



**Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental
Campus Nilópolis/RJ.**

**IMPORTÂNCIA DA DIVERSIDADE MICROBIOLÓGICA NA
QUALIDADE DO EFLUENTE TRATADO PELO SISTEMA DE
Lodos Ativos.**

ELITA R. B. BIANCO

Orientadora: Danielle F. R. Bisaggio, DSc

**NILÓPOLIS
2011**



**Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental
Campus Nilópolis/RJ.**

**IMPORTÂNCIA DA DIVERSIDADE MICROBIOLÓGICA NA
QUALIDADE DO EFLUENTE TRATADO PELO SISTEMA DE
Lodos Ativos.**

ELITA R. B. BIANCO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação *Lato sensu* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, campus Nilópolis – IFRJ, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Especialista em Gestão Ambiental.

Orientadora: Danielle F. R. Bisaggio, DSc

**NILÓPOLIS
2011**

FICHA CATALOGRÁFICA

BIANCO, ELITA ROSANGELA BRITO

Importância da Diversidade Microbiológica na Qualidade do Efluente Tratado pelo Sistema de Lodos Ativados [Rio de Janeiro, 2011]

xv, 53 p.; 29,7 cm (Instituto Federal de Educação, ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Pós-Graduação *Lato sensu* em Gestão Ambiental, 2011).

Trabalho de Conclusão de Curso – IFRJ - Campus Nilópolis

1. Tratamento de Efluentes

2. Lodos Ativados

I. PROPPI / IFRJ. II. Título (série)

Dedico este trabalho aos meus filhos, Rafael e Caroline e especialmente ao meu marido Carlos Bianco, meu grande amigo de todas as horas, sempre me incentivando a continuar.

“guias cegos! Coais um mosquito, e engolis um camelo”.

Mateus – 23:24.

AGRADECIMENTOS

Sobretudo a Deus que permite todas as coisas.

A professora Dra. Danielle Bisaggio que tive a honra de ter como orientadora, aceitando o desafio deste trabalho e acreditando no meu potencial para realizá-lo.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Gestão Ambiental do IFRJ que aceitaram o desafio de assumir a primeira turma do programa e muito contribuíram para complementar os meus conhecimentos.

Aos colegas de turma, que se mantiveram firmes em seus propósitos, sempre incentivando um ao outro ao longo do curso.

A todos aqueles que de uma forma ou outra participaram e colaboraram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O tratamento de efluentes ou esgotos baseado em processos biológicos, além de permitir o tratamento de grandes volumes, apresenta menor custo de funcionamento e é mais simples de operar. Os tipos de microrganismos que vão se estabelecer nesses processos podem ser determinantes para a qualidade do tratamento que se deseja realizar. O presente trabalho visa a um levantamento bibliográfico baseado em livros, artigos técnicos e websites sobre a importância da diversidade microbiológica e o papel desempenhado pela mesma em sistemas de tratamento biológico de efluentes pelo método de lodo ativado. Os estudos apontam para uma subutilização dos dados provenientes da caracterização microscópica do lodo ativado e tal ferramenta pode ser de grande importância para a avaliação do desempenho das estações de tratamento de esgotos – ETE.

Palavras-chave: tratamento de efluentes; lodo ativado; diversidade microbiana.

ABSTRACT

The treatment of effluent or sewage based on biological processes, besides allowing the treatment of large volumes, has a lower cost and is simple to operate. The types of microorganisms observed in these processes can be decisive for the quality of the accomplished treatment. The aim of this work is to review the literature based on books, technical articles and websites about the importance of microbial diversity and its role on systems of biological treatment of wastewater by activated sludge method. Studies point to an underutilization of data from the microscopic characterization of the activated sludge and this tool can be of great importance for assessing the performance of sewage treatment plants - STP.

Keywords: wastewater treatment, activated sludge, microbial diversity.

LISTA DE ABREVIATURAS

A/M – Relação entre Alimentos e Microrganismos

C – Carbono

Ca – Cálcio

Co – Cobalto

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Esgotos

Fe – Ferro

H – Hidrogênio

IVL – Índice Volumétrico do Lodo

K – Potássio

L – Litro

Mg – Magnésio

Mg/L – miligramas por Litro

ml/g – Mililitros por grama

Mn – Manganês

Mo – Molibdênio

N – Nitrogênio

Ni – Níquel

O - Oxigênio

OD – Oxigênio Dissolvido

P - Fósforo

pH – Potencial Hidrogeniônico

PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

S – Enxofre

SSV – Sólidos Suspensos Voláteis

SSVTA – Sólidos Suspensos Voláteis no Tanque de Aeração

TRH – Tempo de retenção Hidráulica

UASB – Up-flow Anaerobic Sludged Blanket (Reactor)

V - Volume

Zn – Zinco

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico de Percentuais da População sem atendimento de rede coletora de esgoto sanitário	2
Figura 2 – Esquema ilustrativo de um sistema de lodos ativados	13
Figura 3 – Imagem de microscopia óptica mostrando células de bactéria <i>Zooglea ramigera</i> no interior de uma cápsula polissacarídica	22
Figura 4 – Curva de crescimento bacteriano	23
Figura 5 – Microfotografia óptica de protozoários livre natantes	27
Figura 6 – Microfotografia óptica de protozoários predadores de flocos	28
Figura 7 – Microfotografia óptica de protozoários pedunculados	30
Figura 8 – Microfotografia óptica de protozoários flagelados	32
Figura 9 – Microfotografia óptica de protozoários rizópodes	33
Figura 10 – Microfotografia óptica de rotíferos	35
Figura 11 – Microfotografias ópticas de nematoide	36
Figura 12 – Microfotografias óptica de micrometazoários	38
Figura 13 – Microfotografias de flocos de lodo ativado.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Faixas de operação em sistemas de lodos ativados	19
Tabela 2 – Microrganismos indicadores das condições de depuração	40
Tabela 3 – Relação entre os diferentes grupos de protozoários e as condições de operação do sistema de lodos ativados	41
Tabela 4 – Prováveis causas de <i>bulking</i> e organismos filamentosos frequentemente envolvidos	47

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	1
2 – OBJETIVO	5
2.1 – Objetivos Específicos	5
3 – REVISÃO DE LITERATURA	6
3.1 – Principais Processos Empregados para o Tratamento Biológico de Esgotos	8
3.1.1 – Sistemas Anaeróbios	8
3.1.1.a – Tanque séptico	8
3.1.1.b – Filtro Anaeróbio	9
3.1.1.c – Reator UASB	9
3.1.2 – Lagoas de Estabilização	9
3.1.2.a – Lagoa facultativa	10
3.1.2.b – Lagoa Anaeróbia	10
3.1.2.c – Lagoa Aerada Facultativa	10
3.1.2.d – Lagoa de Maturação	11
3.1.3 – reatores Aeróbios com Biofilme	11
3.1.3.a – Filtro Biológico Percolador	12
3.1.4 - Sistema de Lodos Ativados	12
3.2 – Fatores que interferem no sistema de lodos ativados	14
3.2.1 – Fatores Ambientais	14
3.2.1.a – Temperatura	14
3.2.1.b – pH	15
3.2.1.c – Concentração de Nutrientes	16
3.2.1.d – Oxigênio Dissolvido	17
3.2.2 – Fatores Operacionais	18
3.2.2.a – Fator de carga Aplicado ao Lodo Volátil (A/M)	18

3.2.2.b – Idade do Lodo	18
3.2.2.c – Índice Volumétrico do Lodo (IVL)	18
3.3 – Classificação dos processos de lodos ativados	19
3.4 – Microbiota do sistema de lodos ativados	20
3.4.1 – Bactérias	20
3.4.1.a – Fases do Crescimento Bacteriano	22
3.4.2 – Fungos	24
3.4.3 – Algas	25
3.4.4 – Protozoários	26
3.4.4.a – Ciliados	26
3.4.4.b – Flagelados	31
3.4.4.c – Rizópodes	31
3.4.5 – Micrometazoários	33
3.4.5.a – Rotíferos	34
3.4.5.b – Nematóides	35
3.4.5.c – Anelídeos	36
3.4.5.d – Tardígrados	37
3.5 – Fatores que interferem na composição da população microbiana em processos de lodos ativados	38
3.6 – Relação entre a microfauna e as condições operacionais do sistema de lodos ativados	39
3.7 – Flocos biológicos	41
3.8 – Intumescimento do lodo ou bulking filamentoso	46
4 – DISCUSSÃO	48
5 – CONCLUSÃO	49
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1 – INTRODUÇÃO

Atualmente, é consenso que o esgoto (efluente ou águas residuais), industrial ou doméstico, precisa ser tratado antes de ser lançado nos mananciais para minimizar seu impacto no meio ambiente e para a saúde humana (ROCHA, ROSA E CARDOSO, 2004). Quanto maior o volume de esgotos ou efluentes lançado em um determinado rio, maior será o consumo de oxigênio provocado. Isto é, quanto maior for a concentração de matéria orgânica, maior será a concentração de bactérias, maior a atividade total de respiração e maior, por conseguinte, a demanda de oxigênio a um nível incompatível com as necessidades respiratórias dos organismos aquáticos aeróbios podendo causar a morte dos mesmos (CASTRO E SCHREIBER, 2010) e a eutrofização de lagos e lagoas com alteração no ciclo de vida de diversos organismos (LEVY, 2007). Portanto, o lançamento de esgotos de uma cidade ou de despejos industriais orgânicos em um rio provoca a deterioração do mesmo, devido à queda do nível de oxigênio dissolvido na água. Se diminuirmos o lançamento deste excesso de matéria orgânica, através do tratamento dos esgotos e efluentes lançados, o rio, com o tempo, se autodepurará, podendo re-estabilizar o ecossistema (CASTRO e SCHREIBER, 2010).

O tratamento dos efluentes é feito nas chamadas Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB realizada entre outubro de 2008 e fevereiro de 2009, no Brasil, 68,8% do esgoto coletado era tratado, enquanto que, segundo a PNSB – 2000, esse percentual era de 35,3% (BRASIL, 2008). A PNSB 2008 (BRASIL, 2008) indica que 55,2% dos municípios brasileiros tinham serviço de esgotamento sanitário por

rede coletora, três pontos percentuais acima do índice verificado em 2000 (52,2%). Os melhores desempenhos foram encontrados nos estados de São Paulo e Espírito Santo.

O gráfico a seguir (Fig. 1) mostra os percentuais da população sem atendimento de rede coletora de esgoto sanitário.

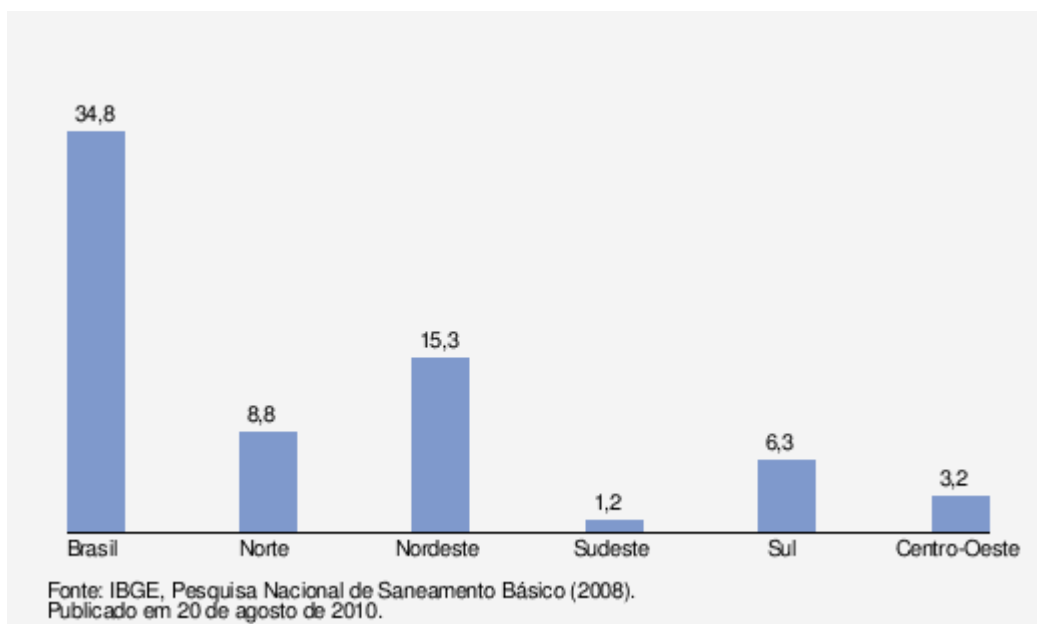


Figura 1 – Gráfico de percentuais da população sem atendimento de rede coletora de esgoto sanitário.

Apesar da melhoria nos percentuais de municípios com serviço de esgotamento sanitário, ainda, segundo o IBGE, menos de 1/3 dos municípios fazem tratamento do esgoto coletado. Segundo a PNSB 2008, a região sudeste liderava (48,4%), seguido do centro-oeste (25,3%), Sul (24,1%), Nordeste (19%) e Norte (7,6%).

O tratamento de esgotos é usualmente classificado por meio de níveis, conforme listado abaixo (VON SPERLING, 1995):

- a. Tratamento preliminar – visa a remoção de sólidos grosseiros, como materiais inorgânicos que por ventura sejam jogados no esgoto,

areia e demais materiais de maiores dimensões, que possam levar à obstrução de equipamentos da planta de tratamento;

- b. Tratamento primário – é realizado através de processo físico que objetiva a separação de materiais sólidos presentes no esgoto a ser tratado. A separação pode se dá através da utilização de grades e telas, que fazem a contenção de tais materiais;
- c. Tratamento secundário – é realizado através de processos biológicos que apresentam como objetivo a remoção de matéria orgânica e de nutrientes (fósforo e nitrogênio);
- d. Tratamento terciário – é realizado através de métodos químicos que visam a remoção de DBO, nutrientes, patógenos, parasitas e determinados compostos tóxicos, não retidos nos tratamentos primário e secundário. Este tratamento é utilizado quando se deseja obter uma qualidade superior no tratamento dos esgotos.

