



JOÃO MÁRIO BARREIROS

**AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO LODO ATIVADO
UTILIZADO NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS
ORGÂNICOS**

SANTOS

2022

JOÃO MÁRIO BARREIROS

**AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO LODO ATIVADO
UTILIZADO NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS
ORGÂNICOS**

Dissertação de Mestrado Profissional apresentada
à Programa de Stricto Sensu de Saúde e Meio
Ambiente da Universidade Metropolitana de
Santos, para obtenção de título de Mestre.

ORIENTADOR: PROF. DR. EDGAR MAQUIGUSSA

SANTOS

2022

FICHA CATALOGRÁFICA - BIBLIOTECA DA UNIMES

B271a Barreiros, João M.

Avaliação microbiológica do Lodo Ativado no tratamento de resíduos orgânicos. / João M., Barreiros. – Santos, 2022.

75 f.

Orientador: Profº Dr. Edgar Maquigussa

Coorientador: Profº Dr. Gustavo Duarte Mendes

Dissertação (Mestrado Profissional), Universidade Metropolitana de Santos, Mestrado em Saúde e Meio Ambiente, 2022.

Título em inglês : MICROBIOLOGICAL EVALUATION OF ACTIVATED SLUDGE USED IN THE TREATMENT OF ORGANIC WASTE

Keywords: • ACTIVATED SLUDGE
• MICROBIOLOGY ANALYSIS
• ORGANIC WASTE

Titulação: Mestrado Profissional em Saúde e Meio Ambiente

Banca examinadora: Prof Dr Edgar Maquigussa

Prof Dra Elizabeth Barbosa de Oliveira-Sales

Prof Dr Fabiano Pereira do Amaral

Data da defesa: **01/02/2022**



Universidade Metropolitana de Santos
Mantida pelo Centro de Estudos Unificados Bandeirante

FUNDADORA

Prof^ª. Rosinha Garcia de Siqueira Viegas

MANTENEDOR

Prof. Rubens Flávio de Siqueira Viegas

REITORIA

Prof^ª. Renata Garcia de Siqueira Viegas

Reitora

Prof^ª. Elaine Marcílio Santos

Pró-Reitora Acadêmica

Prof. Rubens Flávio de Siqueira Viegas Júnior

Pró-Reitor Administrativo

Prof. Gustavo Duarte Mendes

Direção Acadêmica

Coordenador do Programa de Mestrado de Saúde e Meio Ambiente

PROGRAMA DE STRICTO SENSU EM SAÚDE E MEIO AMBIENTE DA UNIVERSIDADE METROPOLITANA DE SANTOS

BANCA EXAMINADORA E ATA DE DEFESA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONAL

A sessão pública de defesa da dissertação de mestrado profissional intitulada de “AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO LODO ATIVADO UTILIZADO NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS”, do discente João Mário Barreiros, orientado pelo Prof. Dr. EDGAR MAQUIGUSSA, foi realizada na data abaixo informada no anfiteatro do Programas de Stricto Sensu da Universidade Metropolitana de Santos, tendo o candidato cumprido, previamente, todas as exigências regimentais do Programa de Stricto Sensu de Saúde e Meio Ambiente, de acordo com a secretaria de pós-graduação da instituição. Realizada a apresentação da dissertação e arguição do pública do candidato, os membros da banca em reunião fechada deliberam e emitiram parecer abaixo.

Banca examinadora:	Resultado:	Assinatura
Prof. Dra. Elizabeth Barbosa de Oliveira-Sales	(X) Aprovado () Reprovado	
Prof. Dr. Fabiano Pereira do Amaral	(X) Aprovado () Reprovado	

Homologação do resultado pelo presidente da banca examinadora:

(X) Aprovado () Reprovado

Prof. Dr. EDGAR MAQUIGUSSA

Presidente da banca examinadora

Data da defesa: 01/02/2022

PROGRAMA DE STRICTO SENSU EM SAÚDE E MEIO AMBIENTE DA UNIVERSIDADE METROPOLITANA DE SANTOS

FICHA DE CLASSIFICAÇÃO DA DISSERTAÇÃO E DO PRODUTO

Título da dissertação: Avaliação microbiológica do Lodo Ativado utilizado no tratamento de resíduos orgânicos.

Linha de Pesquisa: Saúde e meio ambiente na região portuária

Projeto de Pesquisa do Orientador: Fatores de Risco à Saúde na Indústria da Cadeia de Petróleo

Produto(s) gerado(s): Procedimento de operação padrão para análise microbiológica do lodo ativado (POP), treinamento dos POPs gerados e Planilha de análise microbiológica.

Classificação do Produto

Critério	Justificar
Inserção social e econômico:	Melhorias no processo de tratamento de resíduos industriais e urbanos, gerando economia para as organizações e menor impacto ambiental.
Impacto – realizado:	Loco regional - O produto gerado passou a ser utilizado em empresa da região portuária de Santos.
Impacto – potencial:	Global - Os produtos gerados são aplicáveis a qualquer processo de Lodos ativados, a depender de pequenas adaptações.
Aplicabilidade - Abrangência realizada:	Loco regional - O produto gerado passou a ser utilizado em empresa da região portuária de Santos.
Aplicabilidade - Abrangência potencial:	Global - Os produtos gerados são aplicáveis a qualquer processo de Lodos ativados, a depender de pequenas adaptações.
Aplicabilidade – Replicabilidade:	A técnica utilizada é de fácil aplicabilidade e replicabilidade.

Inovação:	A técnica de análise microscópica é uma nova ferramenta para ser utilizada na análise do lodo ativado.
Complexidade:	Média complexidade, depende do treinamento do operador.

**PROGRAMA DE STRICTO SENSU EM SAÚDE E MEIO AMBIENTE
DA UNIVERSIDADE METROPOLITANA DE SANTOS**

Certamente, ó herói, difícil é refrear a mente, porque inquieto é o coração. Somente pela quietação dos desejos é que o exercício se tornará hábito, e alcançará domínio sobre ti mesmo.

Bhagavad Gita - Cap. 6.35

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, venho agradecer a minha família, em especial a meus pais pela atenção, carinho, amor e colaboração, sempre me ajudaram e incentivaram a conquistar meus objetivos.

Agradeço à Empresa Blue Cube pelo apoio e colaboração fornecendo as amostras e incentivo a pesquisa.

Um agradecimento especial à empresa Acqua Expert pela colaboração e instrução fornecida no início da pesquisa.

À minhas amigas Maria Luiza Samia e Lucinéia Medeiros do Nascimento pela ajuda e sempre estarem ao meu lado nos momentos difíceis.

Sou muito grato ao meu orientador Dr. Edgar Maquigussa pela paciência e dedicação mesmo quando me faltou disposição e ânimo.

SUMÁRIO

FICHA CATALOGRÁFICA - BIBLIOTECA DA UNIMES	3
BANCA EXAMINADORA E ATA DE DEFESA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONAL	5
FICHA DE CLASSIFICAÇÃO DA DISSERTAÇÃO E DO PRODUTO	6
TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO	7
DEDICATÓRIA	8
AGRADECIMENTOS	9
SUMÁRIO	10
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS	12
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	14
RESUMO	15
ABSTRACT	16
1. INTRODUÇÃO	17
2. REVISÃO DE LITERATURA	21
3. OBJETIVOS	33
4. HIPÓTESE	33
5. METODOLOGIA	34
5.1. DESCRIÇÃO DO ESTUDO	34
5.2. COLETA DAS AMOSTRAS	34
5.3. ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	34
5.4. ANÁLISE MICROBIOLÓGICA	35
5.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA	36
6. RESULTADOS	37
6.1. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	37
6.2. ANÁLISE MICROBIOLÓGICA	38
6.2.1. GRAU DE FILAMENTOS	39
6.2.2. CARACTERÍSTICAS DOS FLOCOS	41
6.2.3. PROTOZOÁRIOS E SEU COMPORTAMENTO	42
6.2.4. MICROMETAZOÁRIOS	43
6.3. ANÁLISE DE CORRELAÇÃO	44

7. DISCUSSÃO	48
8. CONCLUSÃO	51
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
10. ANEXOS	57
ANEXO 1 - Planilha de Controle – Análise Microbiológica	57
ANEXO 2 - Procedimento operacional padrão – Microscópio Vonax	58
ANEXO 3 - Procedimento operacional padrão – Análise Microbiológica	65

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

DBO	Demanda bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda química de Oxigênio
pH	Potencial hidrogeniônico
NaCl	Cloro de Sódio / Salinidade
NPOC	Carbono orgânico não purgável
N. Amoniacal	Nitrogênio amoniacal
LA	Lodo ativado
ETA	Estação de tratamento de águas
ETE	Estação de tratamento de esgoto
DS	Sólidos secos
SS	Sólidos suspensos

