2001, Lucena et al., 2003, Heylen et al., 2006).

Neste artigo propõe-se caracterizar a microfauna e determinar o modelo cinético de degradação de matéria orgânica comparando duas ETEs, de forma a avaliar o rendimento e a qualidade dos processos. Pretende-se, assim, subsidiar projetos futuros de ETEs, possibilitando o aperfeiçoamento do desempenho, operação e monitoramento, tendo como consequência, o melhor controle do processo e a redução de custos.

Processo de tratamento por lodos ativados

O tratamento biológico por lodo ativado apresenta-se como um processo altamente eficiente e com baixo custo (Von Sperling, 1997). Sua performance justifica-se considerando que parte da matéria orgânica é mineralizada para gás carbônico e água, parte é convertida em biomassa bacteriana que pode ser reutilizada como cepa no próprio sistema, representando uma grande economia. Além disso, na indústria, o efluente tratado por este processo pode ser reutilizado como água industrial, credenciando o sistema de tratamento por lodo ativado a ter uma relação custo benefício muito favorável. A alta eficiência e o baixo custo do tratamento por lodo ativado é mais evidente quando se observa que atualmente é o sistema de tratamento mais usado para depuração de efluentes sanitários e industriais contaminados de carga orgânica e produtos nitrogenados.

Lodos ativados são os flocos produzidos num esgoto bruto ou decantado, pelo crescimento de bactérias ou outros organismos na presença de oxigênio dissolvido e, acumulado em concentrações suficientes graças ao retorno de outros flocos previamente formados.

O processo de lodos ativados é estritamente biológico e aeróbio, no qual o esgoto bruto afluente e o lodo ativado são misturados intimamente, agitados e aerados (em unidades denominadas tanques de aeração); após este procedimento, o lodo formado é enviado para o decantador secundário, onde a parte sólida é separada do esgoto tratado, sendo este último descartado. O lodo decantado retorna ao tanque de aeração ou é retirado para tratamento específico (Vilanova et al., 2005).

As necessidades de oxigênio dos flocos são elevadas, sendo necessário suprir oxigênio ao processo, por insuflação de ar ou absorção forçada da atmosfera no meio do líquido. O lodo ativado é formado, principalmente de bactérias, algas, fungos e protozoários, sendo as bactérias os microrganismos de maior importância, responsáveis pela deterioração da matéria orgânica e pela formação dos flocos. Os fungos e as algas, de forma filamentosas, são elementos indesejáveis ao tratamento, pois dificultam a formação do floco.

O lodo do processo de lodos ativados é constituído por flocos. Estes flocos são formados por fragmentos orgânicos não digeridos, por uma fração inorgânica, por células mortas e, principalmente, uma grande variedade de microrganismos (Figura 1). Dentre a população biológica presente no sistema de lodo ativado encontramos bactérias (Heterótrofas: *Pseudomonas* sp., *Zooglea ramigera*, *Achromobacter* sp., *Flavobacterium* sp., *Bdellovibrio* sp., *Mycobacterium* sp., *Alcaligenes* sp., *Arthrobacter* sp., *Citromonas* sp., Filamentosas: *Sphaerotillus natans*, *Beggiatta* sp., *Thiothrix* sp., *Leucothrix* sp., *Microthrix parvicella*, *Nocardia* sp., *Nostocoida limicola*, *Haloscomenobacter hydrossis*, *Flexibacter* sp., *Geotrichum* sp., Nitrificantes: *Nitrosomonas* sp., *Nitrobacter* sp.) e protozoários (Classe Sarcodina: *Arcella discoides*, *Amoeba* sp., Classe Ciliata: (ciliados livre-natantes e sésseis) *Aspidisca costata*, *Trachelophyllum* sp., *Paramecium* sp., *Didinium* sp., *Chilodenella* sp., Classe Mastigophora: (flagelados) *Spiromonas* sp., *Bodo* sp., *Englena* sp., *Monas* sp., *Cercobodo* sp.). A presença da microbiota é um importante indicio de funcionamento do processo, sendo um bom indicador biológico. A intensa atividade biológica desenvolvida pelo processo favorece o desenvolvimento de grande variedade de microrganismos constituídos de bactérias aeróbias, facultativas e anaeróbias, predominando as bactérias facultativas. Os fungos também estão presentes nos filtros biológicos nas camadas aeróbias e competem com as bactérias no consumo de alimentos (Falcioni et al., 2005, Vilanova et al., 2005).

Os protozoários contribuem diretamente na estabilização da matéria orgânica, mas alguns deles são indicadores qualitativos de boa qualidade de operação, entre eles a *Vorticella* sp., *Rotária* sp., *Philodina* sp. (Gantzer et al., 2001, Falcioni et al., 2005, Vilanova et al., 2005).