Uma das principais razões para o tratamento de esgotos é a proteção da saúde humana e a preservação ambiental.

Segundo o Art.196 da Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988) a saúde é direito de todos e dever do estado, garantido mediante políticas sociais e econômicas que visem à redução do risco de doença e de outros agravos e ao acesso universal e igualitário às ações e serviços para sua promoção, proteção e recuperação, e sendo um dos fundamentos da Política Nacional de Saneamento Básico (Lei Nº11.445 de 05 de janeiro de 2007) a universalização do acesso aos serviços públicos de saneamento básico e o abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente; e

considerando ainda que, no Art. 3º desta lei, esgotamento sanitário constitui-se pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente, fica evidente a importância e a obrigatoriedade de se tratar os esgotos antes de lançá-los em corpos receptores, uma vez que, as ações de saneamento básico/condições ambientais estão intimamente relacionadas com as condições de saúde da população (BRASIL, 2007).

Um tratamento de efluente adequado exige rigoroso controle do sistema utilizado, entendimento sobre a influência dos compostos tóxicos no processo de depuração e quão eficiente é o sistema para remoção da carga tóxica, a qual, muitas vezes, é medida pela redução de DQO (demanda química de oxigênio), DBO (demanda bioquímica de oxigênio), toxicidade, ou outro composto cuja remoção é indispensável para a disposição final (OLIVEIRA, ARAÚJO E FERNANDES, 2009).

Os tratamentos baseados em processos biológicos permitem tratar grandes volumes de efluente, apresentam menor custo de funcionamento e simplicidade operacional (OLIVEIRA, ARAÚJO E FERNANDES, 2009).

2 – OBJETIVO

Elaborar um levantamento com base em livros, artigos técnicos e websites sobre a importância da diversidade microbológica e o papel desempenhado pelos microrganismos em sistemas de tratamento biológico de efluentes, pelo método de lodos ativados.

2.1 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a existência de possíveis correlações entre a qualidade do efluente tratado e os microrganismos presentes;
- Identificar os grupos de microrganismos que podem ser utilizados como bioindicadores da qualidade do efluente tratado pelo método de lodos ativados.

3 – REVISÃO DE LITERATURA

A idéia de tratar o esgoto antes de lançá-lo ao meio ambiente, só foi testada pela primeira vez em 1874 na cidade de Windsor, Inglaterra (ROCHA, ROSA E CARDOSO, 2004).

Esgoto, efluente ou águas servidas são todos os resíduos líquidos provenientes de indústrias e domicílios e que necessitam de tratamento adequado para que sejam removidas as impurezas e assim possam ser devolvidos à natureza sem causar danos ambientais e à saúde humana (FARIA, 2007).

Geralmente, os microrganismos que habitam naturalmente corpos de água tais como rios, lagos e mares, possuem a capacidade de decompor a matéria orgânica presente nos mesmos. No entanto, como no caso dos efluentes a quantidade de matéria orgânica é excessiva, antes que os efluentes sejam despejados em um corpo de água receptor, se faz necessário seu devido tratamento em uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) que, basicamente, reproduz em um ambiente confinado a ação dos microrganismos encontrados em ambientes naturais (FARIA, 2007).

É importante destacar que o tratamento dado aos efluentes pode variar muito dependendo do tipo de efluente tratado e da classificação do corpo de água que irá receber esse efluente, de acordo com a Resolução CONAMA N°357/2005. O efluente, ao ser lançado no corpo de água receptor, deve estar devidamente limpo, de forma que não altere suas características físicas, químicas e biológicas. Em alguns casos, como por exemplo, quando a bacia hidrográfica está classificada como sendo de classe especial, nenhum tipo de efluente pode ser jogado ali, mesmo que tratado. Isso porque esse tipo de classe se refere aos

corpos de água usados para abastecimento e consumo humano (BRASIL, 2005). Vale ressaltar que o esgoto industrial costuma ser mais difícil e caro de tratar devido à grande quantidade de produtos químicos presentes no mesmo (FARIA, 2007).

O tratamento de esgoto domiciliar consiste em 4 níveis básicos: nível preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário ou pós-tratamento. Cada um deles tem, respectivamente, o objetivo de remover os sólidos suspensos (lixo, areia), remover os sólidos dissolvidos, a matéria orgânica, e organismos patogênicos (causadores de doenças) (VAZOLLÉR, 1989).

No nível preliminar são utilizadas grades, peneiras ou caixas de areia para reter os resíduos maiores e impedir que haja danos às próximas unidades de tratamento, ou até mesmo, para facilitar o transporte do efluente. No tratamento primário são sedimentados os sólidos em suspensão que vão se acumulando no fundo do decantador primário que depois é retirado para dar continuidade ao processo. Em seguida, no tratamento secundário, os microrganismos irão se alimentar da matéria orgânica convertendo-a em gás carbônico e água. E no terceiro e último processo, também chamado de fase de pós-tratamento, são removidos os poluentes específicos como os micronutrientes (nitrogênio e fósforo) e patogênicos. Isso quando se deseja que o efluente tenha qualidade superior, ou quando o tratamento não atingiu a qualidade desejada (VON SPERLING, 1995).

Quando se trata de efluentes industriais a própria empresa que faz o tratamento de esgoto exige que a indústria geradora monitore a qualidade dos efluentes gerados e mandados para a estação. No caso de haver substâncias muito tóxicas ou que não possam ser removidas pelo tratamento oferecido pela

ETE, a indústria é obrigada a construir a sua própria ETE para tratar seu próprio efluente (COPASA, 2011).

Os processos de tratamento dos esgotos são formados por uma série de operações unitárias empregadas para a remoção de substâncias indesejáveis, ou para transformação destas substâncias em outras de forma aceitável. A remoção dos poluentes no tratamento, de forma a adequar o lançamento de efluentes a uma qualidade desejada ou ao padrão de qualidade estabelecido pela legislação vigente, está associada aos conceitos de nível e eficiência de tratamento (COPASA, 2011).

3.1 – Principais processos empregados para o tratamento biológico de esgotos

3.1.1 – Sistemas Anaeróbios

Nos sistemas anaeróbios o tratamento é efetuado por bactérias que não utilizam o oxigênio em seu metabolismo. Há três tipos bastante comuns, o tanque séptico, o filtro anaeróbio e o reator UASB.

3.1.1.a – Tanque séptico

Processo que consiste basicamente em uma unidade onde se realizam, simultaneamente, várias funções: decantação, flotação, desagregação e digestão parcial dos sólidos sedimentáveis (lodo) e da crosta constituída pelo material flotante (escuma). O principal fenômeno que ocorre sobre o efluente é de ação física, através de decantação.

3.1.1.b – Filtro anaeróbio

Processo pelo qual a matéria orgânica é estabilizada através de microrganismos que se desenvolvem e ficam retidos nos interstícios ou aderidos ao meio suporte que constitui um leito fixo (usualmente pedras ou material plástico), através do qual os esgotos fluem. Os filtros anaeróbios podem ser de fluxo ascendente ou descendente. Nos filtros de fluxo ascendente, o leito é submerso e no fluxo descendente, podem funcionar submersos ou não.

3.1.1.c – Reator UASB

O princípio do processo consiste na estabilização da matéria orgânica de forma anaeróbia, por microrganismos que crescem dispersos no meio líquido. A parte superior do reator UASB possui um separador trifásico, que apresenta uma forma cônica ou piramidal, permitindo a saída do efluente clarificado, a coleta do biogás gerado no processo e a retenção dos sólidos dentro do sistema. Esses sólidos retidos constituem a biomassa, que permanece no reator por tempo suficientemente elevado para que a matéria orgânica seja degradada. O lodo retirado periodicamente do sistema já se encontra estabilizado, necessitando apenas de secagem e disposição final.

3.1.2 - Lagoas de Estabilização

As lagoas de estabilização são sistemas de tratamento biológico em que a estabilização da matéria orgânica é realizada pela oxidação microbiológica. De acordo com a forma predominante pela qual se dá a estabilização da matéria orgânica, as lagoas costumam ser classificadas em: facultativas, anaeróbias, aeradas e de maturação.

3.1.2.a – Lagoa Facultativa

Neste processo, o esgoto afluente entra continuamente em uma extremidade da lagoa e sai continuamente na extremidade oposta. Ao longo deste percurso, que demora vários dias, uma série de eventos contribui para a purificação dos esgotos. Parte da matéria orgânica em suspensão tende a sedimentar, vindo a constituir o lodo de fundo. Este lodo sofre processo de decomposição por microrganismos anaeróbios. A matéria orgânica dissolvida, conjuntamente com a matéria orgânica em suspensão de pequenas dimensões, não sedimenta, permanecendo dispersa na massa líquida, onde sua decomposição se dá por bactérias facultativas, que têm a capacidade de sobreviver tanto na presença, quanto na ausência de oxigênio.

3.1.2.b – Lagoa Anaeróbia

Neste processo, a lagoa possui menores dimensões e maior profundidade. Devido às menores dimensões e à maior profundidade dessa lagoa, a fotossíntese praticamente não ocorre. Predominam as condições anaeróbias, pois no balanço entre o consumo e a produção de oxigênio, o consumo é amplamente superior. As bactérias anaeróbias têm taxa metabólica e de reprodução mais lenta do que as bactérias aeróbias. Em assim sendo, para um período de permanência de 2 a 5 dias na lagoa, a decomposição da matéria orgânica é parcial.

3.1.2.c – Lagoa Aerada Facultativa

Neste processo, consegue-se um sistema predominantemente aeróbio e de dimensões reduzidas. A principal diferença com relação à lagoa facultativa convencional é quanto à forma de suprimento de oxigênio. Enquanto na lagoa facultativa o oxigênio é advindo principalmente da fotossíntese, no caso da lagoa

aerada facultativa o oxigênio é obtido através de equipamentos denominados aeradores. A lagoa é denominada de facultativa pelo fato do nível de energia introduzido pelos aeradores ser suficiente apenas para a oxigenação, mas não para manter os sólidos em suspensão na massa líquida. Assim, os sólidos tendem a sedimentar e formar uma camada de lodo de fundo, a ser decomposta de forma anaeróbia.

3.1.2.d – Lagoa de Maturação

Este processo possibilita um polimento no efluente de qualquer dos sistemas descritos. O principal objetivo destas lagoas é a remoção de organismos patogênicos, e não da remoção adicional de matéria orgânica. Diversos fatores contribuem para a remoção de patógenos, como temperatura, insolação, pH, escassez de alimento, organismos predadores, competição, compostos tóxicos, etc. Vários destes mecanismos se tornam mais efetivos com menores profundidades da lagoa, o que justifica o fato das lagoas de maturação serem mais rasas e conseqüentemente requererem grande área de implantação.

3.1.3 - Reatores Aeróbios com Biofilmes

Outro processo de tratamento de esgotos utilizado é o de reatores aeróbios com biofilme. A matéria orgânica é estabilizada por bactérias que crescem aderidas a um meio suporte (usualmente pedras ou material plástico). Há sistemas nos quais a aplicação de esgotos se dá na superfície, sendo o fluxo de esgoto descendente e havendo a necessidade de decantação secundária; há também sistemas submersos com introdução de oxigênio, com fluxo de ar ascendente, e fluxo de esgoto ascendente ou descendente.

3.1.3.a – Filtro Biológico Percolador

Nestes reatores, a matéria orgânica é estabilizada por via aeróbia, por meio de bactérias que crescem aderidas a um meio suporte, que pode ser constituído de pedras, ripas, material plástico ou qualquer outro que favoreça a percolação do esgoto aplicado. Usualmente o esgoto é aplicado por meio de braços giratórios. O fluxo contínuo do esgoto, em direção ao fundo do tanque, permite o crescimento bacteriano na superfície do meio suporte, possibilitando a formação de uma camada biológica, denominada biofilme. O contato do esgoto com a camada biológica possibilita a degradação da matéria orgânica. A aeração desse sistema é natural, ocorrendo nos espaços vazios entre os constituintes do meio suporte (COPASA, 2011).

3.1.4 - Lodos Ativados

O sistema de lodos ativados corresponde a um processo amplamente utilizado no tratamento de efluentes, no qual parte significativa da matéria orgânica é decomposta através da ação de uma população diversificada de microrganismos (BENTO *et al.*, 2005). É constituído por um tanque de aeração, também denominado reator aeróbio, e por uma unidade onde ocorre a sedimentação dos sólidos (decantador secundário) (Fig. 2). No tanque de aeração o efluente a ser tratado é submetido a um processo artificial de aeração, que pode ser dada através de aeradores por ar difuso ou aeração mecânica. No interior do reator aeróbio há uma grande concentração de microrganismos (biomassa), responsável pela assimilação da matéria orgânica presente no esgoto bruto. Os microrganismos, ao interagirem entre si, são capazes de formar flocos biológicos, que são separados da fase líquida por sedimentação, no decantador secundário

(Fig. 2), permitindo que o efluente saia clarificado (CORDI *et al.*, 2008). Para garantir a elevada concentração de biomassa ativa no reator, parte do lodo sedimentado é recirculado para a unidade de aeração. Este é o princípio básico do sistema de lodos ativados, possuindo assim, dependendo das variantes, o decantador primário, o tanque de aeração, o decantador secundário e elevatória de recirculação.