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Esquema ilustrativo do processo de lodos ativados e seus componentes.
- Figura 2 – Etapas de um sistema de lodos ativados.
- Figura 3 - Origem do lodo em tratamento convencional para potabilização da água.
- Figura 4 - Microscopia óptica com aumento de 1000X de filamento bacteriano.
- Figura 5 - Microscopia óptica com aumento de 200X de filamento bacteriano.
- Figura 6 - Microscopia óptica com aumento de 100X de flocos biológicos.
- Figura 7 - Microscopia óptica com aumento de 1000X - Células livres.
- Figura 8 - Microscopia óptica com aumento de 400X - Protozoários.
- Figura 9 - Microscopia óptica com aumento de 400X. Micrometazoário (Nematóide).
- Figura 10 - Gráfico das correlações entre a concentração de Carbono orgânico não purgável (NPOC) e Salinidade (NaCl) com outros parâmetros analisados.
- Figura 11 - Gráfico das correlações entre a Carbono orgânico não purgável (NPOC) com qualidade dos flocos biológicos.
- Figura 12 - Gráfico das correlações entre salinidade (NaCl) com outros parâmetros analisados.
- Figura 13 - Gráfico de correlação entre comportamento dos protozoários e outros parâmetros analisados.
- Figura 14 - Gráfico demonstrando correlação positiva entre a qualidade dos flocos e o grau de filamentos.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Origem dos principais subprodutos sólidos gerados no tratamento de esgotos

Tabela 2 - Quantidade de lodo produzido de acordo com os sistemas de tratamento de esgoto

Tabela 3 – Vantagens e Desvantagens do lodo ativado

Tabela 4 - valores médios dos parâmetros ao longo do período estudado

Tabela 5 - Resultado das análises microscópicas do lodo ativado

Tabela 6 - Resultado das análises microscópicas do lodo ativado

O sistema de tratamento de esgoto por lodo ativado é amplamente empregado no mundo todo, principalmente pela alta eficiência alcançada associada à pequena área de implantação necessária, quando comparado a outros sistemas de tratamento. Assim, diversos estudos têm demonstrado a utilização do lodo ativado como uma alternativa no tratamento de resíduos orgânicos. O objetivo deste trabalho foi avaliar as características microbiológicas e físico-químicas do lodo ativado utilizado no tratamento de resíduos orgânicos. As amostras de lodo ativado foram provenientes da indústria química. Foi realizada análise microscópica para avaliar as características do lodo ativado, os parâmetros analisados foram: características dos flocos, grau de filamentos e presença de outros microrganismos. A análise físico-química foi realizada nas amostras provenientes do reator biológico. Foram realizadas as análises dos seguintes parâmetros: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), potencial hidrogeniônico (pH), porcentagem de cloreto de sódio (NaCl), carbono orgânico não purgável (NPOC) e nitrogênio amoniacal (N. amoniacal). Os resultados demonstraram que a DBO teve taxa de depuração de 95% entre o efluente de entrada e de saída. No reator, a média de nitrogênio amoniacal foi de 7,2 ppm, o pH de 7,9 e a salinidade teve média de 4,9%. De acordo com a classificação da qualidade do lodo ativado, a análise microbiológica indicou que a maioria das análises foi classificada com qualidade intermediária. Houve correlação negativa entre as características dos flocos, e o grau de filamento com a salinidade; e entre NPOC com o grau de filamento dos flocos. Esses resultados indicam que o aumento da salinidade e do NPOC piora a qualidade dos flocos. Os resultados obtidos apontam que a comunidade microbiana estabelece relação dinâmica com os parâmetros no sistema de tratamento. O trabalho demonstra que a avaliação microbiológica do lodo ativado pode ser utilizada como ferramenta adicional na análise do processo químico.

Palavras chaves: Lodo Ativado. Estação de Tratamento de Efluente. Microbiologia.

ABSTRACT

The activated sludge sewage treatment system is widely used worldwide, mainly due to the high efficiency achieved associated with the small area of necessary implantation, when compared to other treatment systems. Thus, several studies have demonstrated the use of activated sludge as an alternative in the treatment of organic waste. The objective of this work was to evaluate the microbiological characteristics and chemical analysis of activated sludge in the treatment of organic waste. The activated sludge samples from the chemical industry were collected. Microscopic analysis was performed to evaluate the characteristics of the activated sludge; the analyzed parameters were: characteristics of the flakes, degree of filaments, and presence of other microorganisms. The chemical analysis was performed on samples from the biological reactor. The following parameters were analyzed: biochemical oxygen demand (BOD), hydrogen potential (pH), percentage of sodium chloride (NaCl), non-purgeable organic carbon (NPOC), and ammoniacal nitrogen (N. ammoniacal). The results showed that the BOD had a removal rate of 95% between the inlet and outlet effluent. In the reactor, the average ammonia nitrogen was 7.2 ppm, the pH was 7.9, and the salinity was 4.9%. According to the activated sludge quality classification, the microbiological analysis indicated that most analyzes were classified as intermediate quality. There was a negative correlation between the characteristics of the flakes, and the degree of filament with salinity; and NPOC with the degree of filaments. These results indicate that the increase in salinity and NPOC worsen the quality of the flakes. The results obtained indicate that the microbial community establishes a dynamic relationship with the parameters in the treatment system. This study demonstrates that the microbiological evaluation of activated sludge can be used as an additional tool in the analysis of the chemical process.

Keywords: Activated sludge. Effluent treatment station. Microbiology.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade da água tornou-se uma das preocupações mais relevantes da humanidade em função da escassez e da deterioração de fontes naturais, sendo que diversas organizações nacionais e internacionais têm reconhecido tal problemática¹. A dificuldade de acesso à água potável tomou proporções globais, de modo que em 22 e março de 1992 a Organização das Nações Unidas (ONU) redigiu a “Declaração universal dos direitos da água”, o documento apresenta como seu objetivo:

A presente Declaração Universal dos Direitos da Água foi proclamada tendo como objetivo atingir todos os indivíduos, todos os povos e todas as nações, para que todos os homens, tendo esta Declaração constantemente no espírito, se esforcem, através da educação e do ensino, em desenvolver o respeito aos direitos e obrigações anunciados e assomam, com medidas progressivas de ordem nacional e internacional, o seu reconhecimento e a sua aplicação efetiva².

O documento traz as problemáticas acerca do consumo e da poluição da água como de responsabilidade de todo indivíduo e ressalta que esta é patrimônio do planeta, mesmo tendo distribuição desigual (por questões naturais) e que não podemos entendê-la apenas como herança de nossos predecessores, mas acima de tudo como empréstimo para nossos sucessores. A declaração em vários trechos do texto põe a água como elemento fundamental para a saúde e o meio ambiente e deixa clara sua estreita relação com a vida, com o propósito de ressaltar o valor que a água possui enquanto bem comum a todos os seres.

Como evidenciado pela Declaração dos direitos da água, a qualidade da água é um dos fatores mais atrelados a saúde pública, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) cerca de 80% das todas as doenças que se alastram em países em desenvolvimento são provenientes da má qualidade da água³, tal fato revela a estreita relação entre saúde e qualidade da água.

Richter e Netto³ ressaltam algumas das doenças mais comuns que podem ocorrer pelo consumo de água contaminada: febre tifóide (*Salmonella tifóide*), febre paratífóides (*Salmonelas paratífóides*), disenteria bacilar (*Bacilo disentérico*), disenteria amebiana (*Entamoeba histolytica*), cólera (*Vibrio cholerae*), diarreia (*E. Coli*), hepatite infecciosa (Hepatovirus tipo A) e giardiase (*Giardia Lamblia*). A poluição das águas naturais pela ação humana representa um dos maiores riscos ao meio ambiente e à própria saúde do homem¹, o que cria a necessidade de entender quais são as fontes poluidoras dos corpos d'água para

posteriormente podemos tomar ações que visem uma relação menos agressiva entre natureza e humanidade.

As fontes poluidoras das águas são basicamente de quatro tipos: poluição natural, aquela que não está relacionada às atividades humanas e de ocorrência natural (por exemplo: decomposição de vegetais e animais mortos); poluição industrial, diretamente ligada às atividades industriais e sendo a fonte poluidora que apresenta o maior potencial poluidor se não for bem planejado e gerido; poluição urbana, proveniente dos habitantes de um local ao gerarem esgoto e/ou lixo domésticos; poluição agropastoril, originada das atividades agrícolas e pecuárias sendo a de mais difícil controle devido a suas próprias características e a dificuldade em fiscalização⁴.

A poluição das águas e suas fontes poluidoras são um problema de amplo espectro e que demandam esforços coletivos, assim sendo surge a necessidade de ações e tecnologias que visem diminuir ou eliminar a geração dos agentes poluidores, em segundo plano medidas de tratamento dos agentes poluidores. Ao longo do tempo foram sendo desenvolvidas tecnologias capazes de tratar a contaminação em corpos d'águas e efluentes das mais diversas aplicações visando uma relação mais harmoniosa entre as atividades humanas e o meio ambiente^{5,6}.

Hoje uma das tecnologias mais aplicadas ao tratamento de águas residuárias no mundo é o sistema de Lodos ativados (LA)⁷, descoberto em 1914 pelos engenheiros Edward Arden e Williams T. Lockett⁸ que apresentaram à Sociedade da Indústria Química, em Manchester, sua descoberta para o tratamento de esgotos domésticos utilizando o LA. O experimento realizado pelos pesquisadores consistia na injeção de ar, na forma de microbolhas, em um tanque fechado contendo esgoto doméstico, após cessar a injeção de ar ocorre a sedimentação da fração sólida, formação de corpo de fundo e a clarificação da fase líquida do esgoto⁸.

Na época acreditava-se que ocorriam processos adsortivos estimulados pela presença do ar, gerando a aglutinação do material sólido e sua eventual sedimentação, em razão de tal hipótese o processo foi nomeado de lodo ativado em analogia ao carvão ativado⁸. Hoje sabemos que o processo observado por Arden e Lockett no LA, na verdade, é mediado pela ação de microrganismos que se organizam em uma estrutura conhecida como flocos biológicos.