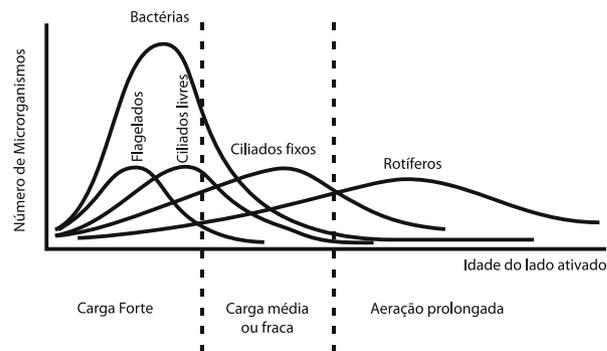


Figura 1. Diagrama esquemático da evolução da carga microbiana em função do avanço do lodo (Canler et al., 1999)

O processo de tratamento por lodos ativados baseia-se na oxidação de compostos orgânicos e inorgânicos, levada a cabo por uma população microbiana diversificada, complexa e em competição constante, mantida em suspensão num meio aeróbio sob a forma de flocos biológicos (Schomburg & Muller, 1987, Vilanova et al., 2004). Neste ecossistema vivo artificial, cada microrganismo tem uma taxa de crescimento própria, dependendo de fatores bióticos e abióticos mais ou menos controláveis, referidos na **Tabela 1**.

Fatores bióticos	Fatores abióticos
Predação, comensalismo, competição	Natureza e composição da água residual
Velocidade de absorção do substrato	Fatores ambientais (pH, temperatura)
Resistência a condições adversas	Carga orgânica/disponibilidade substrato
Necessidade de oxigenação	Idade do lodo
	Arejamento
	Tempo de retenção celular
	Configuração do sistema
	Padrão de alimentação

Tabela 1. Fatores bióticos e abióticos que afetam a taxa de crescimento dos microrganismos presentes na biocenose dos lodos ativados

Segundo Falcioni et al. (2005), os microrganismos presentes na biocenose dos lodos ativados podem ser classificados em dois grandes grupos: decompositores e consumidores. A comunidade de microrganismos é dominada pelos decompositores que constituem cerca de 95% da população microbiana e que incluem principalmente bactérias aeróbias heterotróficas, mas, também, fungos e protozoários osmotróficos responsáveis pela biodegradação da fração orgânica solúvel da matriz. Os consumidores alimentam-se de bactérias e outros organismos, são formados por protozoários fagotróficos e pequenos metazoários.

Os protozoários constituem cerca de 5% da biomassa de um lodo ativado, representado por cerca de 200 espécies diferentes (Vilanova et al., 2005). São fundamentais no equilíbrio das populações de um tanque aeração, nomeadamente por produção de *pellets* fecais e substâncias mucosas, que promovem a floculação da biomassa, contribuindo assim para a remoção de bactérias não

floculadas e permitindo a produção de um efluente clarificado. A sua classificação taxonômica é efetuada de acordo com a sua mobilidade, encontrando-se subdivididos em cinco grandes grupos, a saber: flagelados, amebas, ciliados livres, móveis de fundo e sésseis. A diferença entre as diversas subclasses de ciliados depende da sua localização no lodo. Os primeiros movimentam-se livremente, os segundos nadam à superfície dos flocos, enquanto os sésseis, se encontram fixos a estes por meio de um pedúnculo. Os ciliados são indicadores biológicos por excelência, uma vez que reagem rapidamente a alterações verificadas no meio, podendo constituir-se como um bioindicador *in situ* da ocorrência, quer de situações de maior *stress* toxicológico, como por exemplo presença de metais pesados em quantidades excessivas, quer de condições operativas adversas: oxigênio dissolvido baixo, pH fora da faixa 6,0 - 8,0 e temperaturas acima dos 37-40° C.

Quanto aos metazoários, este grupo é constituído por organismos de dimensões relativamente elevadas, dele fazendo parte os rotíferos e os nemátodes. Destacando-se, de entre estes, os rotíferos como agentes estabilizadores dos desperdícios orgânicos e redutores da turvação do efluente final, por consumo das bactérias não floculantes. Embora ocorram numa vasta faixa de tempos de retenção, algumas espécies estão associadas a tempos de retenção elevados.

Os microrganismos filamentosos integram a microbiologia dos lodos ativados, e constituem, em situação normal de funcionamento menos de 10% da biomassa total. Estes microrganismos têm um papel fundamental na formação e manutenção dos flocos de lodos ativados, sendo responsáveis pela sua ramificação e forma irregular, incrementando igualmente a capacidade de retenção de pequenas partículas a partir da água residual. A presença desta macroestrutura filamentosa permite ainda a agregação ou ligação entre flocos, favorecendo melhores eficiências de clarificação do efluente. No entanto, o seu desenvolvimento excessivo pode provocar problemas graves, nomeadamente espumas e *bulking* filamentosos, cujas conseqüências principais são as dificuldades, quer na sedimentação dos lodos, quer na manutenção dos mesmos em concentrações adequadas no interior dos tanques de aeração (Heylen et al., 2006).