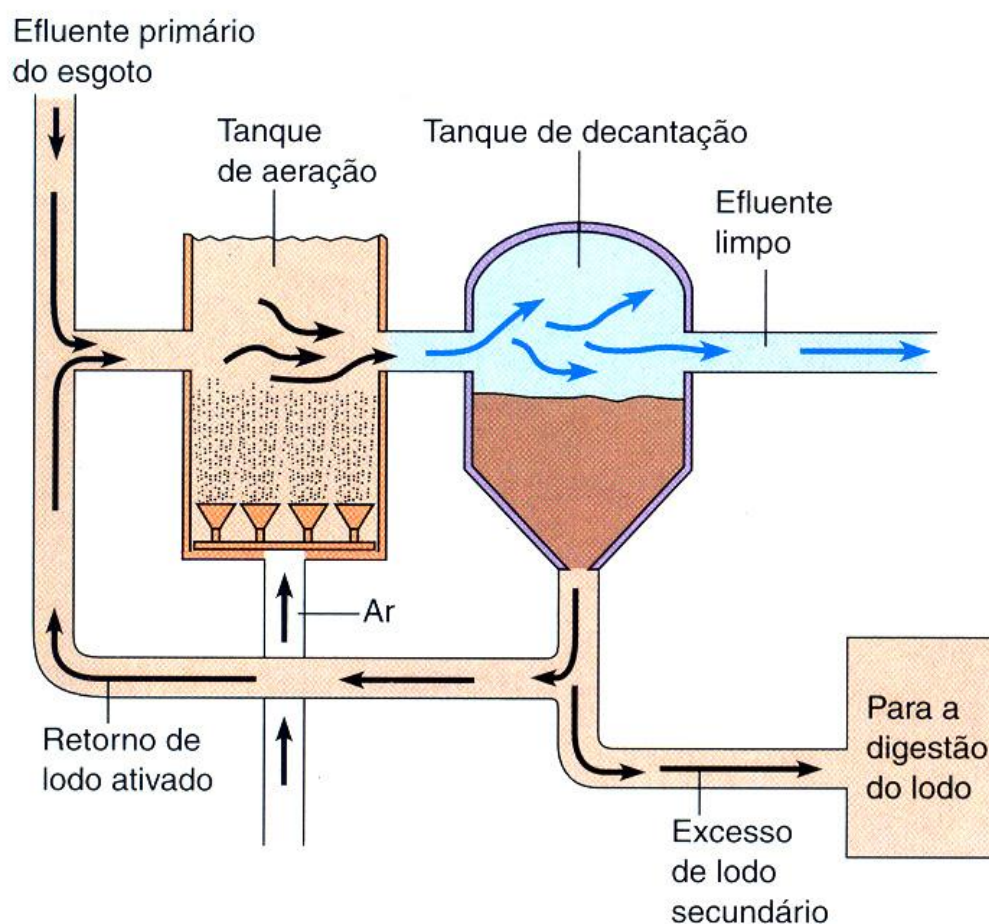


Figura 2 – Esquema ilustrativo de um sistema de lodos ativados (TORTORA, FUNKE E CASE, 2000)

A comunidade de microrganismos estabelecida no sistema de lodos ativados é dinâmica e fundamental ao tratamento, sendo que cada espécie tem sua importância para o bom funcionamento do sistema. A estrutura dessa

comunidade apresenta forte relação com as condições operacionais e com a qualidade e quantidade de efluente que alimenta o processo, de modo que a avaliação microbiológica do lodo é capaz de fornecer informações sobre o desempenho da ETE. Mudanças nas condições ambientais provenientes da composição do afluente que chega ao reator, ou mesmo da operação da estação, podem levar a alterações na comunidade do lodo influenciando os processos de biodegradação e, portanto, reduzindo a qualidade do efluente tratado (OLIVEIRA, ARAÚJO E FERNANDES, 2009).

3.2 – Fatores que interferem no sistema de lodos ativados

As diferentes variáveis do processo de lodos ativados têm a finalidade de assegurar uma adequada sedimentação do lodo e remoção de matéria orgânica.

Considerando que o adequado funcionamento do sistema de lodos ativados depende diretamente de uma atividade microbiana, as condições as quais os microrganismos são submetidos podem afetar de forma significativa o bom desempenho do sistema (OLIVEIRA, ARAÚJO E FERNANDES, 2009). Entre os principais fatores que podem interferir na eficiência do processo de tratamento de efluentes por lodos ativados, podemos destacar:

3.2.1 - Fatores ambientais:

3.2.1.a – Temperatura

Segundo Gerardi (2006), a temperatura exerce dois efeitos significativos sobre a população microbiana no lodo ativado: (1º) afeta a taxa de difusão de substratos e nutrientes na célula bacteriana e (2º) afeta a taxa da atividade enzimática. As taxas de difusão e atividade enzimática diminuem com a redução

da temperatura. Há três grupos de bactérias, classificadas quanto às faixas de temperatura adequadas para seu crescimento: psicrófilas, mesófilas e termófilas. As bactérias mesófilas correspondem ao maior grupo de organismos, sendo encontradas em abundância nos sistemas de lodos ativados. O crescimento deste grupo de microrganismos se dá em faixas de temperatura variando de 10°C a 45°C, tendo a temperatura ótima para o crescimento em torno de 30°C (MADIGAN *et al.*, 2009a). Os microrganismos mesófilos estão presentes em densidades significativas em um sistema de lodos ativados, de modo que a temperatura adequada para um bom funcionamento da estação deve ser na faixa de 20°C e 40°C (FIGUEIREDO e DOMINGUES, 2010).

3.2.1.b – pH

O pH é um parâmetro importante utilizado no controle de estações de tratamento de esgotos – ETE.

De acordo com Gerardi (2006), a faixa de pH tolerável para os microrganismos do lodo ativado, situa-se entre 7,0 e 8,0, sendo que a eficiência do tratamento alcança valores máximos em pH $7 \pm 0,2$. Há três grupos de bactérias que podem tolerar condições de acidez ou alcalinidade: acidófilos, neutrófilos e alcalinófilos. Acidófilos crescem em ambientes com valores de pH menores que 5,4, sendo as bactérias dos gêneros *Thiobacillus* e *Sulfolobus* capazes de crescer em pH com valores menores que 2,0. Diversos fungos apresentam capacidade de crescer em valores de pH menores que 5,0. Organismos classificados como neutrófilos crescem em pH entre 5,4 e 8,5. A maioria das bactérias em sistemas de tratamento de efluentes pelo método de lodos ativados é neutrófila. Alcalinófilos, tais como bactérias dos gêneros

Nitrossomonas e *Nitrobacter*, são organismos que podem sobreviver em valores de pH muito elevados (GERARDI, 2006).

Em um sistema de lodos ativados, quando encontramos valores de pH variando entre 6,5 e 8,5, observamos uma predominância de bactérias sobre os fungos e temos a formação de flocos com características desejáveis. Em valores abaixo de 6,5 os fungos começam a se apresentar mais aptos a competirem com as bactérias, sendo que em valores de pH entre 4,0 e 5,0, praticamente só são encontrados fungos (FIGUEIREDO e DOMINGUES, 2010). Valores baixos de pH, provocados por cargas de choque momentâneas, podem levar à desfloculação do lodo. A manutenção de um pH ácido por longos períodos, leva a formação de um lodo predominantemente composto por fungos, o que fatalmente levará o sistema ao *bulking*, conforme será discutido mais adiante (FIGUEIREDO e DOMINGUES, 2010).

3.2.1.c – Concentração de nutrientes

Os principais nutrientes em um sistema de lodos ativados são o nitrogênio e o fósforo, que frequentemente são encontrados em grandes quantidades nos efluentes domésticos e, em quantidades insuficientes nos efluentes industriais. A relação entre a matéria orgânica (expressa como DBO_5) e esses nutrientes ($DBO_5:N:P$) é 100:5:1. A importância da observação desse balanço no processo é devido à importância dos nutrientes para a manutenção do metabolismo e formação da estrutura celular dos organismos presentes no sistema (BEAL, MONTEGGIA E GIUSTINA, 2006).

Os elementos principais (macronutrientes) que fazem parte da composição das células dos diferentes tipos de organismos incluem C, H, O, N, P e S.

Grandes quantidades destes elementos são requeridos para a síntese e manutenção de material celular. Outros elementos, classificados como micronutrientes, tais como Ca, Fe, K, Mg, Na, Co, Mn, Mo, Ni e Zn, embora sejam requeridos em menores quantidades, também são essenciais para a manutenção das atividades celulares (MADIGAN *et al.*, 2009b). O elemento Ca é requisitado em grandes quantidades pelas bactérias Gram-positivas para a síntese da parede celular (GERARDI, 2006).

3.2.1.d – Oxigênio dissolvido (OD)

Os níveis de oxigênio dissolvido têm papel determinante na capacidade de um corpo d'água natural manter a vida aquática. Uma adequada provisão de oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção dos processos naturais de auto-depuração em sistemas aquáticos e estações de tratamento de esgotos. Em um sistema de lodos ativados, a concentração de OD é um fator limitante para o adequado crescimento dos microrganismos envolvidos, uma vez que corresponde a um tratamento aeróbio. Para que o tratamento ocorra de maneira eficiente, recomenda-se que a concentração de OD no tanque de aeração varie entre 2 a 3 mg/L. Baixas concentrações de OD impossibilitam a entrada em quantidade suficiente do oxigênio no interior dos flocos, por difusão, o que levará o interior do floco a condições de anaerobiose, onde os gases produzidos farão com que o lodo flutue. Concentrações inferiores a 1mg/L favorecem o crescimento de bactérias filamentosas, que se estendem para fora dos flocos em busca de condições mais favoráveis para seu crescimento, ocasionando o *bulking* filamentoso, conforme será discutido mais adiante (FIGUEIREDO e DOMINGUES, 2010).

3.2.2 – Fatores operacionais:

3.2.2.a – Fator de carga aplicado ao lodo volátil (A/M)

Também conhecido como F/M, termo originário do inglês, “food/microorganisms”, este é um dos parâmetros mais utilizados para o controle do sistema de lodos ativados (CORDI *et al.*, 2008).

Esta relação baseia-se nas quantidades existentes entre matéria orgânica e microrganismos necessários para a degradação da mesma, ou seja, é determinada com base na concentração de sólidos em suspensão voláteis no tanque de aeração, já na composição do fator de carga se usa a concentração de sólidos em suspensão totais.

Tanto baixas quanto elevadas razões de A/M são prejudiciais ao sistema de lodos ativados. No primeiro caso os microrganismos param de crescer e entram na fase de respiração endógena, resultando em um lodo de baixa qualidade. Já no caso da razão A/M elevada, ocorre predominância de organismos filamentosos, fazendo com que haja baixa sedimentabilidade do lodo e provocando o fenômeno conhecido por *bulking* filamentoso (CORDI *et al.*, 2008).

3.2.2.b – Idade do lodo

A idade do lodo é quantificada em relação ao tempo de permanência da biomassa no sistema, geralmente expressa em dias e de acordo com a variante do processo escolhida para o tratamento, podendo variar de 3 a 30 dias.

3.2.2.c – Índice volumétrico do lodo (IVL)

Este parâmetro é indicador das características de decantação dos lodos ativados e está relacionado com a razão A/M. Define-se como sendo o volume

ocupado por um grama (1g) de sólidos presentes no reator, após um período de sedimentação de 30 minutos e é expresso em mL/g (CORDI *et al*, 2008).

Pode-se deduzir que, quando o lodo encontra-se bem formado, os valores do IVL são baixos e vice-versa. Pode se observar que existe uma faixa de relação alimento/microrganismos que conduz a uma melhor floculação biológica e a valores mais baixos de IVL. Pode se observar também que, reduzindo-se a relação alimento/microrganismos há prejuízo para a floculação biológica pela maior incidência de fase endógena e os valores de IVL são mais elevados (PIVELI, 2011).

3.3 – Classificação dos processos de lodos ativados

As diferentes formas de operação combinam diferentes concentrações de biomassa e diferentes tempos de retenção para remover diferentes quantidades de matéria orgânica do efluente (CORDI *et al*, 2008). Deste modo, o sistema de lodos ativados pode ser classificado de acordo com as faixas de operação mostradas na tabela 1.

Tabela 1 – Faixas de operação em sistemas de lodos ativados

Processo	TRH (h)	A/M (dia)	Idade do lodo (θ_c)	SSVTA	Remoção de DBO (%)
<i>Convencional</i>	6 – 8	0,2 – 0,4	4 – 10 dias	1500 – 3000	85 – 90
<i>Aeração prolongada</i>	16 – 24	0,05 – 0,15	18 – 30 dias	3000 – 6000	> 90
<i>Fluxo intermitente (Batelada)</i>	12 – 50	0,05 – 0,13	NA	1500 – 5000	85 – 95%

Adaptado: Von Sperling, 1997

TRH – Tempo de Retenção Hidráulica expresso em dias; **A/M** – Relação Alimento/Microrganismos – (kg DBO/dia) / (kg SSVTA. V); **SSVTA** – Sólidos Suspensos Voláteis no Tanque de Aeração; **V** – Volume

3.4 – Microbiota do sistema de lodos ativados

O sistema de lodos ativados apresenta uma diversificada e característica população de microrganismos, frequentemente composta por bactérias, protozoários e micrometazoários. Em determinadas condições também podemos observar a presença de fungos e algas.

As espécies de microrganismos que dominam um sistema de lodos ativados dependem das condições ambientais, do processo, do modo de operação da estação, além das características do efluente (GERARDI, 2006).

3.4.1 – Bactérias

As bactérias são organismos unicelulares, procariontes, podendo ser encontradas isoladas ou em colônias, apresentando-se na forma esférica, de bastão ou espiralada. A maioria das bactérias apresenta tamanho inferior a 15µm (MADIGAN *et al.*, 2009c). Entretanto, algumas podem se agrupar em filamentos que apresentam centenas de micrômetros de comprimento (FIGUEIREDO e DOMINGUES, 2010).

A maior parte das bactérias encontradas nos sistemas de lodos ativados corresponde à bastonetes gram negativos, embora cocos gram negativos também possam ser encontrados. Os cocos gram negativos, em geral, estão presentes em sistemas com deficiência na remoção de fósforo (BOND *et al.*, 1999). Entre os gêneros encontrados, podemos destacar o *Tetracoccus* (BLACKALL *et al.*, 1997) e o *Amaricoccus* (MASZENAN *et al.*, 1997).