Os flocos são microssistemas complexos formados por bactérias (formadoras de flocos e filamentosas), material polimérico, protozoários, fungos, algas, micrometazoários e material

adsorvido ou internalizado no floco, a formação do floco biológico depende de diversos fatores e seu aspecto pode ser utilizado como uma das grandes evidências da eficiência ou não do processo em todas as suas etapas⁹.

O LA constitui um dos processos mais amplamente utilizado no mundo para tratamento de esgotos domésticos e efluentes industriais, sem dúvida, tal fato deve-se a alta capacidade de redução da carga orgânica dos efluentes, baixa demanda de área operacional e facilidade operacional⁷⁻⁹, quando comparado com processos puramente químicos e sem aplicação de agentes biológicos. Fato esse que se contrapõe ao alto índice de mecanização exigido por essa tecnologia, uma vez que o sistema exige monitoramento constante dos parâmetros operacionais⁵.

O tratamento com LA consiste na oxidação bioquímica da matéria carbonácea pela ação de microrganismos, como: bactérias, protozoários, algas e fungos. Essa reação ocorre dentro de reatores biológicos cujo parâmetros operacionais podem ser continuamente monitorados e controlados, conferindo estabilidade ao processo como um todo. A oxidação ocorre em função do metabolismo dos agentes biológicos dentro dos reatores e possui estreita relação com os parâmetros físico-químicos do sistema, como: pH, salinidade, carga orgânica, entre outros⁵⁻⁸.

Ao mesmo tempo em que essa sensibilidade aos parâmetros exige controle constante do processo, também confere flexibilidade operacional, permitindo ajustar o processo às novas necessidades e/ou demandas, é evidente que por ser composto por organismos vivos o processo apresenta flexibilidades operacionais dentro de certos limites⁹.

A estabilidade do processo ocorre, principalmente, devido o controle dos parâmetros físico-químicos, entretanto, as variações na população microbiana podem alterar a estabilidade do sistema. De fato, as alterações microbiológicas ocorrem durante todo o processo, devido as variações e disponibilidades de matéria orgânica.

Conforme elaborado por Monod¹⁰ a oxidação bioquímica não ocorre para todos os componentes do efluente a ser tratado imediatamente após o contato da microbiota com os materiais em questão, alguns componentes do efluente podem ser quimicamente complexos o que inviabiliza sua internalização nas células, para tanto é necessário a formulação do arcabouço enzimático necessário para a quebra de tais substâncias, etapa conhecida como “fase de atraso” ou “aclimatação”, sucedida pela “fase de aceleração” onde começa a ocorrer o crescimento da população microbiana. No ápice de crescimento se estabelece a “fase

exponencial” onde o crescimento pode ser graficamente visto como uma constante em equilíbrio. Quando ocorre a diminuição na relação alimento/microrganismos, a taxa de crescimento começa a entrar na “fase de desaceleração”, onde chega a uma nova estabilização da população chamada de “fase estacionária” ocorrendo o consumo do material interno das células, que ao se findar inicia a “fase de declínio” onde a população tende a diminuir e a ocorrer a mineralização da massa sólida do sistema.

As etapas apresentadas por Monod¹⁰ ocorrem ao longo do processo de modo que o sistema de LA foi elaborado pensando na dinâmica microbiana, ao final do processo os microrganismos já devem ter degradado a maior fração possível da matéria orgânica sem que a mortalidade dos agentes biológicos comprometa a posterior separação do efluente e do lodo¹¹. Por causa da liberação de material polimérico para o exterior das células, o floco pode alterar a estruturação do lodo e sua posterior sedimentação¹², ou seja, uma má sedimentação no decantador final do processo põe a perder todo o desempenho do tratamento. Portanto, o LA estabelece um sistema dinâmico ao longo das etapas do processo, em que cada espécie apresenta sua relevância para as sucessivas fases⁹.

Devido a importância da microbiota presente no LA, a análise microscópica pode ser usada como uma importante ferramenta no controle do processo, uma vez que ela consegue evidenciar as condições de depuração e prever o provável desempenho na etapa de decantação, além disso conseguimos verificar até a existências de agentes tóxicos no efluente e solicitar análises mais específicas, com o objetivo de evitar que esse contaminante siga para o corpo receptor⁷. No Brasil a análise microscópica é pouco empregada e mesmo quando aplicada seus resultados são subutilizados⁷, não sendo explorado o seu potencial.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 LODO

O resíduo que se acumula nas estações de tratamento de esgoto é denominado lodo (ou biossólido). Lodo de esgoto é o material residual sólido, semissólido ou de lama que é produzido como um subproduto dos processos de tratamento de águas residuais. Este resíduo é comumente classificado como lodo primário e lodo secundário¹³.

O lodo primário é gerado a partir de precipitação química, sedimentação e outros processos primários, enquanto o lodo secundário é a biomassa residual ativada resultante de tratamentos biológicos. Algumas estações de tratamento de esgoto também recebem esgoto ou sólidos de fossa séptica de sistemas de tratamento de águas residuais no local. Muitas vezes, as lamas são combinadas para posterior tratamento e eliminação¹⁴.

O tratamento e a disposição do lodo de esgoto são fatores importantes no projeto e operação de todas as estações de tratamento de águas residuais. Dois objetivos básicos do tratamento do lodo antes da disposição final são reduzir seu volume e estabilizar os materiais orgânicos. O lodo estabilizado não tem um odor desagradável e pode ser manuseado sem causar incômodo ou risco à saúde. O menor volume de lodo reduz os custos de bombeamento e armazenamento¹⁵.

O lodo proveniente das estações de tratamento de água (ETAs) pode ser definido como um produto da coagulação da água bruta e, desse modo, tem uma composição aproximada dessa água, acrescido dos produtos utilizados no tratamento, principalmente os coagulantes a base de alumínio e ferro¹⁶.

Ferreira e Coraiola¹⁷ apontam que a definição para “lodo” é utilizada para designar os subprodutos sólidos do tratamento de esgotos. Nos processos biológicos de tratamento, parte da matéria orgânica é absorvida e convertida, fazendo parte da biomassa microbiana, denominada genericamente de lodo biológico ou secundário, composto principalmente de sólidos biológicos.

O tratamento de lodo de esgoto pode incluir uma combinação de processos de espessamento, digestão e desidratação. O espessamento é geralmente a primeira etapa no tratamento de lodo porque é impraticável lidar com lodo fino. O espessamento geralmente é

realizado em um tanque chamado espessante de gravidade. Um espessante pode reduzir o volume total do lodo para menos da metade do volume original. Uma alternativa para o espessamento por gravidade é a flotação por ar dissolvido. Nesse método, as bolhas de ar carregam os sólidos para a superfície, onde se forma uma camada de lama espessa¹⁵

A digestão do lodo é um processo biológico no qual sólidos orgânicos são decompostos em substâncias estáveis. A digestão reduz a massa total de sólidos, destrói patógenos e torna mais fácil desidratar ou secar o lodo. O lodo digerido é inofensivo, tendo a aparência e as características de um solo rico para envasamento¹⁶.

A maioria das grandes estações de tratamento de esgoto usa um sistema de digestão de dois estágios no qual os resíduos orgânicos são metabolizados por bactérias anaeróbias. No primeiro estágio, o lodo é concentrado até um teor de sólidos secos (DS) de cerca de 5%. Algumas espécies de bactérias liberam enzimas que hidrolisam moléculas grandes, como proteínas e lipídios, quebrando-as em moléculas menores solúveis em água e, em seguida, fermentam essas moléculas menores em vários ácidos graxos. A lama então flui para um segundo tanque, onde a matéria dissolvida é convertida por outras bactérias em biogás. O metano presente no biogás é utilizado como combustível para aquecer o primeiro tanque de digestão e para gerar eletricidade para a planta industrial¹⁸.

A digestão anaeróbica é muito sensível à temperatura, acidez e outros fatores, o qual requer monitoramento e controle cuidadosos. Em alguns casos, o lodo é inoculado com enzimas hidrolíticas extras no início da primeira fase de digestão para complementar a ação da bactéria. Verificou-se que este tratamento enzimático pode destruir mais patógenos indesejáveis no lodo e pode resultar na geração de maior quantidade de biogás no segundo estágio da digestão¹⁹.

A digestão do lodo também pode ocorrer aerobicamente, isto é, na presença de oxigênio. O lodo é aerado vigorosamente em tanque aberto por cerca de 20 dias. O gás metano não é formado neste processo. Embora os sistemas aeróbios sejam mais fáceis de operar do que os sistemas anaeróbios, eles geralmente são mais caros por causa da energia necessária para a aeração. A digestão aeróbica é frequentemente combinada com pequenos sistemas estendidos de aeração ou estabilização de contato¹⁹.

A digestão aeróbica e anaeróbica convencional converte cerca de metade dos sólidos do lodo orgânico em líquidos e gases. A hidrólise térmica seguida por digestão anaeróbia pode converter cerca de 60 a 70 por cento da matéria sólida em líquidos e gases. Não apenas o

volume de sólidos produzidos é menor do que na digestão convencional, mas a maior produção de biogás pode tornar algumas estações de tratamento de águas residuais autossuficientes em energia.