Materiais e Métodos

Sítio de estudo

Os lodos utilizados neste trabalho foram coletados nos digestores secundários das estações de tratamento de esgotos da Ilha do Governador e Penha no estado do Rio de Janeiro. A ETE da Ilha do Governador trata cerca de 525 litros de esgotos por segundo (45 milhões de litros

por dia) atendendo uma população de cerca de 400 mil habitantes, cujo processo de tratamento é o biológico de lodos ativados. A ETE da Penha opera com biofiltros e lodos ativados, tratando uma vazão em torno de 600 litros por segundo.

Análises microscópicas

A observação microscópica dos lodos ativados foi efetuada num microscópio óptico Olympus CX-40 equipado com condensador para funcionamento em campo-claro, campo-escuro e contraste-fase, com objetivas de 10, 40 e 100x. Envolveu a caracterização geral da amostra, compreendendo a avaliação da estrutura dos flocos, bem como da diversidade e presença das populações microbianas presentes. Esta caracterização foi efetuada com ampliação 100x, em campo claro e utilizando preparações frescas.

A identificação de protozoários e metazoários foi efetuada com ampliação 400x, em campo claro e utilizando preparações frescas. A identificação dos microrganismos filamentosos foi efetuada em preparações frescas, com o microscópio em contraste-fase e ampliações de 400x e 1000x. A presença (quantitativo visual) destes microrganismos foi feita segundo critério sugerido por Semenas et al. (1999), utilizando uma escala de 0 (nenhum), 4 (dominantes) e 6 (excessivos).

ETE Penha: Descrição do processo de tratamento

Na ETE Penha o pré-tratamento inicia-se através das gradagens média e fina, com remoção de sólidos, seguida da remoção de areias, óleos e gorduras num mesmo órgão de planta retangular. As gorduras são incineradas. O tratamento primário é constituído por uma decantação acelerada de tipo lamelar em quatro tanques de planta retangular, com tratamento físico-químico opcional, e por três tanques de equalização/homogeneização.

O tratamento secundário biológico é realizado através de um sistema de lodos ativados em aeração convencional, em seis tanques aerados por aerações de superfície, seguindo-se uma decantação secundária tipo lamelar em doze decantadores de planta retangular, com recirculação de lodo biológico.

Os objetivos de tratamento da ETE Penha é obter, no final do tratamento, 15 mg/L de sólidos em suspensão total (SST) e 10 mg/L de demanda bioquímica de oxigênio (DBO₂), conseguidos através de um tratamento terciário por biofiltração. A água residual tratada é reutilizada para rega e lavagem na ETE.

Na fase sólida os lodos primários são espessados graviticamente em dois espessadores circulares enquanto que os lodos biológicos em excesso são espessados por

flotação. Os lodos mistos são estabilizados através de uma digestão anaeróbia mesofílica e posteriormente desidratados por centrifugação.

Procedimento Experimental

O programa de monitoramento envolveu a coleta de duas amostras semanais, no afluente e no efluente do tratamento biológico, recolhidas de hora a hora com amostradores automáticos e de amostras pontuais, durante o período da manhã, no *mixed liquor* dos tanques de aeração, recolhidas manualmente. As amostras do afluente e do efluente do tratamento biológico foram recolhidas respectivamente na saída dos decantadores primários e na entrada da biofiltração. As amostras do *mixed liquor* foram recolhidas na saída dos descarregadores dos tanques, entre os meses de julho e dezembro de 2005. No afluente e no efluente do tratamento biológico foram analisados DQO, DBO₅, SST, nitrogênio e fósforo. Nas amostras de *mixed liquor* foram efetuada a observação microscópica e analisados: pH, oxigênio dissolvido, potencial redox, temperatura, sólidos sedimentáveis e SST.

As amostras da fase líquida foram armazenadas em condições refrigeradas a 4-5 °C, até a coleta estar completa. As amostras dos tanques de aeração foram transportadas em mala térmica até ao laboratório. Os parâmetros analíticos foram efetuados no laboratório.

As leituras de potencial redox, oxigênio dissolvido e temperatura foram efetuados no local utilizando equipamento portátil (Digimed – DM/2P). Os resultados relativos a nitrogênio amoniacal e fosfatos foram facultados pela administração da ETE. Os métodos de determinações físico-químicas foram determinados de acordo com Vogel (1981), Vazoller et al. (1991), *Standard Methods* (1995) e Von Sperling (1997).