As bactérias são os microrganismos de maior importância numérica em lodos ativados, sendo as heterotróficas as predominantes no sistema. As bactérias heterotróficas obtêm energia a partir de matéria orgânica carbonácea no esgoto afluente para a síntese de novas células. Ao mesmo tempo, a matéria

orgânica é convertida em compostos como o dióxido de carbono e água (USEPA,1987).

As bactérias autotróficas nitrificantes representam uma pequena percentagem da população total de microrganismos em lodos ativados e apresentam uma menor taxa de reprodução quando comparadas às heterotróficas. Os gêneros *Nitrobacter* e *Nitrossomonas* são responsáveis pela conversão de amônia em nitrato em um sistema de lodos ativados (USEPA, 1987).

As bactérias encontradas no sistema de lodos ativados são classificadas como filamentosas ou não filamentosas. Entre as bactérias não filamentosas, os gêneros mais frequentemente encontrados são: *Bacillus*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Citromonas*, *Zooglea*, entre outros (BITTON, 2005a).

A bactéria *Zooglea ramigera* (Fig. 3) apresenta uma cápsula de consistência gelatinosa envolvendo suas células. Quando são encontradas em grandes quantidades, levam a formação de flocos volumosos de lodo, caracterizados por apresentarem baixa sedimentabilidade, acarretando um problema denominado intumescimento não filamentosos do lodo ou *zooglear bulking* (FIGUEIREDO e DOMINGUES, 2010).

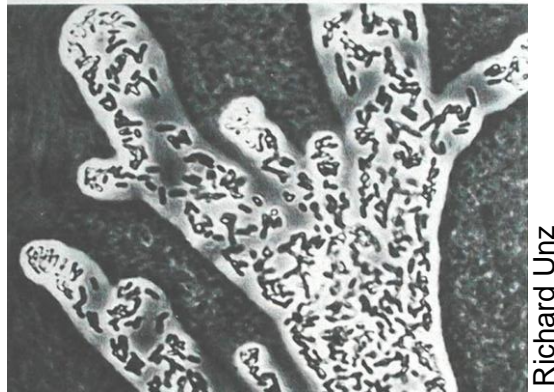


Figura 3 – Imagem de microscopia óptica mostrando células da bactéria *Zooglia ramigera* no interior de uma cápsula polissacarídica.

As bactérias filamentosas apresentam grande importância no sistema de lodos ativados, pois além de apresentarem grande capacidade de depuração da matéria orgânica, o que contribui para a produção de um efluente final de boa qualidade, são responsáveis pela formação da macroestrutura dos flocos, como será descrito mais a diante. Entretanto, seu crescimento deve ser controlado, uma vez que em grandes quantidades, comprometem a sedimentação do lodo, levando ao fenômeno denominado intumescimento filamentoso do lodo, que será discutido posteriormente. Entre as bactérias filamentosas encontradas com maior frequência, podemos destacar os gêneros *Phaerotillus*, *Thithrix*, *Beggiatoa*, *Nocardia*, *Microthrix*, entre outros (FIGUEIREDO e DOMINGUES, 2010).

Embora as bactérias sejam as principais responsáveis pela depuração da matéria carbonácea e pela estruturação dos flocos, outros componentes da microfauna (protozoários e micrometazoários) apresentam um importante papel na manutenção de uma comunidade bacteriana equilibrada (BENTO *et al*, 2005).

3.4.1.a – Fases do crescimento bacteriano

O crescimento de microrganismos deve ser discutido em termos de variação de massa em função do tempo. De acordo com Vazollér (1989), Uma

cultura bacteriana crescendo em condições ótimas apresenta quatro fases, conforme demonstrado na figura 4.

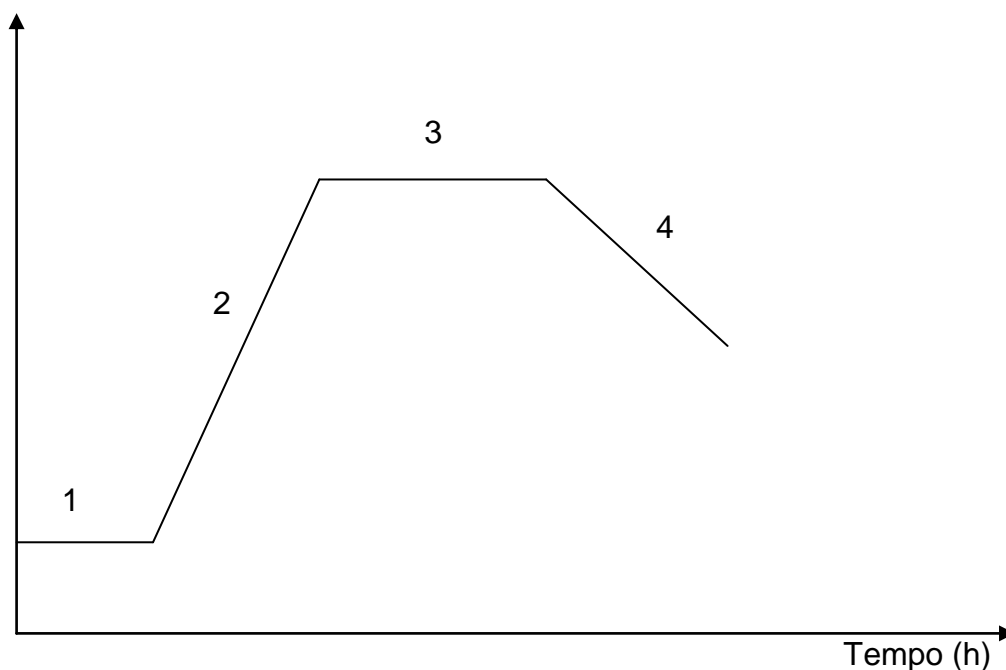


Figura 4 – Curva de crescimento bacteriano

1. Fase de Aclimação (fase lag): não ocorre aumento do número de microrganismos, nesta etapa eles elaboram o arsenal enzimático necessário ao consumo de substratos. A velocidade de crescimento é nula;
2. Fase Log, ou Exponencial: há um excesso de alimento em torno dos microrganismos, propiciando um crescimento com velocidade máxima;
3. Fase Estacionária: a velocidade volta a ser nula, devido ao esgotamento dos substratos ou ao acúmulo de substâncias tóxicas em níveis incompatíveis com o desenvolvimento microbiano. Nesta fase há um equilíbrio entre as velocidades de crescimento e morte celular;

4. Fase de Declínio ou Endógena: nesta fase a concentração de substrato disponível é mínima, causando a diminuição do número de microrganismos. Durante esta etapa ocorre o fenômeno conhecido como 'lise' no qual os nutrientes remanescentes nas células mortas ficam disponíveis para as células vivas.

Nas fases estacionária e endógena, devido à escassez de nutrientes, as células consomem suas reservas protoplasmáticas. No sistema de lodos ativados de fluxo contínuo é possível a observação das quatro fases de crescimento no interior do reator (VAZOLLÉR, 1989).

3.4.2 – Fungos

Os fungos não são encontrados com frequência em sistemas de lodos ativados. Entretanto, sob certas condições ambientais tais como pH ácido e baixa concentração de nitrogênio, por exemplo, podem competir com sucesso com as bactérias. São tão eficientes quanto as bactérias na estabilização da matéria orgânica. Além disso, determinadas espécies de fungos são capazes de oxidar amônia a nitrito, e em nitrato (USEPA, 1987). Isto sugere que os fungos poderiam desempenhar um papel eficiente na remoção de nitrogênio de águas residuais, sob determinadas condições. Quando comparados às bactérias, os fungos poderiam oferecer determinadas vantagens ao sistema, uma vez que são capazes de realizar nitrificação em uma única etapa, além de serem mais resistentes a determinados compostos tóxicos (BITTON, 2005a).

Embora o processo de lodo ativado não ofereça condições apropriadas para o crescimento de fungos, alguns filamentos podem ser observados nos flocos de lodo, entre os quais podemos destacar os gêneros *Geotrichum*,

Penicillium, *Cephalosporium*, *Cladosporium* e *Alternaria*. Por se tratarem de organismos filamentosos, o crescimento abundante, embora promova uma eficiente depuração da matéria orgânica, acarreta problemas na sedimentação do lodo, levando o sistema ao fenômeno de *bulking* (BITTON, 2005a).

3.4.3 – Algas

Embora o sistema de lodos ativados não ofereça um ambiente adequado para o crescimento de algas devido à turbidez do meio e, conseqüentemente, à ausência de luz, eventualmente alguns grupos podem ser encontrados. Em geral são provenientes de infiltração de águas pluviais ou naturais, sendo que a turbidez do meio não permite seu desenvolvimento e sua contribuição para o sistema não é significativa. Entre os grupos encontrados, podemos destacar:

- a) Clorofíceas: correspondem a um grupo de algas de coloração verde, podendo se apresentar na forma unicelular ou filamentosa. Os gêneros mais encontrados nas estações de tratamento são: *Chlorella*, *Coelastrum*, *Volvox* e *Stigeoclonium*;
- b) Diatomáceas: algas unicelulares que apresentam uma parede celular complexa, composta por pectina e sílica, formando duas valvas que se encaixam. Os diferentes padrões das paredes são utilizados como ferramentas de identificação destes organismos. Frequentemente apresentam coloração parda ou dourada. Entre os gêneros que podem ser encontrados no sistema de lodos ativados, estão o *Navicula*, *Nitzschia* e *Diatoma* (FIGUEIREDO e DOMINGUES, 2010).

3.4.4 – Protozoários

Os protozoários são organismos eucariontes, unicelulares, heterotróficos, sendo a maioria das espécies aeróbia. Entretanto, algumas espécies apresentam metabolismo anaeróbio ou facultativo (NUNES, 2010). No sistema de lodos ativados apresentam um importante papel no controle das populações de bactérias, uma vez que são os principais predadores das mesmas (BITTON, 2005a).

Através da predação da maior parte das bactérias dispersas na fração líquida, e ainda de parte dos seus agregados, os protozoários melhoram a qualidade da água. Na ausência dos mesmos, os efluentes são caracterizados por elevada DBO e grande turbidez. Também se alimentam de outros protozoários e de matéria orgânica particulada e dissolvida (NICOLAU *et al.*, 2005).

São classificados em função dos mecanismos que utilizam para locomoção e obtenção de alimentos.

3.4.4.a – Ciliados

Protozoários dotados de estruturas denominadas cílios, utilizadas para locomoção e captura de nutrientes. São encontrados em uma grande diversidade de formas e tamanhos. Os cílios, em geral, são curtos e numerosos, sendo projetados a partir da superfície da célula (HICKMAN, ROBERTS e LARSON, 2001a). No sistema de lodos ativados podem ser agrupados em:

- a. Livre natantes: apresentam os cílios distribuídos de maneira uniforme ao longo do corpo celular e permanecem em suspensão no efluente, nadando livremente entre os flocos de lodo. Os gêneros

mais importantes encontrados neste grupo são: *Coleps*, *Colpidium*, *Blefarisma*, *Paramecium*, *Litonotus*, *Trachelophyllum* e *Spirostomum*, entre outros (BITTON, 2005a) (Fig. 5).

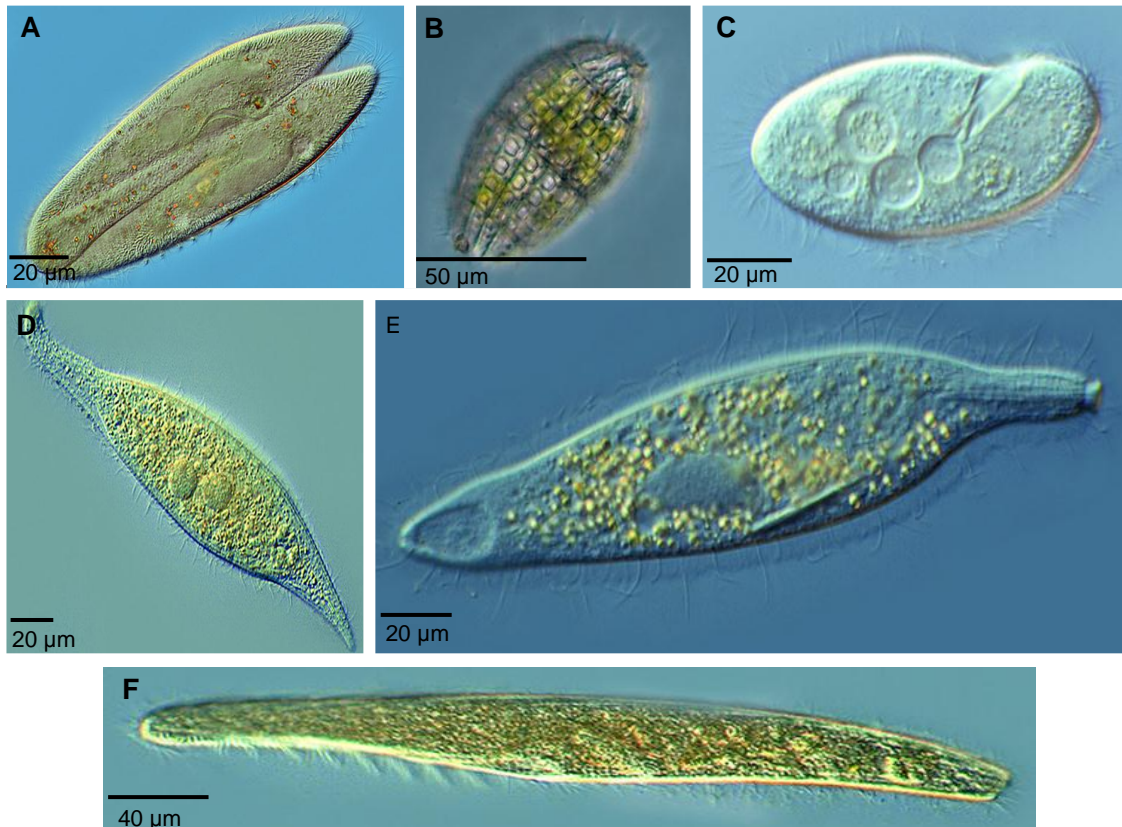


Figura 5 – Microfotografia óptica de protozoários livre natantes. (A) *Paramecium* sp; (B) *Coleps* sp; (C) *Colpidium* sp; (D) *Litonotus* sp; (E) *Trachelophyllum* sp; (F) *Spirostomum* sp.