O lodo de esgoto digerido é geralmente desidratado antes do descarte. O lodo desidratado ainda contém uma quantidade significativa de água - muitas vezes até 70 %, mas mesmo com esse teor de umidade, o lodo não se comporta mais como um líquido e pode ser tratado como um material sólido. Leitões de secagem de lodo fornecem o método mais simples de desidratação¹⁷. A secagem ocorre por uma combinação de evaporação e drenagem por gravidade através da areia. Uma rede de encanamentos construída sob a areia coleta a água, que é bombeada de volta para a cabeceira da usina. Após cerca de seis semanas de secagem, o bolo de lama, como é chamado, pode ter um teor de sólidos de cerca de 40%, podendo ser removido da areia. Para reduzir o tempo de secagem em climas úmidos ou frios, pode construir um invólucro de vidro sobre os leitões de areia. Uma vez que uma grande área de terra é necessária para realizar a secagem, este método de desidratação é comumente usado em cidades rurais ou suburbanas, em vez de em cidades densamente povoadas¹⁶.

O destino final do lodo de esgoto tratado geralmente é a terra. O lodo desidratado pode ser enterrado em um aterro sanitário. Também pode ser espalhado em terras agrícolas para aproveitar seu valor como condicionador e fertilizante do solo. Uma vez que o lodo pode conter produtos químicos industriais tóxicos, não é espalhado em terras onde as safras são cultivadas para consumo humano¹⁸.

Para Von Sperling¹⁴, em princípio, todos os processos de tratamento biológico geram lodo. Aqueles que recebem o esgoto bruto em decantadores primários geram o lodo primário, composto pelos sólidos sedimentáveis do esgoto bruto. Este tipo de material pode exalar um forte odor, principalmente caso fique retido por muito tempo nos decantadores primários, sob altas temperaturas. Nessa etapa de tratamento, o lodo é a própria biomassa que cresceu às custas do alimento fornecido pelo esgoto afluente. Se essa biomassa não for removida, ela tende a se acumular no sistema, podendo eventualmente sair com o efluente final. Dependendo do tipo de sistema, o lodo primário pode ser enviado para o tratamento com o lodo secundário. Neste caso essa mistura passa a ser chamada de lodo misto. Algumas ETEs produzem lodo químico, quando incorporam a etapa físico-química de remoção de nutrientes durante o tratamento terciário²⁰.

Para Andreoli et al²¹, apesar do lodo biológico comumente ser o resíduo produzido em maior quantidade em uma ETE, outros tipos de sólidos são retidos em diferentes operações nas estações de tratamento de esgotos, conforme exposto no tabela 1.

Tabela 1 – Origem dos principais subprodutos sólidos gerados no tratamento de esgotos

SUBPRODUTOS SÓLIDOS GERADOS	LODO BIOLÓGICO ANERÓBIO (ESTABILIZADO)
Sólidos Grosseiros	Grade
Areia	Desarenador
Escuma	Desarenador, decantador primário, decantador secundário, reator anaeróbio e lagoa de estabilização
Lodo primário	tanque séptico e decantador primário
Lodo biológico aeróbio (não estabilizado)	lodos ativados convencional e reatores aeróbios com biofilme (alta carga)
Lodo biológico aeróbio (não estabilizado)	lodos ativados – aeração prolongada e reatores aeróbios com biofilme (baixa carga)
Lodo biológico anaeróbio (estabilizado)	Lagoas de estabilização, Reatores UASB e Filtros anaeróbios
Lodo químico	Decantador primário com precipitação química e Lodos ativados com precipitação de fósforo

Fonte: Andreoli et al²¹

No que diz respeito à quantidade (volume) de lodo produzido de acordo com os sistemas de tratamento de esgoto, Metcalf e Eddy²² apresentam algumas dessas relações na Tabela 2.

Tabela 2 - Quantidade de lodo produzido de acordo com os sistemas de tratamento de esgoto

TIPOS DE SISTEMA	VOLUME DE LODO PRODUZIDO (L/hab.d)
Lagoas facultativas	0,05 – 0,15
Reator UASB	0,2 – 0,6
Lodos ativados convencionais	3,1 – 8,2
Aeração prolongada	3,3 – 5,6
Lagoa anaeróbia	0,1 – 0,3
Filtro biológico de alta carga	1,4 – 5,2
Lagoa aerada facultativa	0,08 – 0,22

Fonte: Metcalf e Eddy²²

No caso do Brasil, a grande parte dos sistemas de tratamento de esgotos é monitorada e controlada pelas análises físico-químicas. A observação microscópica ainda é um instrumento raro, geralmente realizada em curtos períodos e seus resultados são, na grande maioria, subutilizados²³.

Soares²⁴ afirma que, a estimativa é de que a produção de lodo no Brasil está entre 150 a 220 mil toneladas de matéria seca por ano. Considerando que apenas 30% da população urbana têm seu esgoto devidamente coletado e tratado, é de se esperar que a geração de lodo superaria 400 mil toneladas de lodo por ano caso os esgotos fossem totalmente tratados no país.

Muitas estações de tratamento de águas residuais mais antigas exigem melhorias devido aos padrões de qualidade da água cada vez mais rígidos, mas isso geralmente é difícil devido ao espaço limitado para expansão. A fim de permitir a melhoria da eficiência do tratamento sem exigir mais área de terra, novos métodos de tratamento foram desenvolvidos. Isso inclui o processo de biorreator de membrana, o reator de flocos com lastro e o processo integrado de lodo ativado²³.

2.2 LODO ATIVADO

O processo de lodo ativado foi descoberto em 1913 no Reino Unido por dois engenheiros, Edward Arden e W.T. Lockett²⁵, conduzindo pesquisas para o Departamento de Rios da Manchester Corporation em Davyhulme Sewage Works. Experimentos no tratamento de esgoto em um reator de simulação (o precursor do atual reator de lote de sequenciamento) produziram um efluente altamente tratado²⁵.

Por acreditar que o lodo havia sido ativado (de maneira semelhante ao carvão ativado) o processo foi denominado lodo ativado. Só muito mais tarde se percebeu que o que realmente ocorreu era um meio de concentrar organismos biológicos, desacoplando o tempo de retenção de líquido (idealmente, baixo para um sistema de tratamento compacto) do tempo de retenção de sólidos (idealmente, alto para um efluente baixo em BOD5 e amônia)²⁶.

Como um processo de tratamento biológico de crescimento suspenso, o lodo ativado utiliza uma densa cultura microbiana em suspensão para biodegradar o material orgânico em condições aeróbias e formar um floco biológico para separação de sólidos nas unidades de sedimentação²⁵.

A eficácia do processo pode depender se os efluentes foram amostrados após aeração e separação do lodo ou após sedimentação secundária e o tratamento do lodo ativado. A remoção dos microrganismos ocorre predominantemente durante a sedimentação secundária, com a sedimentação livre e assistida provavelmente ocorrendo de maneira semelhante à sedimentação primária²².

Os sistemas de tratamento de esgotos por lodos ativados são os mais amplamente empregados no mundo todo, principalmente pela alta eficiência alcançada associada à pequena área de implantação requerida, quando comparado a outros sistemas de tratamento. A grande maioria dos sistemas de tratamento de águas residuárias utiliza lodo ativado, que emprega microrganismos aeróbios para consumir a matéria orgânica, principal agente poluidor ambiental. Neste processo, os microrganismos utilizam o oxigênio dissolvido na água, que é repostado através de aeradores²³.

O sistema de lodos ativados consiste em uma complexa associação de microrganismos composta por bactérias, protozoários, fungos e micrometazoários que oxidam os compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos efluentes²³. A comunidade biológica estabelecida neste sistema é dinâmica e fundamental ao tratamento, onde cada espécie tem sua importância para

o bom funcionamento do sistema (Poole 1984). A estrutura dessa comunidade apresenta significativa relação com as condições operacionais e com a qualidade e quantidade de efluente que alimenta o processo, de forma que a avaliação microbiológica do lodo é capaz de fornecer informações sobre o desempenho da ETE²⁴.

Quando ocorrem mudanças nas condições ambientais provenientes da composição do afluente do reator, ou mesmo da operação da estação, alterações na comunidade do lodo podem ocorrer, influenciando os processos de biodegradação e, portanto, reduzindo a qualidade do efluente tratado²³.

O processo de lodo ativado depende da ação biológica aeróbia. Nesse caso, os microrganismos, em busca de alimento, decompõem as substâncias orgânicas complexas em substâncias estáveis simples. Este processo resulta na remoção de matéria orgânica solúvel e suspensão das águas residuais²⁵.

O crescimento de microrganismos na presença de oxigênio dissolvido remove a maior parte da matéria poluente; por sua vez, os protozoários crescem e se alimentam desses organismos. O equilíbrio resultante é de uma cultura viva em forma suspensa no bloco de lodo ativado. Este processo é ideal para a remoção de matéria carbonosa e nitrificação de águas residuais²⁵.

Os principais elementos do sistema incluem um tanque de aeração no qual as águas residuais são completamente misturadas com lodo continuamente ativado e com o oxigênio. Desta parte do processo, passa para um tanque clarificador, onde o lodo sedimentado é retirado da água purificada para ser reciclado pelas bombas de lodo ativadas de retorno²⁰.

Para que esse sistema funcione, dois requisitos devem ser atendidos. O dispositivo de aeração deve ser capaz de transferir oxigênio da atmosfera para o líquido e distribuir esse oxigênio pelas águas residuais para o microrganismo vivo em suspensão. Este tipo de sistema é adequado para resíduos de baixa intensidade, normalmente na ordem de 50-200 mg L-1 BOD²⁰.