ETE Ilha do Governador: Descrição do processo de tratamento

Na ETE Ilha do Governador o processo de tratamento resume-se nas seguintes etapas: o afluente elevado passa por um sistema de gradagem constituído por grade uma grossa e uma média, responsáveis pela remoção de sólidos grosseiros, segue-se à remoção de óleos, gorduras e areias, em dois desarenadores/desengorduradores. Os subprodutos resultantes deste pré-tratamento são posteriormente depositados em aterro controlado. O afluente é então alimentado a um tanque de homogeneização com cerca de 4000 m³ de volume útil, cuja função é regularizar picos de carga poluente. Segue-se tratamento primário, consistindo em uma fase preliminar de tratamento físico-químico, com aplicação de sulfato de alumínio, cal hidratada e um polieletrólito em duas linhas de câmaras de coagulação/

floculação, seguindo-se decantação primária em dois tanques de planta circular, com ponte raspadora de fundo e superfície. O efluente primário é então alimentado ao tratamento secundário, efetuado através de um sistema de lodos ativados, que consiste em seis tanques de aeração com dois arejadores de superfície cada e tanque de recirculação de lodos. Segue-se decantação secundária em dois decantadores de planta circular, com ponte raspadora de fundo e superfície.

A fase sólida destina-se a tratar os lodos removidos ao longo do processo de tratamento da fase líquida. Consiste em uma etapa de mistura dos lodos primários e lodos secundários, que são posteriormente enviadas a dois espessadores. Uma vez espessadas os lodos são digeridos, em condições de anaerobiose, em dois digestores primários aquecidos a temperaturas entre 33-35 °C. Os lodos digeridos passam em seguida por uma desidratação mecânica, fase após a qual ficam disponíveis para serem enviadas a destino final - aplicações agrícolas.

Procedimento Experimental

A coleta de amostras, nas quais se baseiam os resultados experimentais obtidos, obedeceu ao seguinte planejamento: foram recolhidas amostras compostas proporcionais durante um período de 24 horas, com coletas de duas em duas horas da 1:00 às 23:00 para o afluente e o efluente do tratamento biológico. Os pontos de colheita foram respectivamente à saída dos descarregadores dos dois decantadores primários e no canal *parshall* do efluente secundário.

No que diz respeito ao líquido dos tanques de aeração, o ponto de coleta e o tipo de amostras recolhidas foram os seguintes: amostras pontuais recolhidas na saída dos descarregadores dos tanques, duas vezes por semana, no período da manhã.

As amostras da fase líquida foram armazenadas em condições refrigeradas a 4-5 °C, até a coleta estar completa. As amostras dos tanques de aeração foram transportadas em mala térmica até ao laboratório. Os parâmetros analíticos efetuados no laboratório foram determinados de acordo com Vogel (1981), Vazoller et al. (1991), *Standard Methods* (1995) e Von Sperling (1997).

Resultados e discussão

Os resultados obtidos deste acompanhamento serão analisados a partir dos dados obtidos da microfauna e das espécies e grupos dominantes na ETE Penha e na ETE Ilha do Governador.

ETE Penha

Analisando a dinâmica das populações de protozoários verificou-se uma co-dominância de ciliados móveis de

fundo e ciliados sésseis, correspondendo esta dominância a amostragens com índices de presença de microrganismos filamentosos inferiores a 2 e valores de IVL inferiores a 60 ml/g. No grupo dos ciliados móveis foram observados como dominantes os gêneros *Chilodonella* sp., *Aspidisca* sp. e *Euplotes* sp., no grupo de ciliados sésseis foram observados 'bouquets' de *Epistylis* sp. e *Vorticella convallaria* como dominantes, surgindo também esporadicamente bouquets de *Charaxesium* sp. e *Tokophyra* sp. No grupo dos ciliados livres, foram observadas mais freqüentemente as espécies *Paramecium* e *Trachelophyllum*. Foram também observadas amebas. Em relação à população de metazoários foram classificados os gêneros *Colurella* e *Adineta*, embora sempre como secundários em relação aos protozoários.

Em relação ao *mixed liquor*, os resultados relativos ao potencial redox parecem ser consistentes com os resultados obtidos nas leituras de oxigênio dissolvido.

Os resultados obtidos parecem sugerir uma relação entre o IVL e o aumento da presença de microrganismos filamentosos. Apesar de não se considerar tais casos como episódios de *bulking* filamentosos, não restam quaisquer dúvidas quanto ao limiar de má sedimentação atingido, limiar este expresso inequivocamente pelos valores de IVL obtidos. Os microrganismos filamentosos observados como dominantes foram *Nocardia* sp. (em praticamente todos os eventos) e *Sphaerotilus natans* (nas amostras 6 e 8), estando este último normalmente associado, quer a teores baixos de oxigênio dissolvido, o que aconteceu a valores próximos de 1,5 mg/l, quer a substratos com índice de biodegradabilidade elevado.