Disponível em <http://www.flickr.com/photos/microagua/with/5209062767/>

- b. Predadores de flocos – apresentam o corpo celular achatado dorsoventralmente, com os cílios distribuídos principalmente na região ventral da célula. Em geral são encontrados sobre os flocos de lodo, de onde obtêm o alimento através dos batimentos ciliares

realizados sobre o sedimento (FIGUEIREDO e DOMINGUES, 2010). Os gêneros mais frequentemente encontrados em um sistema de lodos ativados são: *Aspidisca*, *Euplotes*, *Stylonychia*, *Chilodonella* e *Trochilia* (Fig. 6) (FIGUEIREDO e DOMINGUES, 2010)

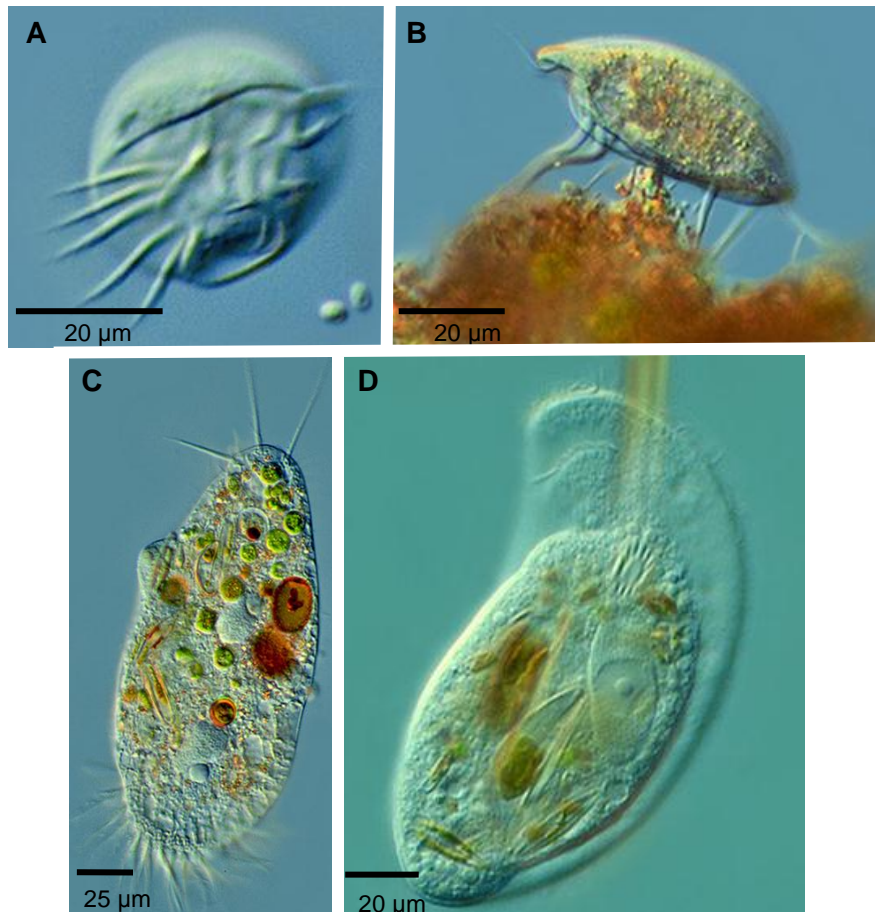


Figura 6 – Microfotografia óptica de protozoários predadores de flocos. (A) *Aspidisca* sp; (B) *Euplotes* sp sobre um floco de lodo biológico; (C) *Stylonychia* sp; (D) *Chilodonella* sp.

Disponível em <http://www.flickr.com/photos/microagua/with/5209062767/>

- c. Fixos ou pedunculados: apresentam-se fixos ao substrato através de um pedúnculo e podem ser encontrados isolados ou formando colônias. Os cílios são localizados na extremidade superior, próximo

ao citóstoma e seus movimentos geram uma corrente na água, favorecendo a captura de nutrientes provenientes do meio circundante (HICKMAN, ROBERTS e LARSON, 2001a) (Fig. 7). Os gêneros predominantes são *Vorticella* (por exemplo, *Vorticella convallaria* e *V. microstoma*), *Carchesium*, *Opercularia* e *Epistilys* (BITTON, 2005a). Os pedunculados dos gêneros *Vorticella*, que apresentam crescimento isolado e *Carchesium*, com crescimento colonial, apresentam no interior do pedúnculo uma estrutura denominada mionema, que permite uma rápida contração do mesmo, para que o protozoário possa fugir de predadores (FIGUEIREDO e DOMINGUES, 2010).

Enquanto os ciliados livre natantes e pedunculados competem entre si pela captura de bactérias presentes em suspensão, os predadores de flocos se alimentam de partículas que estão sobre o lodo (MADONI, 1994).

Um sistema com número de ciliados menor do que 10^4 células/L apresenta deficiência no processo de depuração, enquanto plantas de tratamento com números superiores a 10^7 ciliados/L, apresentam uma boa eficiência na remoção da DBO (MADONI, 1994).

Os protozoários predadores de flocos e os pedunculados co-existem em um sistema de lodos ativados, uma vez que apresentam diferentes hábitos alimentares, não competindo entre si. Os ciliados livre natantes são observados em maiores quantidades em fases mais iniciais do processo, enquanto os flocos de lodos ainda não estão abundantes. À medida que os flocos vão se formando, os protozoários pedunculados vão se desenvolvendo mais e, como são mais

eficientes na captura de bactérias em suspensão, competem com os livre natantes, ocasionando uma redução na população dos mesmos (MADONI, 1994).

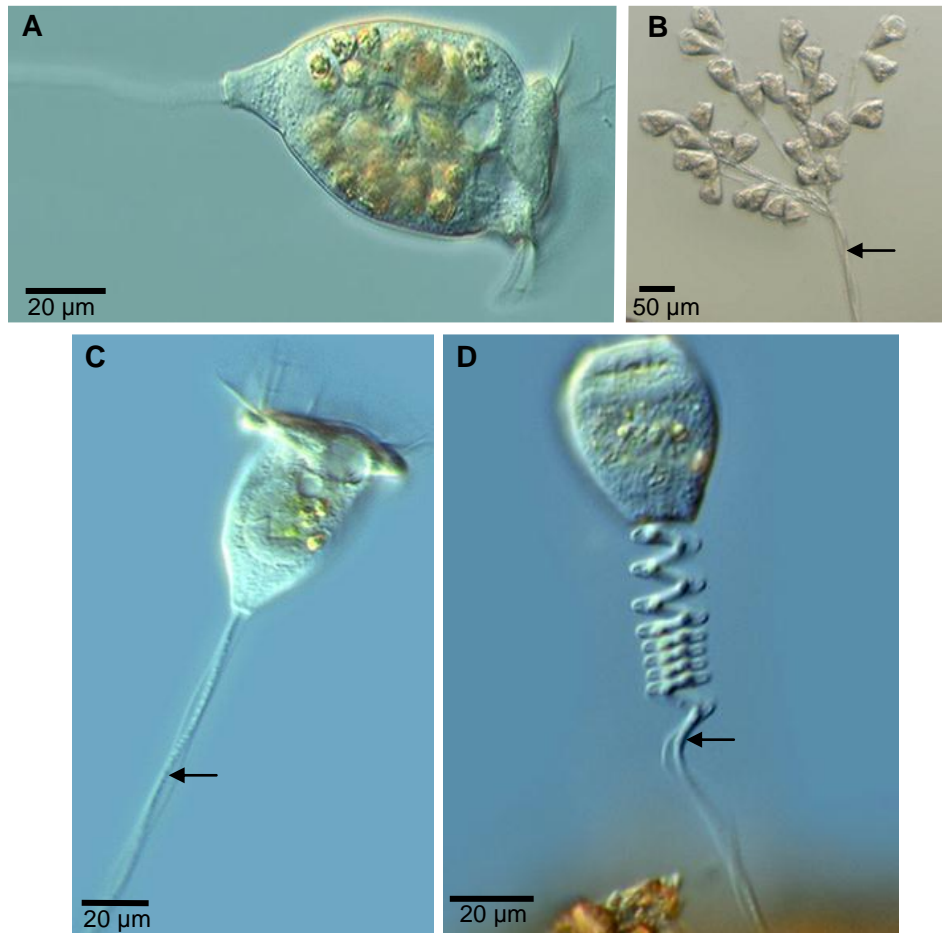


Figura 7 – Microfotografia óptica de protozoários pedunculados. (A) *Epistylis* sp.; (B) *Carchesium* sp.; (C e D) *Vorticella* sp.; (D) *Vorticella* sp com pedúnculo retraído. O mionema pode ser observado no interior do pedúnculo de *Carchesium* e *Vorticella* (setas)

Disponível em <http://www.flickr.com/photos/microagua/with/5209062767/>

Muitas espécies de *Vorticella* ocorrem em lodos ativados de sistemas eficientes, juntamente com *Opercularia*, *Aspidisca* e *Litonotus*, porém, a presença de *Vorticella microstoma* no lodo é comumente associada a sistema de baixa

eficiência. *Aspidisca costata*, presente no lodo, indica boa nitrificação do processo, uma vez que se alimenta de bactérias nitrificadoras. *Paramecium caudatum*, um ciliado livre natante, característico de lodos de sistemas não muito eficientes, às vezes aparece em lodos de sistemas de alta eficiência, porém, sua concentração oscila intensamente (TORTORA, FUNKE E CASE, 2000).

3.4.4.b – Flagelados

Movem-se através de um ou vários flagelos, que são prolongamentos da cutícula formando filamentos longos. São dotados de movimentos ondulatórios e serpenteados, permitindo o deslocamento da célula e a captura de alimento (HICKMAN, ROBERTS e LARSON, 2001a).

Em geral, a presença de protozoários flagelados indica que o efluente final não é de boa qualidade (VAZOLLÉR, 1989).

Alguns gêneros de flagelados importantes encontrados em águas residuais são: *Bodo*, *Anisonema*, *Heteronema*, *Pleuromonas*, *Monosiga* e *Hexamitus* (BITTON, 2005a) (Fig. 8).

3.4.4.c – Rizópodes (amebas)

Movem-se lentamente através de pseudópodes, que são projeções transitórias formadas em qualquer ponto das células. Esse grupo subdivide-se em amebas sem teca, como por exemplo as amebas dos gêneros *Mayorella* e *Saccharomeba* (fig. 9) e amebas com tecas (tecamebas), que são envolvidas por uma carapaça rígida. A carapaça pode ser formada através de partículas secretadas pela própria célula ou adquiridas a partir do meio e podem ser de

natureza calcárea, silicosa ou orgânica (FIGUEIREDO E DOMINGUES, 2010). As tecamebas encontradas em um sistema de lodos ativados são representadas, principalmente, pelos gêneros *Arcella*, *Diffugia* e *Euglypha* (Fig. 9) (MADONI, 1994).

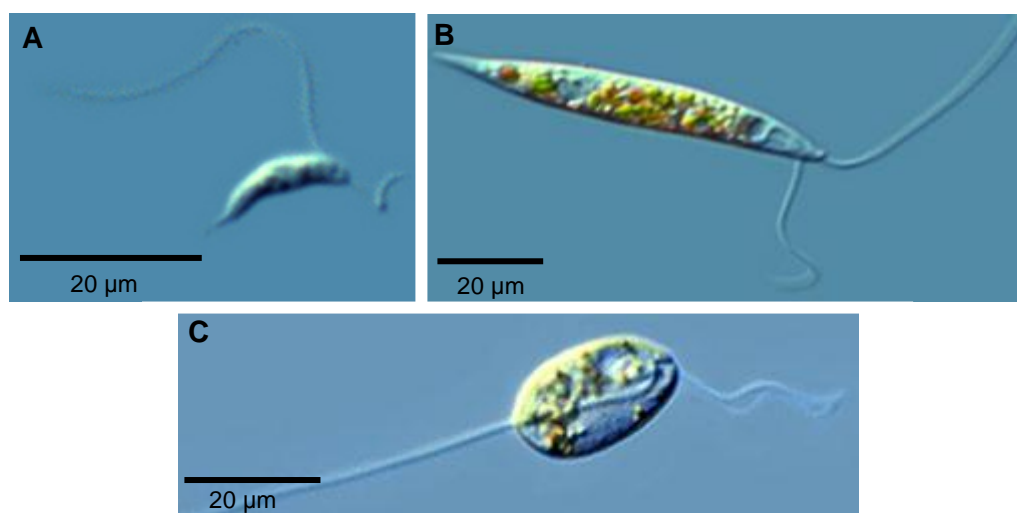


Figura 8 – Microfotografia óptica de protozoários flagelados. (A) *Bodo* sp; (B) *Heteronema* sp; (C) *Anisonema* sp.

Disponível em <http://www.flickr.com/photos/microagua/with/5209062767/>

As amebas sem teca muitas vezes são de difícil visualização em um sistema de lodos ativados, pois além de apresentarem movimentação muito lenta, frequentemente são confundidas com as partículas de lodo às quais se aderem. São frequentemente encontradas em sistemas com alta carga orgânica (FIGUEIREDO e DOMINGUES, 2010).

Em geral, a presença de amebas com teca em sistemas de lodos ativados está relacionada a produção de efluentes de excelente qualidade. São encontradas em plantas de tratamento que apresentam baixa carga, tempo de retenção hidráulica elevado e grande concentração de oxigênio dissolvido. Tais fatores permitem que o processo de nitrificação ocorra de forma eficiente. Devido

ao fato de apresentarem crescimento lento, podem ser encontradas em abundância em sistemas que apresentam idade do lodo elevada (MADONI, 1994).