O princípio do processo se baseia na oxidação bioquímica dos compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos esgotos, mediada por uma população microbiana diversificada e mantida em suspensão em meio aeróbio²¹. A eficiência do processo depende, dentre outros fatores, da capacidade de floculação da biomassa ativa e da composição dos flocos formados. Os flocos biológicos constituem um microsistema complexo formado por bactérias, fungos, protozoários e micrometazoários. As bactérias são as principais responsáveis pela depuração

da matéria carbonácea e pela estruturação dos flocos²³. Entretanto, os componentes da microfauna (protozoários e micrometazoários) também têm importante papel na manutenção de uma comunidade bacteriana equilibrada, na remoção de *E. coli*, na redução da DBO e na floculação²¹.

Os componentes da microfauna por serem extremamente sensíveis às alterações no processo²⁶, alternam-se no sistema em resposta às mudanças nas condições físico-químicas e ambientais. Assim, a composição da microfauna do lodo ativado pode revelar alterações no processo, quanto a eficiência da remoção da demanda bioquímica de oxigênio (DBO); a eficiência da remoção de sólidos suspensos (SS); as condições de sedimentação do lodo; o nível de aeração empregado no sistema; a presença de compostos tóxicos, tais como metais pesados e amônia; além de poder indicar a ocorrência de sobrecargas orgânicas e de nitrificação²⁷.

Von Sperling²⁸ aponta que o tratamento com lodo ativado vem sendo muito utilizado, seja para efluentes industriais como também os domésticos, visando obter uma notória eficiência no que diz respeito a remoção de poluentes. Apesar disso, quando comparado a outros sistemas, o lodo ativado apresenta um consumo mais elevado de energia elétrica, e demanda uma operação mais qualificada. Existem três unidades que integram um sistema de lodo ativado conforme o fluxo do efluente: 1) o tanque de aeração (reator biológico), onde se encontram os aeradores; 2) o tanque de decantação (sedimentador) onde ocorre a separação do lodo e; 3) o efluente tratado e a recirculação ou descarte do lodo (Figura 1). A Figura 2 apresenta as principais etapas que compõe um sistema de utilização de lodos ativados.

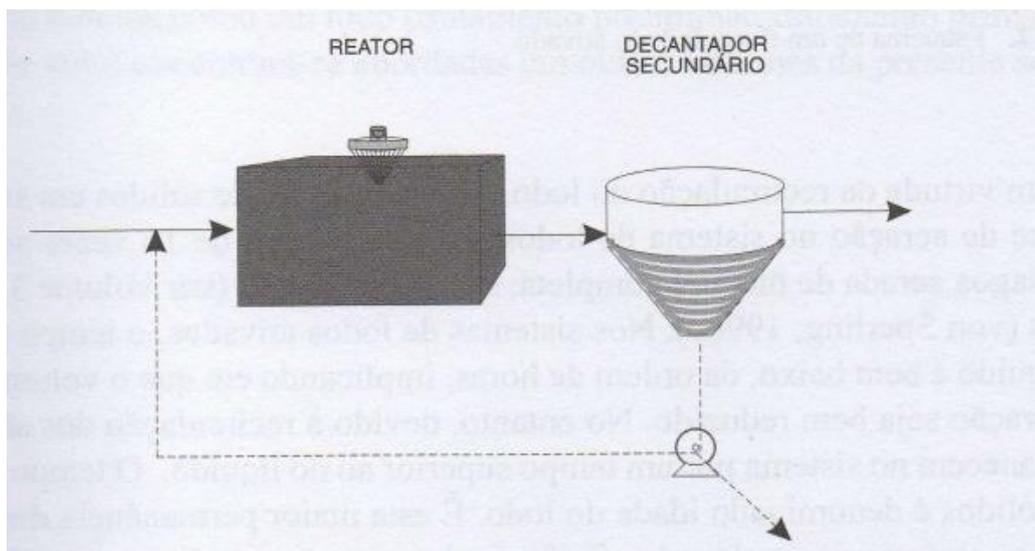


Figura 1 - Esquema ilustrativo do processo de lodos ativados e seus componentes²⁸.

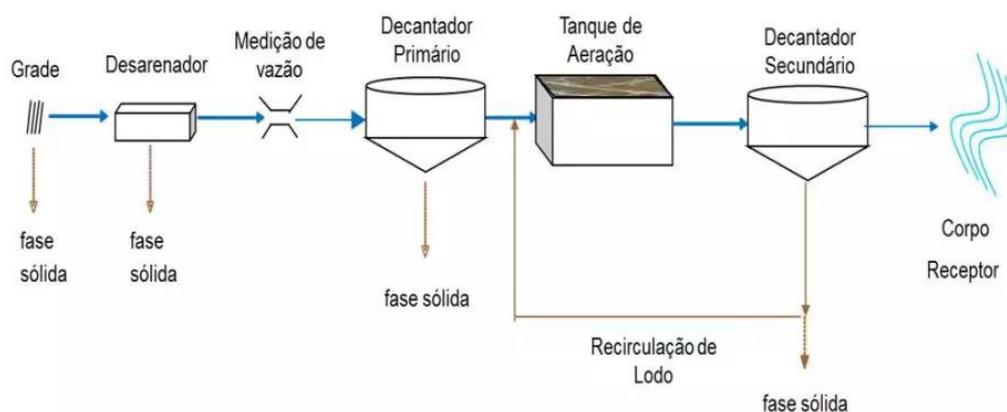


Figura 2 – Etapas de um sistema de lodos ativados. Adaptado de Sperling²⁹

A utilização do tratamento biológico por lodos ativados vem sendo adotada principalmente para a depuração de efluentes sanitários e industriais com aspectos de contaminação de carga orgânica e produtos nitrogenados, o que o caracteriza como um sistema de tratamento com alta taxa de eficiência no que diz respeito a remoção de DBO/DQO. Esse sistema é muito eficaz no tratamento de efluente com alta carga poluidora³⁰. Segundo Jenkins et al³¹, no caso do tratamento de efluentes complexos, as etapas do processo biológico mais difundido a ser utilizado é através do lodo ativado, haja visto seu nível de

eficiência. A Tabela 3 descreve algumas das vantagens e desvantagens da utilização do sistema de lodos ativados.

Tabela 3 – Vantagens e Desvantagens do lodo ativado

SISTEMA	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Lodos ativados	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada remoção de DBO; • Nitrificação usualmente obtida; • Possibilidade de remoção de N e P; • Baixos requisitos de área; • Processo confiável; • Reduzidas possibilidade de maus odores insetos e vermes; • Flexibilidade operacional. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa eficiência na remoção de coliformes; • Elevados custos de implementação e operação; • Elevado consumo de energia; • Necessidade de operação sofisticada; • Elevado índice de mecanização; • Relativamente sensível a descargas tóxicas; • Necessidade de tratamento completo do lodo; • Possíveis problemas ambientais com ruídos e aerossóis.

Fonte: Adaptado de Sperling³⁰

No processo industrial, o efluente tratado pelo processo de lodo ativado pode ser reutilizado como água industrial, corroborando para que este sistema apresente uma relação custo-benefício positiva. Ferreira et al³². Além disso, o sistema permite o tratamento de grande volume de efluente, resultando em um menor custo de funcionamento e simplicidade operacional³³.

O uso e a aplicação do lodo ativado têm sido avaliados em diversos trabalhos. Sobre a eficiência do lodo ativado em uso contínuo para tratamento de esgoto, estudos apontam, que este processo é altamente eficiente. Além disso, o processo tem baixo custo, por causa da

matéria orgânica ao ser mineralizada, transformando-se em biomassa microbiana, possibilita-se sua reutilização no próprio sistema, garantindo assim uma economia no processo¹⁷.

A avaliação microscópica do lodo ativa é importante para a eficiência do processo. Nessa análise é possível a identificação do *bulking* viscoso em sistemas de lodos ativados, auxiliando na identificação do material extracelular produzido em excesso pelas bactérias no sistema de tratamento e no resultado positivo para o Teste Nanquim²⁹. Estudo demonstra que a análise das características da microbiota do lodo ativado de uma ETE resultou em flocos compactos, pequenos e com poucos filamentos²³.

A microbiota presente no lodo ativado é dependente dos parâmetros físico-químicos do processo. Estudos indicam que a relação entre a comunidade presente no lodo e as características dos efluentes, com as condições operacionais impostas ao sistema, precisam se manter constantes para garantir a eficiência do processo³⁴.

2.3 IMPACTOS AMBIENTAIS

A Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (Lei das Águas), regulamenta a Política Nacional de Recursos Hídricos, apresentando como aspectos fundamentais: i) a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento; ii) o reconhecimento do valor econômico da água; e iii) a outorga pelo poder público do direito de uso dos recursos hídricos, para fins de consumo final, insumo de processo produtivo ou lançamento de resíduos, dentre outros usos³⁵.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, em seu art. 34 aponta que, “os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente nos corpos de água desde que obedeçam às condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis³⁶”.