Deve-se ressaltar a observação de grande quantidade de *Zooglea* sp. Não foi, no entanto, possível relacionar o seu surgimento com os resultados físico-químicos obtidos, apesar do seu desenvolvimento estar muitas vezes associado a grandes quantidades de óleos e gorduras, principalmente sob a forma de ácido oléico. A observação de grande quantidade de microcolônias de bactérias nitrificantes foi pontualmente acompanhada por flutuação de lodos nos decantadores secundários, com pouco significado em termos de tratamento, mas que poderá indiciar alguns problemas nas reações de nitrificação-desnitrificação.

Observando os resultados obtidos relativos às concentrações de alimentação ao tratamento biológico verificam-se que o valor médio de DQO afluente foi de 570 mg/L, com valores máximos de 600 mg/L, enquanto que o valor médio de DBO₅ foi de 460 mg/L, com níveis máximos de 480 mg/L. A razão média obtida entre DBO₅ e DQO do afluente foi de 0,80, para a fração total, o que traduz a sua biodegradabilidade. Não foram realizados ensaios na fração relativa ao sobrenadante. Os sólidos suspensos totais apresentaram um valor médio de 124 mg/L durante a amostragem, variando entre 85 e 166 mg/L. O nitrogênio amoniacal (NH₄) variou entre valores de 53 e 110

mg/L, com valor médio de 81 mg/L, enquanto os valores de fosfatos (PO₄) variaram entre 29 e 44 mg/L, com valor médio de 35 mg/L (Figura 2).

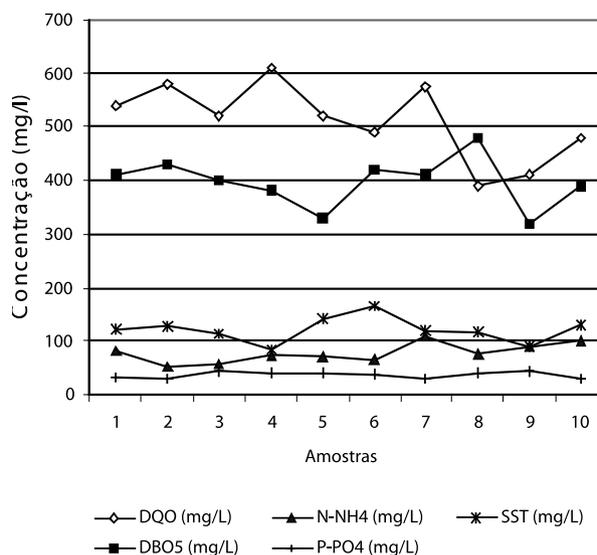


Figura 2. ETE Penha: Concentrações de DQO, DBO₅, SST, nitrogênio amoniacal e fosfatos afluente ao tratamento biológico.

A percentagem de remoção de DQO foi, em média, de 78%, com valor máximo de 89% e um valor mínimo de 66%.

Os resultados das análises físico-químicas e microscópicas do *mixed liquor* reportam-se apenas ao tanque de aeração n° 3, uma vez que o sistema funciona em mistura completa com arejamento convencional, como representativo dos restantes.

Os valores de pH e temperatura no *mixed liquor* não registraram variações importantes durante os meses do estudo aos quais se reportam os resultados apresentados: o pH variou entre 6,1 e 7,4, enquanto a temperatura se manteve em 26,5°C. O oxigênio dissolvido variou entre 1,5 e 3 mg/l. O potencial redox teve valores normalmente situados entre 100 e 200 mV.

Relativamente aos sólidos suspensos no *mixed liquor* obteve-se um valor médio de concentração de 4,2 g/L, atingindo-se um máximo de 5,9 g/L e um mínimo de 2,2 g/L. Os valores do índice volumétrico do lodo (IVL) foram em média de 130 mL/g, com exceção de alguns dias em que se atingiram valores de aproximadamente 140 mL/g. No que se refere à análise microscópica, observar-se de um modo geral, flocos biológicos de grandes dimensões com aspecto robusto, quanto a consistência, compacto, quanto a estrutura, e arredondado em relação à forma. A presença de microrganismos filamentosos foi geralmente baixa, nas amostras 2 e 7, tendo atingido a classificação de 5 apenas nas amostras 5 e 8, correspondendo a valores de IVL superiores a 135 mL/g (Figura 3).

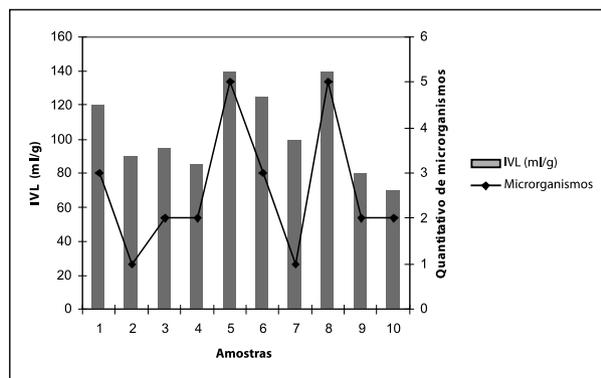


Figura 3. ETE Penha: Variação do IVL em relação à presença de microrganismos no tanque de aeração durante os meses de monitoramento (Escala quantitativa de frequência: (0) nenhum, (1) raro, (2) pouco comum, (3) comum, (4) muito comum, (5) abundante (6) excessivo).