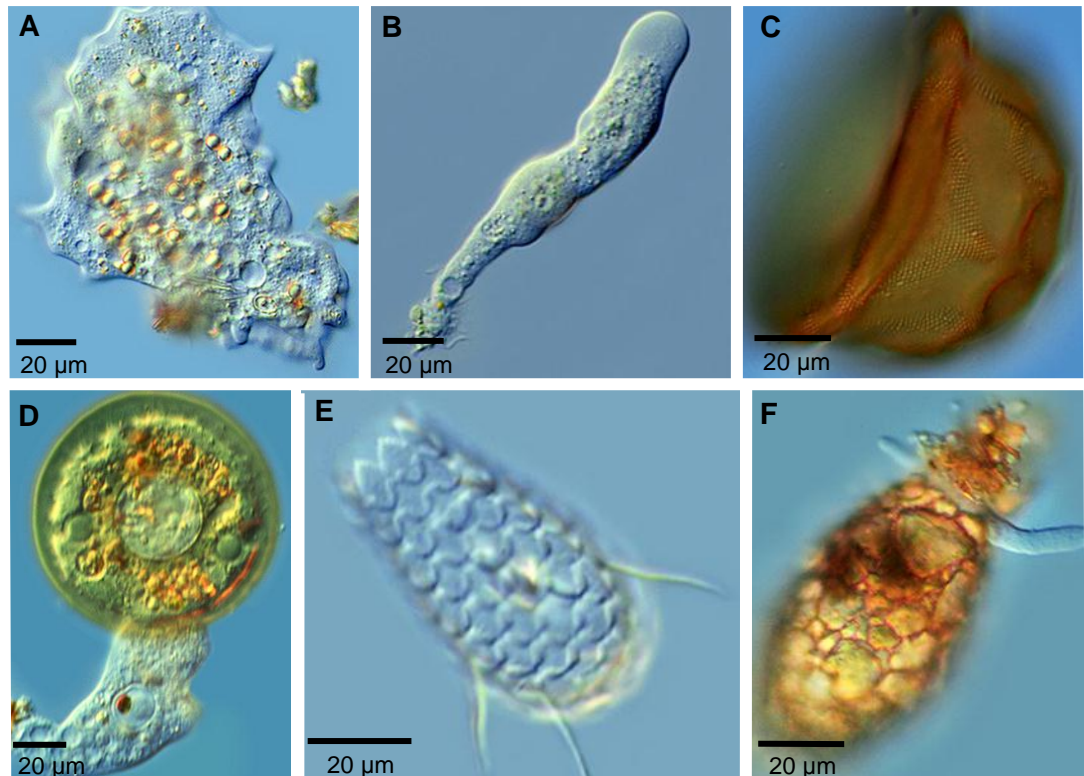


Figura 9 – Microfotografia óptica de protozoários rizópodes. (A – B) amebas sem teca; (C – F) tecamebas; (A) *Mayorella* sp; (B) *Saccharomeba* sp; (C) Teca de *Arcella* sp; (D) *Arcella* sp; (E) *Euglypha* sp; (F) *Diffugia* sp. Disponível em <http://www.flickr.com/photos/microagua/with/5209062767/>

3.4.5 – Micrometazoários

Os micrometazoários são organismos multicelulares microscópicos, pertencentes à diferentes filos. Possuem lenta taxa de crescimento, sendo a maioria composta por predadores de bactérias e protozoários (FIGUEIREDO E DOMINGUES, 1997). Em um sistema de lodos ativados os principais

micrometazoários encontrados são os rotíferos, anelídeos, nematóides e tadígrados.

3.4.5.a – Rotíferos

Estão entre os menores micrometazoários encontrados em um sistema de lodos ativados, podendo atingir o tamanho máximo de 3000 µm, sendo que a maioria das espécies apresenta tamanhos variando entre 100 – 500 µm. Apresentam o corpo alongado, composto por uma região anterior, um tronco e um pé terminal. A região anterior é dotada por uma coroa de cílios que promovem uma movimentação na água, concentrando o alimento na região da boca. (HICKMAN, ROBERTS e LARSON, 2001b). Os cílios também auxiliam na locomoção dos animais por natação. Além de se locomoverem por natação, também podem se deslocar por rastejamento, com o auxílio do pé terminal. Se alimentam de partículas orgânicas presentes em suspensão no lodo ativado ou, no caso das espécies carnívoras, de bactérias, protozoários e outros micrometazoários.

Os rotíferos encontrados em estações de tratamento de águas residuais pertencem aos gêneros *Philodina*, *Habrotrocha*, *Lecane* e *Notommata* (BITTON, 2005a). Na figura 10 podemos observar alguns dos gêneros encontrados em um sistema de lodos ativados.

De acordo com Bitton (2005a), além de contribuírem para a formação dos flocos de lodo, os rotíferos ajudam a remover as bactérias não floculantes, presentes em suspensão no sistema, além de outras partículas, contribuindo para a clarificação do efluente. Também são capazes de ingerir oocistos de *Cryptosporidium*, podendo assim servir como vetores na transmissão do parasita.

Sua presença em estágios avançados do tratamento é possível, pois devido ao fato de apresentarem uma forte atividade ciliar, especialmente quando comparados aos protozoários, conseguem se alimentar mesmo diante de um número reduzido de bactérias em suspensão.

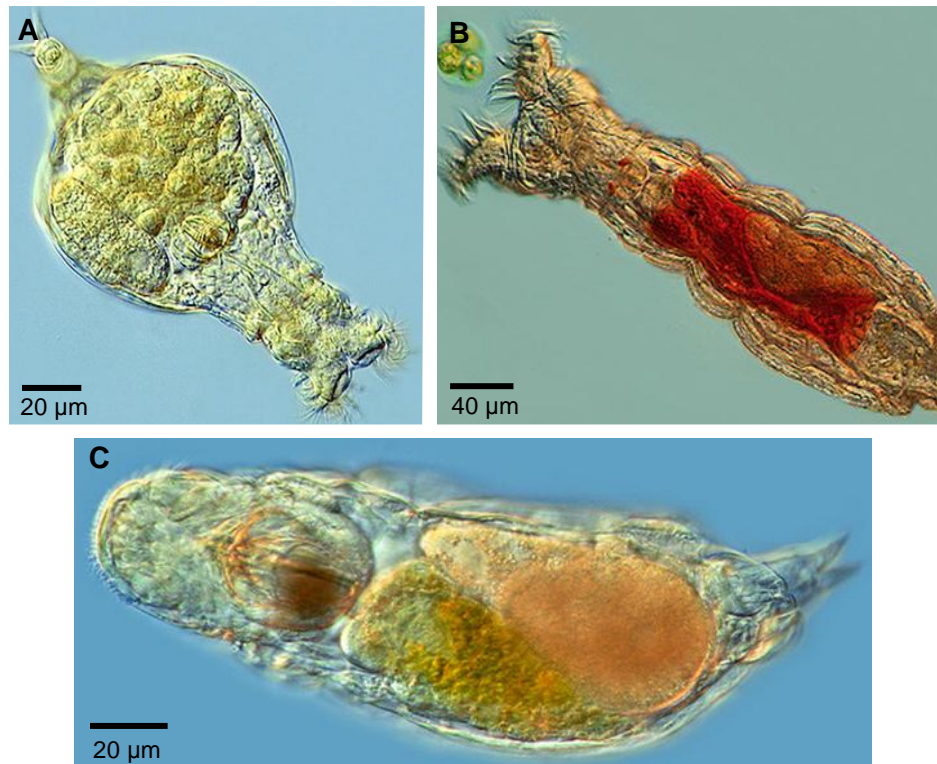


Figura 10 – Microfotografia óptica de rotíferos. (A) *Habrotrocha* sp; (B) *Philodina* sp; (C) *Notommata* sp.
Disponível em <http://www.flickr.com/photos/microagua/with/5209062767/>

3.4.5.b – Nematóides

São metazoários de corpo cilíndrico, alongado e não segmentado, dotados de extremidades progressivamente afiladas (Fig.11). Se locomovem através de contrações rápidas do corpo em forma de “S” e se alimentam de material particulado, protozoários e outros micrometazoários. (HICKMAN, ROBERTS e

LARSON, 2001b) Geralmente são encontrados em sistema de lodos ativados com baixa carga orgânica e com alta idade do lodo, sendo resistentes a extremos de temperatura e baixas concentrações de oxigênio (FIGUEIREDO e DOMINGUES, 2010). O papel dos nematóides como indicadores das condições do processo de lodos ativados não era conhecido, até que em estudo realizado por Bento e cols (2005), esses metazoários, embora pouco frequentes, foram relacionados a uma melhora na qualidade do efluente, no que se refere ao parâmetro DBO (BERANGER, 2009).



Figura 11 - Microfotografia óptica de um nematóide presente em amostra de lodos ativados (Gerardi, 2006).

3.4.5.c – Anelídeos

São animais que apresentam o corpo alongado, cilíndrico e dotado de segmentos denominados anéis ao longo de toda sua extensão. Na lateral de cada segmento são encontrados tufo de cerdas rígidas que auxiliam na locomoção, que se dá através de contrações da musculatura presente nos segmentos do corpo (HICKMAN, ROBERTS e LARSON, 2001c). Os anelídeos são os metazoários menos frequentes em lodos ativados, estando presentes quando há grande concentração de oxigênio no sistema (FIGUEIREDO e DOMINGUES,

2010). Nos lodos ativados são encontrados, principalmente, anelídeos oligoquetas, como por exemplo organismos de gênero *Aelosoma* (Fig. 12a).

A presença da microfauna é um importante indício de funcionamento do processo, sendo um bom indicador biológico. A observação quantitativa e qualitativa da microfauna vem sendo utilizada há anos como controle do processo de lodos ativados (BENTO *et al.*, 2005).

3.4.5.d – Tardígrados

Os tardígrados, também conhecidos como ursos d'água, correspondem à organismos que apresentam menos de 1000 μm de comprimento, com corpo cilíndrico, alongado, não segmentado e dotado de quatro pares de patas contendo de quatro a oito garras em cada (Fig. 12b). Se alimentam de rotíferos, nematóides e outros micrometazoários (HICKMAN, ROBERTS e LARSON, 2001d). Seu papel como indicador das condições de depuração em um sistema de lodos ativados não é bem conhecido, uma vez que são raramente encontrados nos sistemas de tratamento. Entretanto, como são sensíveis à amônia, sua presença pode estar relacionada à ocorrência de nitrificação no sistema (FIGUEIREDO e DOMINGUES, 2010).

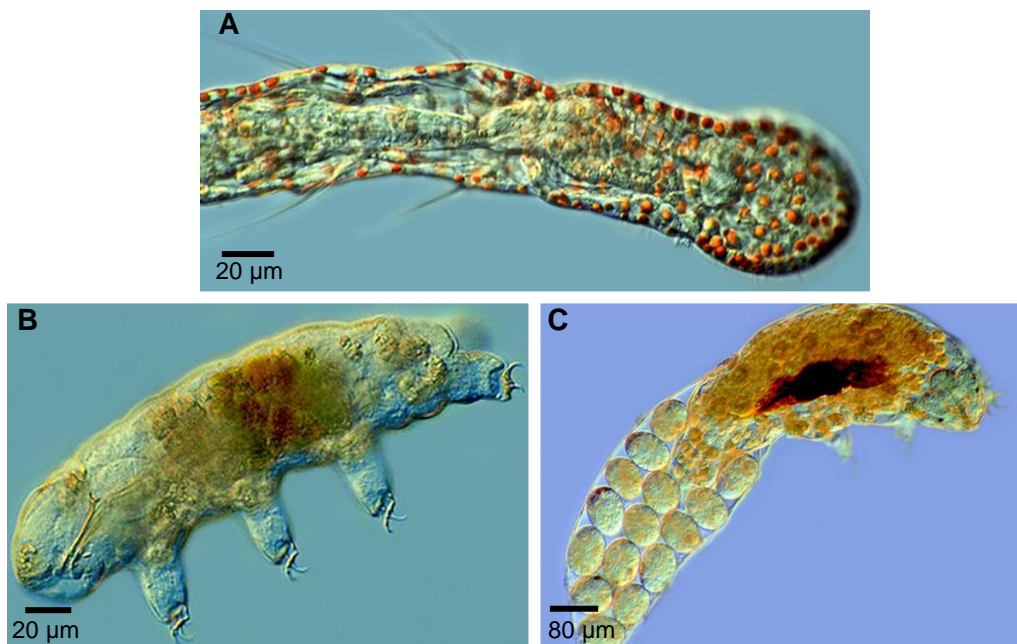


Figura 12 – Microfotografia óptica de micrometazoários encontrados em sistema de lodos ativados. (A) Anelídeo do gênero *Aelosoma*; (B – C) Tardígrado do gênero *Macrobotus*; (C) *Macrobotus* com ovos.

Disponível em <http://www.flickr.com/photos/microagua/with/5209062767/>

3.5 – Fatores que interferem na composição da população microbiana em processos de lodos ativados

- ✓ As constantes cinéticas das várias espécies;
- ✓ A disponibilidade e a natureza do substrato;
- ✓ As condições físico-químicas prevalecentes;
- ✓ A configuração do próprio empreendimento;
- ✓ A resistência à difusão dos substratos nos flocos;
- ✓ As relações bióticas que se estabelecem entre os vários tipos de microrganismos existentes nesses sistemas (NICOLAU *et al.*, 2002).

3.6 – Relação entre a microfauna e as condições operacionais do sistema de lodos ativados:

Algumas espécies de microrganismos encontradas em lodos ativados são consideradas indicadoras das condições de depuração do sistema de tratamento. A microbiota é um indicador do conjunto de parâmetros de lodos ativados, uma vez que sua natureza varia com o nível de depuração, concentração de oxigênio dissolvido e presença de substâncias tóxicas dentro do tanque de aeração (MADONI, DAVOLI e CHIERICI, 1993).