Com relação ao lançamento do lodo em corpos hídricos, no caso do Brasil, esta prática é a principal forma de disposição desse resíduo, sendo adotada em mais de 80% das ETAs. Já nos EUA, por exemplo, apenas 11% do lodo gerado é lançado em corpo hídrico, enquanto o maior percentual (25%) é utilizado para a agricultura. Vale salientar que as diferenças

existentes, principalmente, entre o solo e as condições climáticas dos dois países são fatores que podem interferir na viabilidade da utilização desse resíduo⁷.

A Figura 3 apresenta um esquema que explica a formação desse lodo na ETE, apontando as etapas do método convencional de tratamento (ciclo completo), e indicando as principais unidades geradoras do lodo (decantador e filtro).

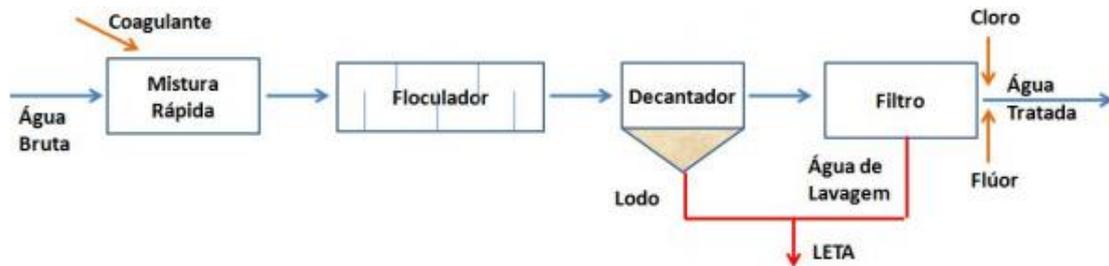


Figura 3 - Origem do lodo em tratamento convencional para potabilização da água. Fonte: Soares et al²⁴

Em relação a composição desse lodo formado nas ETAs, Portella et al³⁷, afirmam que, além da formação de sólidos, o resíduo é caracterizado por conter algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, colóides, areias, argilas, siltes, cálcio e metais. Alguns desses metais são potencialmente tóxicos aos organismos aquáticos. Essa toxicidade depende das características físico-químicas, assim como das características do corpo hídrico; da qualidade/tipo/dosagem dos coagulantes e de outros produtos químicos; pH de coagulação e o tipo de tecnologia de tratamento. Portanto, o lodo gerado em ETAs podem causar efeitos danosos ao meio ambiente, como: solo (salinização, acúmulo de metais, lixiviação de nitrato); na água (elevação da turbidez, conseqüente comprometimento dos processos fotossintéticos, elevação da matéria orgânica e conseqüentes incidentes de mortandades de organismos aquáticos); além de comprometer a flora e a fauna aquáticas

Tsutiya & Hirata³⁸ apontam alguns exemplos de usos mais utilizados ou de maior potencial para o lodo gerado em ETAs, como: fabricação de cimento, cultivo de grama comercial, compostagem, solo comercial, descarga em estações de tratamento de esgotos, recuperação de coagulantes e ainda, utilização para a melhoria da sedimentabilidade em águas de baixa turbidez e controle de H₂S (sulfeto de hidrogênio)⁴⁰.

3. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar as características microbiológicas do lodo ativado no tratamento de resíduos orgânicos.

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar a microfauna do sistema de lodo ativado e relacioná-la com os parâmetros físico-químicos do processo industrial.
- Aplicar a análise microbiológica como ferramenta na otimização e controle dos processos de tratamento de resíduos orgânicos.

4. HIPÓTESE

A análise microbiológica do lodo ativado pode ser utilizada como ferramenta na otimização e controle dos processos envolvidos no tratamento de resíduos orgânicos provenientes da indústria química.

5. METODOLOGIA

5.1. Descrição do estudo

Este estudo tem o objetivo de avaliar a qualidade do lodo ativado utilizado na indústria química, bem como a relação da análise microscópica com os parâmetros físico-químicos. O estudo foi realizado no período de 01 de junho de 2019 até 01 de julho de 2020. As amostras foram coletadas da unidade de tratamento de efluentes da empresa Blue Cube do Brasil Comércio de Produtos Químicos LTDA (Biox), localizada na Avenida Santos Dumont número 4444, no bairro Conceiçãozinha, no município do Guarujá, estado de São Paulo. O efluente tratado é majoritariamente oriundo da fábrica de resina Epóxi, material orgânico e de difícil degradação.

5.2. Coleta das amostras

As amostras foram coletadas todos os dias após à 0h (conforme protocolo da empresa) com o auxílio de coletor em aço inox no reator biológico (tanque D502), no efluente de entrada (tanque D520) e de saída (tanque D523). As amostras foram coletadas junto a suas válvulas de saída, sendo necessário a eliminação de 3 litros (L) antes da coleta da amostra, o volume de amostra foi armazenado em frascos brancos de polietileno (modelo coex) de 1L. As amostras foram armazenadas para posterior análise química e microbiológica.

As amostras coletadas foram submetidas a análise em até uma hora após a coleta, caso contrário as amostras passariam por processo de preservação em até uma hora após coleta, o processo de preservação foi realizado conforme a análise que se desejaria realizar posteriormente (procedimento interno da empresa). Ao todo foram analisadas 401 amostras, entretanto por seguir o protocolo analítico interno da empresa, não foram realizadas todas as análises para todas as amostras.

5.3 Análise dos parâmetros físico-químicos

Os resultados dos parâmetros físico-químicos foram obtidos a partir da extração de dados do sistema LIMS (*Laboratory Information Management System*) com autorização da

empresa Blue Cube. Os resultados foram obtidos a partir de procedimentos internos da empresa baseado no Apha (*Standard methods for the examination of water and wastewater - 1998*). Foram analisados os seguintes parâmetros: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), potencial hidrogeniônico (pH), porcentagem de cloreto de sódio (NaCl), carbono orgânico não purgável (NPOC) e nitrogênio amoniacal (N. amoniacal). Os protocolos para a análise desses parâmetros foram adaptados e são considerados propriedade intelectual da empresa, dessa forma não podem ser divulgados.

5.4 Análise microbiológica

Para a análise microscópica do lodo ativado, foi adaptado a metodologia de David Jenkins²⁹. A análise foi realizada em até uma hora após a coleta das análises e efetuada em triplicata.

As amostras utilizadas para a análise microbiológica foram retiradas do reator biológico (D502). Foi retirado alíquota de 50 µL da amostra e colocado sobre uma lâmina de microscopia, e foi colocado cuidadosamente uma lamínula sobre a lâmina. É importante muito cuidado para não realizar movimentação vertical entre a lâmina e a lamínula, o que pode acarretar o comprometimento do floco biológico. A lâmina contendo o lodo ativado foi analisada em microscópio óptico (Olympus – Modelo Vanox). Foram analisadas e categorizadas as características dos flocos e a presença de outros microrganismos.

Com relação aos filamentos, Jenkins aplica uma ordem crescente para o grau de filamentos de A a F. Nós realizamos uma classificação de 1 a 3 de acordo com as características dos filamentos, sendo o número 1, pior característica do filamento e o número 3, como o filamento ideal para o lodo ativado. Na metodologia de Jenkins, os filamentos avaliados como A e F são os mais críticos (A com falta de filamentos e F com excesso) e para esses atribuímos o número 1; os sistemas caracterizados como B e E (sistemas com poucos ou muitos filamentos) são atribuídos o número 2 e para os sistemas classificados como C e D (grau bom de filamentos) foram atribuídos o número 3.

Com relação a qualidade dos flocos, Jenkins apresenta algumas sugestões de como seriam, mas devido às peculiaridades de cada processo a avaliação precisa ser realizada com parcimônia, uma vez que mesmo na presença de flocos não caracterizados como adequados para a sedimentação o processo pode apresentar resultados satisfatórios. As características

relativas a qualidade dos flocos foram classificadas de forma crescente, sendo 1 (pior qualidade) e 3 (melhor qualidade).

A análise dos protozoários foi realizada através da quantidade e do seu comportamento no lodo ativado. Foi criada uma escala de 1 a 4, sendo o número 1 representando o pior comportamento dos protozoários e o 4, o melhor. O número 1 indica ausência (ou inativos) ou excesso de protozoários; número 2 indica poucos protozoários com baixa atividade; número 3 indica poucos protozoários e ativos; número 4 indica quantidade moderada de protozoários e ativos.

Foi realizada também a análise quanto a presença/ausência de outros microrganismos, tais como: protozoários livres, protozoários fixos, protozoários ciliados, protozoários flagelados e micrometazoários.

5.5 Análise estatística

A análise descritiva dos parâmetros físico-químicos foi calculada como média e o desvio padrão de todos os parâmetros no período estudado.

Os dados dos parâmetros estudados passaram pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilk. E a análise da associação entre os parâmetros foi realizada através da correlação de Spearman. Foi considerado correlação significativa quando $p < 0,05$. O coeficiente de correlação (r) foi considerado como: correlação fraca ($0,3 < r < 0,5$); moderada ($0,5 < r < 0,7$); forte ($0,7 < r < 0,9$); e perfeita ($r > 0,9$). Todas as análises estatísticas foram realizadas através do software SPSS versão 11 (IBM).

6. RESULTADOS

6.1 Parâmetros físico-químicos

A tabela 4 apresenta a média e os desvios padrões dos parâmetros físico-químicos analisados no período.