ETE Ilha do Governador

Os dados obtidos permitiram verificar que no início do período de análise se registrou uma predominância de microrganismos filamentosos, com quase ausência de protozoários e metazoários. Esta biodinâmica sofreu uma alteração radical, a partir da amostra 6, com aparecimento de populações de protozoários, entre as quais se salientam *Aspidiscas* sp., *Vorticella* sp., *Opercularia* sp. e *Epystilis* sp. Este momento coincidiu com a ocorrência de uma descarga de origem industrial extremamente ácida, tendo pH da amostra composta do afluente ao tratamento biológico atingido o valor mínimo de 5, fora dos limites considerados ótimos para as populações microbianas presentes. As alterações verificadas estão de acordo com o descrito na literatura, Heylen et al. (2006), já que o aparecimento de ciliados sésseis, como *Opercularia* sp. e *Epystilis* sp. se encontram entre as espécies com maior capacidade de sobrevivência em ambientes desfavoráveis, sendo muito comuns em estações que recebem efluentes industriais tóxicos. Futuramente será importante seguir a prevalência destas espécies como indicadores de possíveis efeitos toxicológicos, não detectáveis pelo controle físico-químico de rotina.

No que se refere à presença e tipo de microrganismos filamentosos observados, verificou-se sempre a presença desta classe de organismos em índices entre as amostras 3 e 9, sendo as espécies mais observadas *Shaperotilus natans*, *Thiothrix* sp. (amostras 1, 3 e 4), *Nostocoida limicola* (amostra 6).

No que concerne ainda a observação microscópica dos lodos, destacou-se a ocorrência de valores de IVL menores, sempre associada a presença de flocos de lodos arredondados, de forma regular e pequeno tamanho.

No que se refere às populações de protozoários e metazoários, é de salientar que as amostras em que se registraram maior presença de microrganismos filamentosos

(3, 4 e 6) coincidiram com as amostras em que a observação daquele tipo de populações foi diminuta ou inexistente. Nos restantes dias verificou-se sempre dominância dos ciliados móveis de fundo, com o gênero *Aspidica* sp. em clara predominância e com presença esporádica de *Chilodonella* e *Euplotes*. Igualmente presentes foram também os ciliados sésseis como das espécies *Opercularia* e *Epystilis*, porém com prevalência de *Vorticella convallaria*. Registraram-se também, embora em menor grau, alguns ciliados livres, com as espécies *Trachelophyllum*, *Tetrahymena* e *Paramecium* como os mais usuais. De referir ainda que, o único dia em se registrou observação de metazoários, embora em baixa quantidade e diversidade, foi no ponto 5 em que se observou ocorrência de maior índice de filamentosos e quase ausência de protozoários.

É ainda de salientar a relação observada, entre a presença de ciliados e a qualidade do efluente final. De fato verificou-se que nas amostras em que foram observados maiores números de ciliados (2, 5 e 7), os valores de DBO₅ no efluente final foram mais baixos, indiciando que a presença destas populações está diretamente relacionada com a qualidade do efluente final.

No que se refere aos microrganismos filamentosos observados, o aparecimento de *Thiothrix* sp. coincidiu com o dia para o qual se obteve concentração mais baixa de nitrogênio amoniacal, indiciando possível desequilíbrio na relação de nutrientes. No que se refere a presença de *Nostocoida limicola*, a sua presença está associada a situações de tratamento de efluentes de indústrias agroalimentares, o que se enquadra nas características das cargas industriais recebidas na ETE Ilha do Governador.

O IVL foi quase sempre superior a 150 mL/g evidenciando um lodo pobre, com dificuldades de decantação. Os resultados obtidos demonstraram que, embora a maior presença de microrganismos filamentosos ocorra em dias para os quais o IVL é elevado, não é possível estabelecer uma associação nítida entre a ocorrência de microrganismos filamentosos e as características de má decantabilidade dos lodos.

Ao longo da monitorização foram identificados: actinomicetes (nocardioformes), *Thiothrix* sp., *Nostocoida limicola*, *Haliscobenobacter hydrossis* e *Sphaerotilus natans*. Os microrganismos mais comuns foram os nocardioformes e *Sphaerotilus natans*, freqüentemente classificados como dominantes, os primeiros durante o mês de Julho, o segundo em Agosto. Surgiram também como dominantes alguns filamentos emergentes dos flocos, com crescimento epifítico, que não foram classificados. Foram normalmente classificados como secundários *Nostocoida limicola*, *Haliscobenobacter hydrossis* e *Thiothrix* sp.