A natureza da microbiota presente é característica da idade do lodo, que é o tempo médio de permanência do lodo no reator. É também característica da saprobicidade, nível de qualidade da água refletido pelas espécies que constituem a comunidade presente de acordo com a matéria orgânica biodegradável, expressa em DBO (VAZOLLÉR, 1989).

A proliferação de diferentes tipos de microrganismos, sucedendo-se uns aos outros, em uma amostra de efluente submetida à constante aeração é consequência da sucessão de alterações químicas e físicas que vão ocorrendo no decurso da estabilização. Desta maneira, o reconhecimento dos grupos predominantes permite avaliar a eficiência do tratamento ou o grau de estabilidade. A tabela 2 mostra alguns microrganismos que podem ser encontrados no sistema de lodos ativados e as características do processo a eles associadas (VAZOLLÉR, 1989).

Tabela 2 – Microrganismos indicadores das condições de depuração

Microrganismos	Características do Processo
Predominância de flagelados e rizópodes	Lodo jovem, característico de início de operação ou idade do lodo baixa.
Predominância de flagelados	Deficiência de aeração, má depuração e sobrecarga orgânica.
Predominância de ciliados pedunculados e livres	Boas condições de depuração
Presença de <i>Arcella</i> (rizópode com teca)	Boa depuração
Presença de <i>Aspidisca costata</i> (ciliado predador de floco)	Nitrificação
Presença de <i>Trachelophyllum</i> (ciliado livre)	Idade do lodo alta
Presença de <i>Vorticella microstoma</i> (ciliado pedunculado) e baixa concentração de ciliados livres	Efluente de má qualidade
Predominância de anelídeos do gênero <i>Aelosoma</i>	Excesso de oxigênio dissolvido
Predominância de filamentosos	Intumescimento do lodo ou <i>bulking</i> filamentoso

Fonte: Vazollér, 1989.

De acordo com Maciel (2002), há diversas situações onde é possível relacionar a presença dos diferentes grupos de protozoários, com as características de operação da estação de tratamento por lodos ativados, conforme mostrado na tabela 3.

Tabela 3 – relação entre os diferentes grupos de protozoários e as condições de operação do sistema de lodos ativados

Protozoários	Características do sistema
Ciliados fixos presentes em números apreciáveis; Ciliados predadores de flocos presentes em pequenas quantidades; ausência de flagelados.	Lodo de boa qualidade; baixa DQO do efluente. Geralmente ocorre nitrificação.
Todos os protozoários estão ativos; grande número de flagelados; desfloculação do lodo, com o aumento de bactérias livres.	O OD é baixo no tanque de aeração, devido ao tempo de residência excessivo, ou ao choque de carga orgânica.
Ciliados fixos inativos; presença de ciliados predadores de flocos e livre natantes, na maioria ativos.	Choque de carga tóxica (possível aumento da concentração de OD devido a taxa metabólica reduzida das bactérias). Possível perda ou redução da nitrificação.
Todos os protozoários inativos ou ausentes, exceto os flagelados, cujo número aumenta apreciavelmente.	Grave carga de choque. Define a perda de nitrificação. A concentração de OD aumenta. Efluente com grande quantidade de sólidos suspensos.
Todos os protozoários inativos ou ausentes, incluindo flagelados.	Carga de choque extremamente severa, acarretando a morte das bactérias, causando um efluente com concentrações altas de sólidos suspensos e uma perda total de nitrificação.
Diminuição no número dos ciliados livres; número de ciliados fixos aumenta acompanhado por um aumento gradual de flagelados.	Razão A/M apresentando variações crônicas resultando, inicialmente, na perda da nitrificação, seguida de uma eventual perda da capacidade de tratamento.

Fonte: Maciel, 2002.

3.7 - Os flocos biológicos

Grande número de bactérias possui um envoltório ou bainha de consistência gelatinosa, constituída de polissacarídeos, envolvendo cada uma de suas células. Sendo essa bainha embebível e parcialmente solúvel em água

pode, algumas vezes, aumentar muito de espessura, ocorrendo junção entre as bainhas de duas ou mais bactérias contíguas, chegando a constituir verdadeiras massas gelatinosas, contendo bactérias no seu interior (MACIEL, 2002). A bactéria *Zooglea ramigera* é caracterizada por possuir uma matriz gelatinosa (Fig. 3) e, de acordo com a teoria clássica, ela seria o elemento responsável pela floculação do material em suspensão no efluente, através da agregação de partículas sólidas ao muco. Entretanto, dependendo das condições do efluente a ser tratado, já foi observado que tais bactérias podem estar presentes em pequenas quantidades ou nem estarem presentes, o que não impede a formação dos flocos. Tal fato deu origem a outras teorias para o entendimento de como os flocos são formados (FIGUEIREDO e DOMINGUES, 2010).

A teoria para explicar a formação dos flocos ainda não foi bem esclarecida, mas, atualmente, acredita-se que os flocos sejam formados pela aglutinação das bactérias, em decorrência do resultado das forças físicas de atração que ocorrem entre as mesmas. Além disso, a formação dos flocos está diretamente relacionada à disponibilidade de nutrientes no efluente. Diante da abundância de nutrientes no sistema, as bactérias apresentam-se dotadas de grande atividade locomotora, conseguindo, desta maneira, escapar da floculação, uma vez que a energia de locomoção é contraposta às forças de van der Waals que tendem a aproximá-las. Por outro lado, já foi observado que as bactérias presentes nos flocos biológicos apresentam-se imóveis e com o metabolismo reduzido. Desta forma, não é observado o processo de floculação enquanto as bactérias se encontram na fase exponencial de crescimento, onde o metabolismo é ativo. A formação dos flocos é observada durante as fases estacionária e endógena de

crescimento, onde constituintes celulares excretados favorecem a floculação (FIGUEIREDO e DOMINGUES, 2010; NUNES, 2010).

O floco do lodo ativado é composto por partículas orgânicas não digeridas, por uma fração inorgânica, células mortas e uma grande variedade de microrganismos vivos. Constituem um microssistema formado por bactérias, fungos, protozoários e micrometazoários, tendo sua estrutura dividida em dois níveis: macroestrutura e microestrutura. A macroestrutura é responsável pela estruturação do floco, sendo formada principalmente por bactérias filamentosas. A estrutura formada permite que o floco apresente tamanho e consistência ideais, apesar do ambiente turbulento no interior do tanque de aeração (FIGUEIREDO e DOMINGUES, 2010). A microestrutura é constituída por bactérias formadoras do floco, bem como protozoários, micrometazoários e fungos, que manterão o equilíbrio do floco (BENTO *et al*, 2005).

O conjunto de bactérias denominadas “formadoras de flocos” pertencem essencialmente aos gêneros *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Citromonas*, *Flavobacterium*, *Bacillus* e *Zooglea*. As bactérias filamentosas mais frequentemente encontradas no sistema de lodos ativados são: *Sphaerotilus natans*, *Beggiatoa* sp., *Nostocoida limicola*, *Nocardia* sp, *Microthrix parvicella*, entre outras (FIGUEIREDO E DOMINGUES, 2010).

A manutenção da estrutura é assegurada pelo crescimento de formas filamentosas, entre as quais encontram-se fungos, actinomicetos e bactérias (BITTON, 2005a).

A formação do floco compreende, assim, dois processos:

- a. A biofloculação de bactérias a partir das quais se formam os pequenos agregados que englobam também partículas inorgânicas; o fenômeno é

possível graças à energia da turbulência e aos exopolissacarídeos secretados pelos diversos tipos de bactérias;

- b. Formação de um “esqueleto filamentoso” através do qual os flocos aumentam as suas dimensões e resistem às agressões mecânicas (MELCHIOR *et al*, 2003).

Apesar das bactérias filamentosas terem grande importância na estrutura do floco e na degradação da matéria orgânica, seu crescimento deve ser controlado, pois quando ocorrem em excesso não permitem a sedimentação do lodo no decantador secundário, resultando no fenômeno de intumescimento filamentoso do lodo ou bulking (BITTON, 2005b).

O estudo dos flocos consiste na observação microscópica de sua forma, tamanho e classificação. Os flocos biológicos apresentam características adequadas para uma boa tratabilidade do efluente e sedimentação, quando apresentam um equilíbrio entre o número de bactérias filamentosas e formadoras de flocos; flocos grandes, firmes e com aspecto compacto; poucos filamentos se projetando para fora do floco, o que não interfere na sedimentação do lodo. Neste caso, o sobrenadante apresenta um aspecto límpido (Figura 13A).

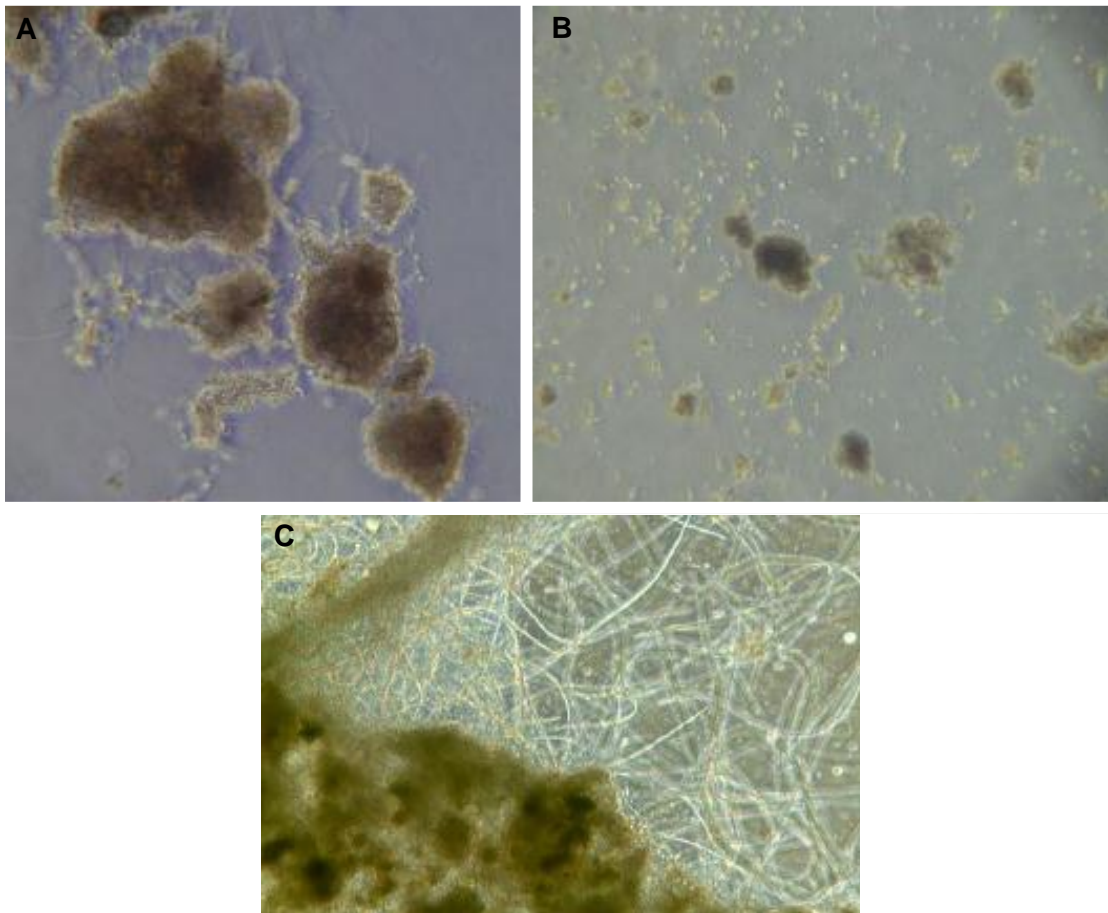


Figura 13 – Microfotografia óptica de flocos de lodo ativado. (A) Flocos ideais; (B) Flocos *pin point*; (C) Flocos com excesso de filamentos (PIEDADE, 2010).

Em determinadas situações, podemos encontrar flocos com características inadequadas, que são caracterizados pela ausência / quase ausência ou pela presença excessiva de organismos filamentosos. Quando apenas bactérias formadoras de flocos estão presentes, os flocos são geralmente pequenos (cerca de 75 μm), redondos e compactos. Neste caso, temos os chamados flocos “Pin-point” (Figura 13B), que ficam dispersos na fase líquida e o sobrenadante se apresenta turvo (PIEDADE, 2010).

Por outro lado, quando há grande predominância de bactérias filamentosas, os flocos se apresentam grandes, irregulares e fracos. O excesso de bactérias filamentosas que se projetam para fora dos flocos, interfere no

processo de sedimentação e compactação do lodo, levando ao chamado *Bulking* filamentoso, que é um problema complexo que atinge de 20 a 40% das estações de tratamento (BITTON, 2005b) (Figura 13C).

3.8 – Intumescimento do lodo ou *Bulking* filamentoso

O intumescimento do lodo ocorre quando há um crescimento excessivo de organismos filamentosos, tais como bactérias e fungos, e é caracterizado por um lodo de consistência pouco compacta e com problemas de sedimentação. A presença de bactérias filamentosas é fundamental para a formação dos flocos biológicos. Entretanto, sua presença deve permanecer em equilíbrio para que o sistema apresente um lodo de boa qualidade e sedimentabilidade. A bactéria *Zooglea ramigera* produz uma bainha de polissacarídeos amorfa, de consistência gelatinosa, que envolve suas células (Fig. 3). Embora não seja classificada como filamentosa, seu crescimento excessivo leva a formação de um lodo com flocos volumosos e baixa capacidade de sedimentação (FIGUEIREDO e DOMINGUES, 2010). A não sedimentação do lodo leva à perda excessiva de sólidos no efluente final.