Tabela 4 - valores médios dos parâmetros físico-químicos ao longo do período estudado

Parâmetro	Efluente de Entrada	Efluente de saída	Reator
DBO (ppm)	12135 ± 3093	494 ± 304	N.A.
NPOC (ppm)	7486 ± 1192	403 ± 138	1063 ± 499
pH	12,8 ± 0,2	7,9 ± 0,2	7,9 ± 0,4
NaCl (%m/m)	14,7 ± 1,1	4,8 ± 0,5	4,9 ± 0,4
N. Amoniacal (ppm)	N.A.	7,8 ± 14,8	7,2 ± 24,5
Remoção de DBO (%)*		95,5	

*Remoção de DBO é a subtração da DBO do efluente de entrada menos a de saída dividido pela DBO do efluente de entrada e multiplicado por 100 (esses dados sofrem ajustes pela vazão diária de entrada e saída de efluente).

O valor de DBO no efluente de entrada foi de 12135 ppm e no efluente de saída foi de 494 ppm, indicando uma depuração de 95%. O valor de NPOC no efluente de entrada foi 7486 ppm e no efluente de saída foi de 403 ppm. No reator, o pH avaliado foi 7,9, a salinidade (NaCl) foi 4,9% e o nitrogênio amoniacal foi de 7,2 ppm.

6.2 Análise microbiológica

A avaliação microbiológica se deu de acordo com o método de Jenkins²⁹, passando por adaptações que levam em conta as características do lodo gerado na unidade estudada. Foram realizadas 298 análises durante o período estudado, algumas amostras foram analisadas mais de uma vez no mesmo dia. A tabela 5 indica a quantidade de eventos que ocorreram de acordo com as categorias analisadas.

Tabela 5 - Resultado das análises microscópicas do lodo ativado

Categorias	1	2	3	4	TOTAL
Grau de filamentos	45	183	70	-	298
Tipo de floco	126	134	38	-	298
Comportamento protozoários	2	229	58	9	298

A análise de alguns microrganismos foi determinada através da presença ou ausência de cada microrganismo na lâmina analisada. A tabela 6 indica o número de vezes que foram encontrados os diversos microrganismos.

Tabela 6 - Resultado das análises microscópicas do lodo ativado

Categorias	Presente	Ausente	TOTAL
Livres	297	1	298
Fixos	3	295	298
Ciliados	294	4	298
Flagelados	37	261	298
Micrometazoários	1	297	298

6.2.1 Grau de filamentos

Os filamentos são formados por bactérias que se unem umas às outras, gerando estruturas alongadas que fornecem estruturação aos flocos biológicos. A figura 4 demonstra a presença de filamentos em um floco presente no lodo ativado.

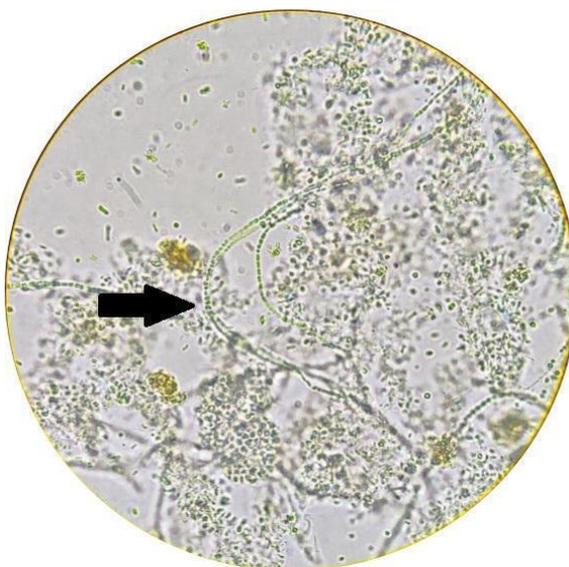


Figura 4 - Microscopia óptica com aumento de 1000X - A seta indica dois filamentos que se entrelaçam, na imagem vemos bactérias unidas formando os filamentos com suas extremidades internas ao floco e uma região externa que se assemelha a uma alça.

As amostras foram categorizadas de acordo com a quantidade de filamentos presentes nos flocos. A figura 5 é uma imagem característica de cada uma das categorias atribuídas, sendo letra A (sistema com quantidade ideal de filamentos), letra B (sistema com um pouco mais de filamentos, mas ainda dentro do indicado) e letra C (sistema com quantidade excessiva de filamentos).

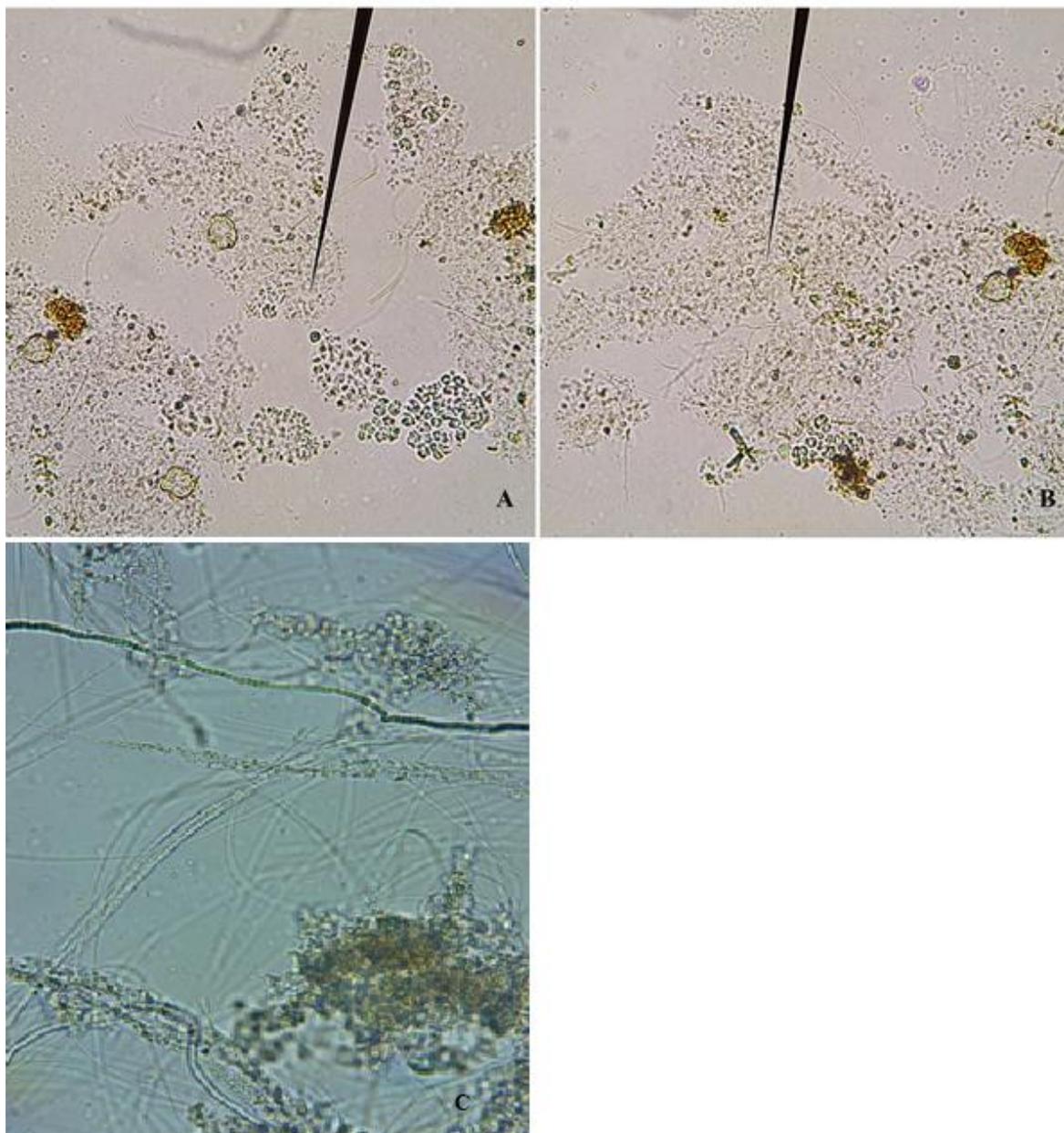


Figura 5 - Microscopia óptica com aumento de 200X. **A** - Floco com quantidade ideal de filamentos, floco com bordas definidas e condições ideais para sedimentação (característica 3). **B** - Flocos com um grau um pouco maior de filamentos gerando um floco com maior superfície de contato e possível resistência à sedimentação (característica 2). **C** - Observamos a presença excessiva de filamentos, criando uma teia e conectando diferentes flocos (característica 1). Esse tipo de ocorrência pode gerar o arrastes de sólidos no decantador secundário e por consequência baixa qualidade no efluente de saída.

6.2.2 Características dos flocos

Os flocos são a unidade fundamental do sistema de lodos ativados, são estruturas complexas formadas por bactérias, substâncias orgânicas, substâncias inorgânicas, protozoários e eventualmente fungos, algas e micrometazoários.

A figura 6 representa flocos bem formados (imagem A e B), que indica bom estado depurativo e fácil sedimentação. Flocos com bordas pouco definidas e dispersos (imagem C e D) apresentam baixa resistência mecânica, difícil sedimentação e estão associados à presença de células livres que muito provavelmente irão para o corpo receptor ao final do processo.