Na observação dos resultados experimentais verificou-se que em termos de concentrações de alimentação aos tanques de aeração, registrou durante o período de análise

uma tendência decrescente das mesmas, com a variação da razão DBO_5/DQO entre 0,5 e 0,7, o que significa que a proporção de matéria orgânica biodegradável aumentou. A comparação evidenciada pela Figura 4 permite perceber que, não obstante o teor em sólidos suspensos voláteis ter vindo a diminuir, as concentrações de DBO_5 não acompanharam essa tendência. O pH variou entre 5,3 e 6,9. No que se refere aos teores de nitrogênio amoniacal, estes foram baixos, sendo difícil ser extraída qualquer informação.

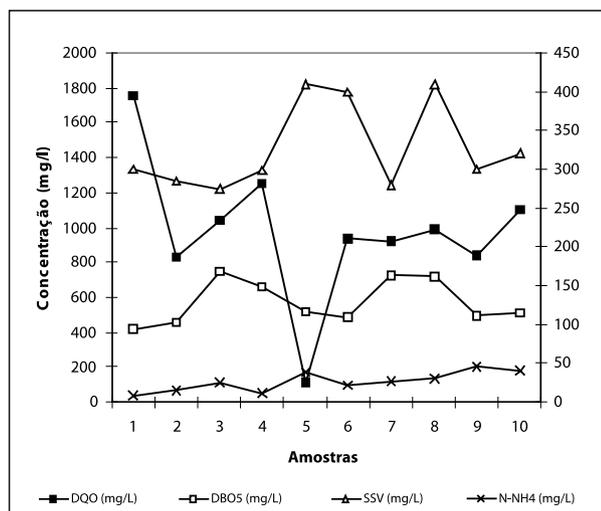


Figura 4. ETE Ilha do Governador: Concentrações de DQO, DBO_5 , SSV e nitrogênio amoniacal, afluentes ao tratamento biológico

Uma vez que o tratamento biológico decorre em tanques de mistura completa com arejamento convencional, no que se reporta a este ponto de coleta, foram tomados como referência os dados relativos ao tanque de aeração número três, assumindo que este seria representativo de todos os outros. Assim, durante o período em análise, não se verificaram alterações significativas de pH e temperatura no *mixed liquor*, situando-se estes dois parâmetros, respectivamente, na faixa entre 6,7 - 7,4 e 25-27° C. O oxigênio dissolvido variou entre 2,6 e 4,9 mg/L.

Em relação à concentração de SST registrou-se um valor médio de 4,8 g/L, com um mínimo de 2,3 g/L e um máximo de 6,7 g/L variando a percentagem de SSV/SST entre 68,2 - 87,8.

O IVL foi quase sempre superior a 160 mL/g, variando entre 128 mL/g (ponto 9) e 205 mL/g (ponto 8), como evidencia o Figura 5. Valores de IVL acima de 150 mL/g representam lodo com pouca capacidade de sedimentação e com a presença de filamentos.

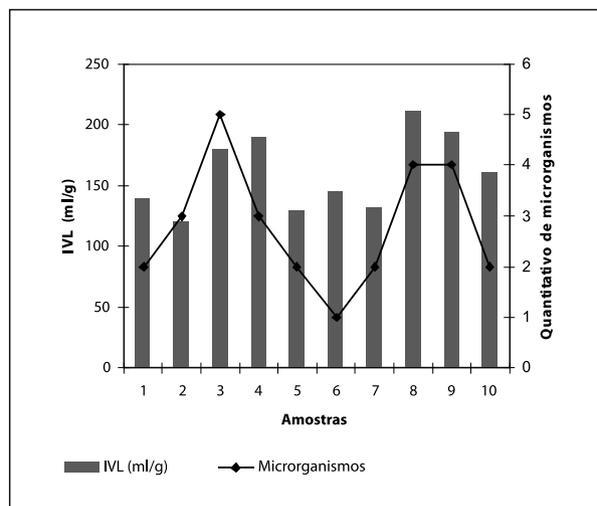


Figura 5. ETE Ilha do Governador: Variação do IVL em relação à presença de microrganismos no tanque de aeração nos meses de monitoramento (Escala quantitativa de frequência: (0) nenhum, (1) raro, (2) pouco comum, (3) comum, (4) muito comum, (5) abundante (6) excessivo).

Conclusões

Considerando que nos sistemas que tratam efluentes mistos a disponibilidade em nutrientes é normalmente controlada através da razão $DQO/N-NH_4/P-PO_4$ e que os valores considerados mínimos para satisfazer o metabolismo microbiano são 100/5/1, não se verificaram situações de deficiência em nutrientes na alimentação ao tratamento biológico nas ETEs avaliadas. Foi denotada uma clara correlação entre o crescimento massivo dos ciliados fixos e rastejantes com o aumento das eficiências do tratamento e o estabelecimento da nitrificação.