Entre as condições do efluente que levam o sistema ao *bulking*, podemos destacar a baixa concentração de oxigênio dissolvido; uma baixa relação A/M; presença de sulfeto; deficiência de nutrientes; baixo pH (FIGUEIREDO e DOMINGUES, 2010). Os microrganismos filamentosos relacionados ao *bulking* variam em função das condições encontradas no sistema, conforme apresentado na tabela 4. A avaliação e identificação dos microrganismos envolvidos na formação do *bulking* podem auxiliar no controle do problema.

Tabela 4 – Prováveis causas do *bulking* e organismos filamentosos frequentemente envolvidos.

Condições que levam ao <i>bulking</i>	Organismos filamentosos envolvidos
Baixo oxigênio dissolvido	Tipo 1701, <i>Sphaerotilus natans</i> , <i>Haliscomenobacter hydrossis</i>
Baixa A/M	<i>Microthrix parvicella</i> , <i>H. hydrossis</i> , <i>Nocardia</i> sp., Tipo 021N, Tipo 0041, Tipo 0675, Tipo 0092, Tipo 0581, Tipo 0961, Tipo 0803
Presença de sulfeto	<i>Thiothrix</i> sp., <i>Beggiatoa</i> sp., Tipo 021N
Deficiência nutricional	<i>Thiothrix</i> , Tipo 021N, <i>S. natans</i>
Baixo pH	Fungos

Fonte: Figueiredo e Domingues, 2010.

4 – DISCUSSÃO

Tratamento de efluentes pelo método de lodos ativados tem sido utilizado desde a década de 30 e mesmo com o conhecimento científico adquirido ao longo do tempo, ainda hoje, observamos problemas nas plantas que operam esse método.

A legislação vigente, federal e estadual, determina as condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos de água após o devido tratamento. Para se alcançar os objetivos e valores impostos pela legislação, as estações de tratamento de esgotos realizam análises físico-químicas do efluente. Segundo Hoffman *et al* (2001), Uma das técnicas mais eficientes para se diagnosticar as condições depurativas no reator e estimar a qualidade do efluente produzido em sistemas aeróbios de tratamento de esgotos é a utilização da imagem microscópica. O processo de lodos ativados é dependente de uma diversidade microbiológica equilibrada, portanto, a análise microscópica do lodo deveria integrar o programa padrão de análises em estações de tratamento que se servem da modalidade lodo ativado, complementando, dessa forma, as análises físico-químicas para o controle do processo, de forma a integrar as diversas variáveis que interagem no sistema e potencializar a importância econômica e ambiental da diversidade microbiológica que muito contribui direta e indiretamente para a sustentabilidade do meio ambiente.

5- CONCLUSÃO

O conhecimento sobre a diversidade microbiológica em um sistema de tratamento de esgotos que emprega o processo de lodos ativados e a relação entre essa população e as condições operacionais da estação, assim como a quantidade e a qualidade do efluente que chega ao reator biológico é de fundamental importância, uma vez que cada microrganismo presente desempenha função específica no sistema, servindo como bioindicadores da eficiência do mesmo.

Segundo BENTO e cols (2005) a caracterização microscópica da comunidade de microrganismos presentes em sistemas de lodo ativado possui grande importância para a avaliação das condições das ETE, mas o uso de tal ferramenta ainda é incipiente no Brasil, e os resultados são, em geral, subutilizados.

Além da caracterização microscópica, é vital para a manutenção de uma população microbiológica equilibrada, o monitoramento regular de parâmetros físico-químicos, por exemplo: pH, temperatura, oxigênio dissolvido e toxicidade do efluente. A relação alimento/microrganismos é outro parâmetro importante, a fim de que haja quantidade suficiente de alimento para manter o crescimento dos microrganismos, resultando em um lodo de boa sedimentabilidade e conseqüentemente um sistema com boa capacidade depurativa.

Embora, no Brasil, a análise microscópica do lodo ativado não integre o monitoramento periódico das ETEs, temos competência e condições técnicas para isso.

6 - Referências Bibliográficas:

ACTIVATED SLUDGE, Manual of Practice 9 (Water Environment Association – USEPA, 1987). **Microorganisms And Their Role in the Activated Sludge Process.** Washington, DC., 1987. Disponível em: <http://www.college.ucla.edu/webproject/micro7/studentprojects7/Rader/asludge2.htm> acessado em 08/03/11

BEAL, L. L.; MONTEGGIA, L.O.; GIUSTINA, S.V.D. Otimização de uma estação de tratamento de efluentes de uma indústria de embalagens de papel. **Eng. Sanit. Ambient.** v.11, n.3, p. 283-289, Jul/Set 2006.

BENTO, A.P. et al., Caracterização da Microfauna em Estação de Tratamento de Esgotos do Tipo Lodos Ativados: um Instrumento de Avaliação e Controle do Processo. **Eng. Sanit. Ambient.** v.10, n.4, p. 329–338, Out/Dez 2005.

BERANGER, A.M. **Avaliação da Influência do pH na Respiração de Lodos Ativados**, 2009, 216 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Rio de Janeiro, 2009.

BITTON, G. **Activated Sludge Process.** In: BITTON, G. Wastewater Microbiology, 3rd ed, John Wiley & Sons, Inc., Publication, p. 225-257, 2005a.

BITTON, G. **Bulking and foaming in Activated Sludge Plants.** In: BITTON, G. Wastewater Microbiology, 3rd ed, John Wiley & Sons, Inc., Publication, p. 260-263, 2005b.

BLACKALL R.S. et al. The characterization and description of representatives of 'G' bacteria from activated sludge plants. **Lett. Appl. Microbiol.** vol.25, n.1, p.63-69, Jul 1997.

BOND P.L. et al. Identification of some of the major groups of bacteria in efficient and nonefficient biological phosphorus removal activated sludge systems. **Appl. Environ. Microbiol.** vol.65, n.9, p.4077-4084, Set 1999.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução Nº 357**, de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. D.O.U. Diário Oficial da União, n.53, de 18 de março de 2005, Seção 1, p.58-63.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**, 1988. Art. 196, Seção II, da Saúde. Diário Oficial da União nº 191-A. Brasília, DF, 05 de Outubro de 1988.

BRASIL. Instituto Nacional de Geografia e Estatística – IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**, 2008. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1691&id_pagina=1

BRASIL. **Lei Nº11.445**, de 05 de Janeiro de 2007, regulamentada pelo Decreto Nº 7.217, de 21 de Junho de 2010. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências. Brasília, DF, 21 de Junho de 2010.

CASTRO, D.J. A; SCHREIBER, C. Qualidade da Água. Fundação Agência de Água do Vale do Itajaí, 2010. Disponível em: http://www.comiteitajai.org.br:8080/bitstream/123456789/961/9/9_Qualidade_de_a_gua.pdf acessado em 02/04/2011

COPASA – ÁGUAS MINERAIS DE MINAS S/A -. Esgotamento Sanitário, Processos de Tratamento. MG, 2011. Disponível em: <http://www.copasa.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=34> acessado em 26/05/11.

CORDI, L. et al., Montagem, Partida e Operação de um Sistema de Lodos Ativados Para o Tratamento de Efluentes: parâmetros Físico-Químicos e Biológicos. **Rev. Eng. Ambient. – Espírito Santo do Pinhal**, v.5, n.1, p. 97-115, Jan/Abr 2008.

FARIA, C. Tratamento de Esgotos. COPASA/CETESB, 2007. Disponível em: <http://www.infoescola.com/geografia/tratamento-de-esgoto/> acessado em 26/05/11.

FIGUEIREDO, M. G.; DOMINGUES, V. B. **Microbiologia de Lodos Ativados**. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo: CETESB, 48 p. 1997.

FIGUEIREDO M.G.; DOMINGUES V.B.R. **Microbiologia de lodos ativados**. Cadernos da gestão do conhecimento, CETESB, 2010.

GERARDI, M.H. **Wastewater Bacteria**. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2006.

HICKHMAN, C.P.JR.; ROBERTS, L.S.; LARSON, A. **Protozoan Groups**. In: HICKHMAN, C.P.JR.; ROBERTS, L.S.; LARSON, A. *Intregrated principles of zoology*. 11.ed, New York, McGraw-Hill, p. 213-239, 2001a.

HICKHMAN, C.P.JR.; ROBERTS, L.S.; LARSON, A. **Pseudocelomate animals**. In: HICKHMAN, C.P.JR.; ROBERTS, L.S.; LARSON, A. *Intregrated principles of zoology*. 11.ed. New York, McGraw-Hill, p. 304-324, 2001b.

HICKHMAN, C.P.JR.; ROBERTS, L.S.; LARSON, A. **Segmented worms**. In: HICKHMAN, C.P.JR.; ROBERTS, L.S.; LARSON, A. *Intregrated principles of zoology*. 11.ed, New York, McGraw-Hill, p. 356-374, 2001c.

HICKHMAN, C.P.JR.; ROBERTS, L.S.; LARSON, A. **Lesser Protostomes**. In: HICKHMAN, C.P.JR.; ROBERTS, L.S.; LARSON, A. *Intregrated principles of zoology*. 11. ed, New York, McGraw-Hill, p. 439-450, 2001d.

HOFFMAN, H. et al, Utilização da imagem microscópica na Avaliação das Condições de Operação – Uma aplicação da experiência da Alemanha em Estações de Tratamento de Esgotos do Brasil. **21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, João Pessoa – PB, ABES: 2001. Disponível

em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/brasil/ii-020.pdf> acessado em 14/09/2011.

LEVY, A.L.L. **Modelagem e Análise de Sensibilidade do Processo de Tratamento de Lodo Ativado com Reciclo**. 2007, 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MACIEL, B. C. **Microbiologia de Lodos Ativados da Empresa FRAS-LE**, 2002, 122 f. Monografia apresentada ao curso de Engenharia Química do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade de Caxias do Sul. RS, 2002.

MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M.; DUNLAP, P.V.; CLARK, D.P. **Microbial growth**. In: MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M.; DUNLAP, P.V.; CLARK, D.P. Brock Biology of Microorganisms. 12.ed, San Francisco, Pearson Benjamin Cummings, p.141-174, 2009a.

MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M.; DUNLAP, P.V.; CLARK, D.P. **Nutrition, Culture and Metabolism of Microorganisms**. In: MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M.; DUNLAP, P.V.; CLARK, D.P. Brock Biology of Microorganisms. 12.ed, San Francisco, Pearson Benjamin Cummings, p.107-140, 2009b.

MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M.; DUNLAP, P.V.; CLARK, D.P. **Cell Structure and Function in Bacteria and Archaea**. In: MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M.; DUNLAP, P.V.; CLARK, D.P. Brock Biology of Microorganisms. 12.ed, San Francisco, Pearson Benjamin Cummings, p.66-106, 2009c.

MADONI P. A sludge biotic index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge plants based on the microfauna analysis. **Wat. Res.** vol. 28, n.1, p.67-75, Abr 1994.

MADONI, P.; DAVOLI, D.; CHIERICI, E. Comparative Analysis of the Activated-Sludge Microfauna in Several Sewage-Treatment Works. **Wat Res.** Vol. 27, n.9, p.1485-1491, 1993.

MASZENAN M. et al. *Amaricoccus* gen. nov., a gram-negative coccus occurring in regular packages or tetrads, isolated from activated sludge biomass, and descriptions of *Amaricoccus veronensis* sp. nov., *Amaricoccus tamworthensis* sp. nov., *Amaricoccus macauensis* sp. nov., and *Amaricoccus kaplicensis* sp. nov. **Int. J. Syst. Bacteriol.** vol.47, n.3, p.727-734, Jul 1997.

MELCHIOR, C. S., et al. Tratamento de efluentes por processo de lodos ativados. III Fórum de Estudos Contábeis, Faculdades Integradas Claretianas – Rio Claro – SP, 2003.

NICOLAU, A. et al. Importância da Identificação das Espécies Responsáveis pelo Crescimento Filamentoso nas ETARS, 10 f, p. 3. Portugal, 2002. Disponível em http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/3611/1/T2-2.2_173%5B1%5D.pdf acessado em 19/04/2011.

NICOLAU, A., et al., Estudo da Comunidade de Protozoários exposta a Tóxicos em Estações de Tratamento de Águas Residuárias., 2005. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/3666/1/CNQA-C14-14%255B1%255D.PDF> acessado em 26/06/2011.

NUNES, J.A. **Microbiologia dos sistemas de tratamento**. In: NUNES J.A. Tratamento biológico de águas residuárias. Gráfica Editora J. Andrade Aracaju-Sergipe-Brasil, p. 53-71, 2010.

OLIVEIRA, G.S.S.; ARAÚJO, C.V.M.; FERNANDES, J.G.S. Microbiologia de Sistemas de Lodos Ativados e sua relação com o Tratamento de Efluentes Industriais: a experiência da CETREL. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.14, n.2, p.183-192, Abr/Jun 2009.

PIEIDADE, F. L. A. Apostila curso Microbiologia de Lodos Ativados – Uma Ferramenta Fundamental no Gerenciamento de ETEs, 2010. Disponível em: http://www.tratamentodeagua.com.br/R10/Lib/Image/art_2014012648_microbiologia_de_lodos_ativados.pdf acesso em 27/06/2011.

PIVELI, P. R. Apostila - Tratamento de Esgotos Sanitários. p.16, 2011. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/54479604/Apostila-Tratamento-de-Esgotos> acessado em 24/07/2011.

ROCHA, C.J.; ROSA, H.A.; CARDOSO, A.A. **Introdução à Química Ambiental**. Ed. Bookman, p. 29-33, 2004.

TORTORA, G.J.; FUNKE, B.R.; CASE, C.L. **Microbiologia Ambiental**. In: TORTORA, G.J.; FUNKE, B.R.; CASE, C.L. Microbiologia. 6.ed, Porto Alegre, Artmed, 714-741, 2000.

VAZOLLÉR, R.F. **Microbiologia de lodos ativados**. São Paulo: Cetesb, 1989.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias** – Introdução à Qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, v.01. Belo Horizonte; DESA/UFMG, 1995.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias** – Lodos Ativados, v.04. Minas Gerais: ABES, 1997.