A variação da microfauna observada nas ETEs foi observada pela identificação rápida do estado e da eficiência das mesmas, evidenciando que o método de contagem da microfauna empregado ser adequado e de fácil implementação, mesmo quando denotava em algumas análises uma maior diversidade das espécies e grupos funcionais.

Observou-se, também, que na análise qualitativa do lodo, englobando os aspectos gerais dos flocos, como por exemplo, quantidade de filamentos, tamanho e compactação, a identificação das espécies dominantes, foi suficiente para uma caracterização imediata das condições depurativas do sistema de tratamento. Especificamente, a partir das observações realizadas neste trabalho, concluiu-se que é possível diagnosticar as condições de tratamento baseado na observação em microscópio da microfauna, com um tempo de resposta menor que o das análises químicas. Tais procedimentos permitem um controle ímpar do sistema de tratamento de esgoto do tipo lodos ativados, o que será refletido na qualidade do efluente a ser disponibilizado para o corpo receptor.

Agradecimentos:

Ao CNPq pela ajuda financeira para desenvolvimento da pesquisa.

Referências

- AWWA. 1995. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 19th ed. Washington. APHA, 1134 p.
- BENTO, A.P. SEZERINO, P.H., PHILIPPI, L.S., REGINATTO, V. & LAPOLLI, F.R. 2005. Caracterização da microfauna em estação de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 10(4) :329-338.
- CANLER, J. P. PERRET, J.M., DUCHENE, P. & COTTEUX, E. 1999. Aide au diagnostic des stations d'épuration par l'observation microscopique des boues activées. Paris: Cemagref Editions, 665 p.
- FALCIONI, T., MANTI, A., BOI, P., CANONICO, B., BALSAMO, M. & PAPA, S. 2005. Enumeration of activated sludge bacteria in a wastewater treatment plant. *Journal of Biological Regulators and Homeostatic Agents* 19(3-4):176-9.
- GANTZER, C., GASPARD, P., GALVEZ, L., HUYPARD, A., DUMOUTHIER, N. & SCHWARTZBROD, J. 2001. Monitoring of bacterial and parasitological contamination during various treatment of sludge. *Water Research* 35(16):3763-70.
- HEYLEN, K., VANPARYS, B., WITTEBOLLE, L., VERSTRAETE, W., BOON, N., & VOS, P. 2006. Cultivation of denitrifying bacteria: optimization of isolation conditions and diversity study. *Applied and Environmental Microbiology* 72(4):2637-43.
- LUCENA, F., MÉNDEZ, X., MORÓN, A., CALDERÓN, E., LUCENA, F., CAMPOS, C., GUERRERO, A. CÁRDENAS, M., GANTZER, C., SHWARTZBRODD, L., SKRABER, S. & JOFRE, J. 2003. Occurrence and densities of bacteriophages proposed as indicators and bacterial indicators in river waters from Europe and South America. *Journal of Applied Microbiology* 94(5): 808-15.
- MARA, D.D. 2003. Water, sanitation and hygiene for the health of developing nations. *Public Health* 117(6):452-6.
- SCHOMBURG, I. & MULLER, H.E. 1987. Comparative studies of the kinetics of hygienically relevant microorganisms in activated sludge. *Zentralblatt fur Bakteriologie, Mikrobiologie und Hygiene [B]* 184(3-4):183-94.
- SEMENAS, L., BRUGNI, N., VIOZZI, G. & KREITER, A. 1999. Monitoring of parasites in domestic sewage. *Revista de Saúde Pública* 33(4):379-84.
- VAZOLLÈR, R.F., GARCIA, A.D. & CONCEIÇÃO NETO, J. 1991. *Microbiologia de Lodos Ativados – Série Manuais. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo. CETESB, 23 p.*
- VILANOVA, X., MANERO, A., CUELLAR, C.M. & BLANCH, A.R. 2002. The effect of a sewage treatment plant effluent on the faecal coliforms and enterococci populations of the reception river waters. *Journal of Applied Microbiology* 92(2):210-4.
- VILANOVA, X., MANERO, A., CUELLAR, C.M. & BLANCH, A.R. 2004. The composition and persistence of faecal coliforms and enterococcal populations in sewage treatment plants. *Journal of Applied Microbiology* 96(2):279-88.
- VILANOVA, X. & BLANCH, A.R. 2005. Distribution and persistence of fecal bacterial populations in liquid and dewatered sludge from a biological treatment plant. **The Journal of General and Applied Microbiology** 51(6):361-8.
- VOGEL, A. L. 1981. *Análise Inorgânica Qualitativa. 4ed.* Rio de Janeiro. Editora Guanabara, 156 p.
- Von SPERLING, M. 1997. *Lodos Ativados.* Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 416 p.