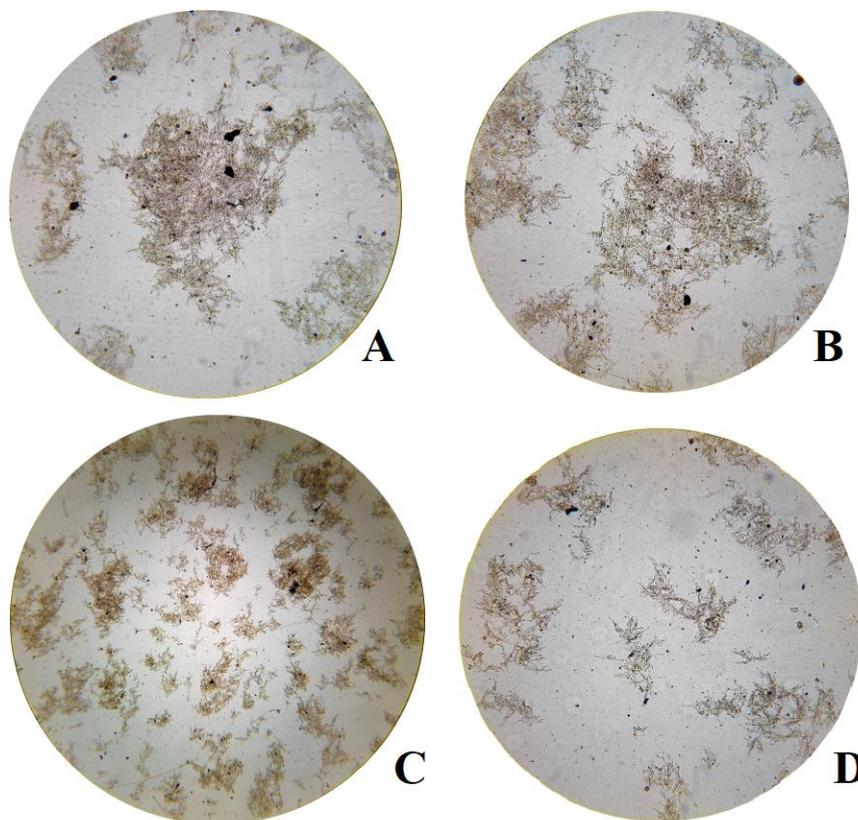


Figura 6 - Microscopia óptica com aumento de 100X. **A** - Apresenta flocos bem estruturados com bordas definidas o que acarretará em boa sedimentação no decantador secundário (caracterizado como 3 em nossa avaliação). **B** - apresenta flocos um pouco menos definidos e menos densos do que em “A”, condições intermediárias entre a classes 3 e 2, mais mesmo assim foi classificado como 3 . **C** – apresenta flocos pequenos e densos, alguns com bordas definidas e outros com bordas dispersas alguns flocos conseguirão decantar, mas ocorrerá a saída dos menores e dispersos para o efluente final (classificado como 2). **D** - apresenta flocos dispersos, sem estruturação, com bordas estreladas, este tipo de floco apresentará muita dificuldade em decantar devido ao aumento da superfície de contato (classificado como 1)

A figura 7, demonstra células livres que não conseguiram ser aglutinadas em flocos biológicos devido a altas concentrações de íons de sódio (Na^+), a medição de salinidade indicou 14,4% de NaCl na amostra. A presença de sódio está associada à dificuldade do material polimérico extracelular se aglutinar unindo as células bacterianas.



Figura 7 - Microscopia óptica com aumento de 1000x. Células livres devido a não formação de floco pela ação de grandes concentrações do íon Na^+ . Formações de células livres não apresentam peso para decantar acarretando o arraste de sólidos no decantador secundário e ineficiência do processo de tratamento.

6.2.3 Protozoários e seu comportamento

Como indicado na tabela 6, os protozoários fixos foram encontrados somente em 6 análises. Com relação aos protozoários livres, a presença dos ciliados foi expressiva, sendo encontrados em 294 análises. Foram encontrados 37 protozoários do tipo flagelado. A figura 8 demonstra uma imagem representativa dos diversos protozoários analisados.

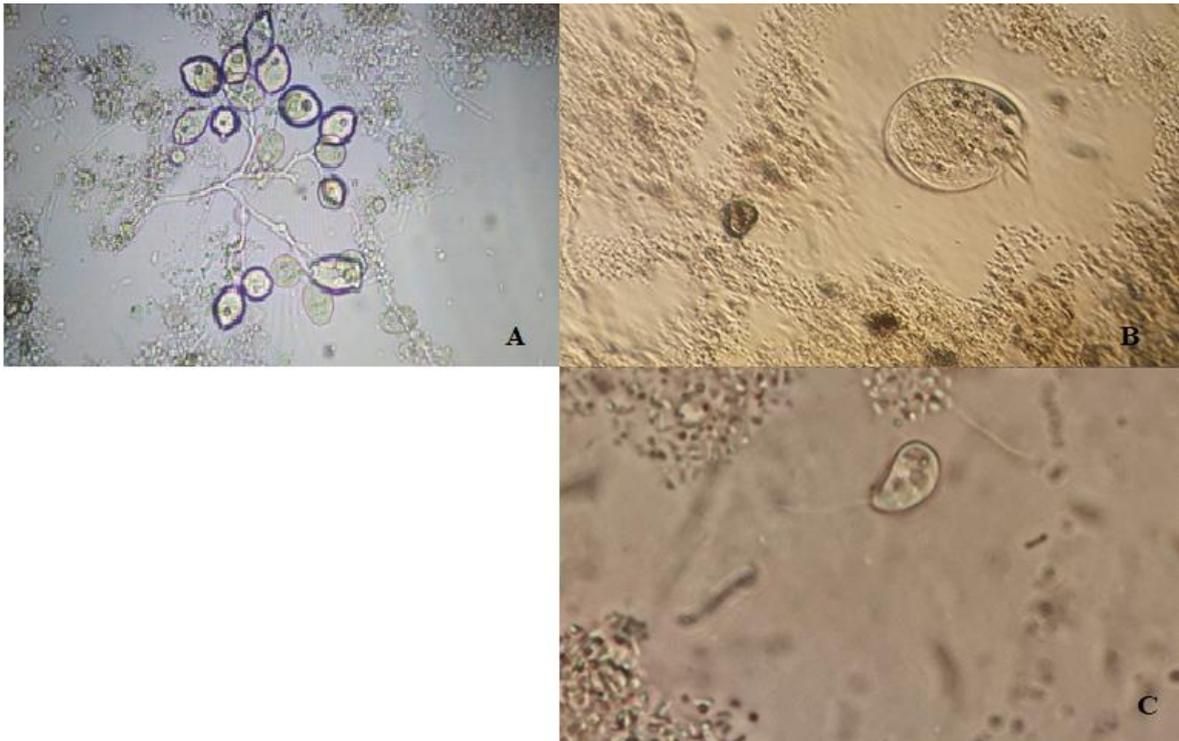


Figura 8 - Microscopia óptica com aumento de 400X. A - A imagem apresenta um protozoário fixo. B - Protozoário de vida livre ciliado. C - Protozoário de vida livre flagelado. Ao longo do estudo foi observada que a salinidade foi fator relevante para a presença e comportamento dos protozoários.

6.2.4 Micrometazoários

A presença de micrometazoário só foi observada em 1 análise durante o período estudado. A figura 9 apresenta o nematoide que foi encontrado no lodo ativado.



Figura 9 - Microscopia óptica com aumento de 400X. Nematóide perfurando floco biológico para se alimentar, a presença de organismos pluricelulares indica bom estado depurativo do processo, baixa toxicidade e idade de lodo avançada.

6.3 Análise de Correlação

A análise de correlação avaliou a correlação dos parâmetros microbiológicos e os físico-químicos. Com relação ao Carbono orgânico não purgável (NPOC), houve forte correlação positiva ($r=0.712$) com a salinidade (NaCl), ou seja, quanto maior a concentração de NPOC maior será a salinidade (Figura 10).

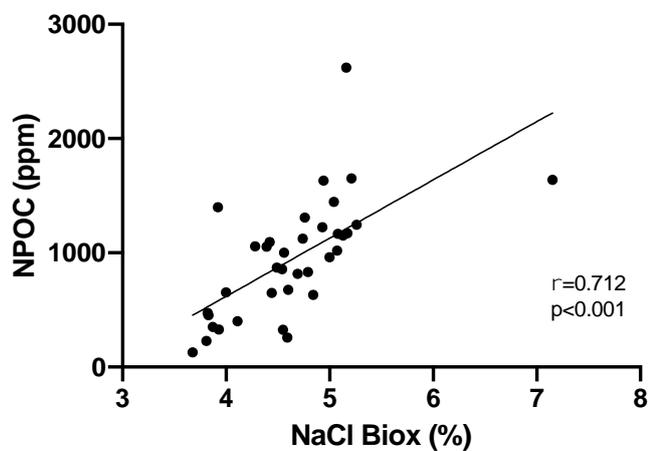


Figura 10 - Gráfico da correlação entre a concentração de NPOC com a salinidade (NaCl Biox). Houve correlação positiva entre os dois parâmetros, $p<0.001$.

A figura 11 demonstra a correlação entre a o NPOC e a característica dos flocos, houve moderada correlação negativa ($r=-0.645$). Quanto menor a concentração de NPOC melhor será a qualidade dos flocos, sendo a categoria 3 como flocos pequenos e/ou médios com bordas bem definidas. A tabela ao lado indica os valores médios de NPOC de acordo com a característica do floco.

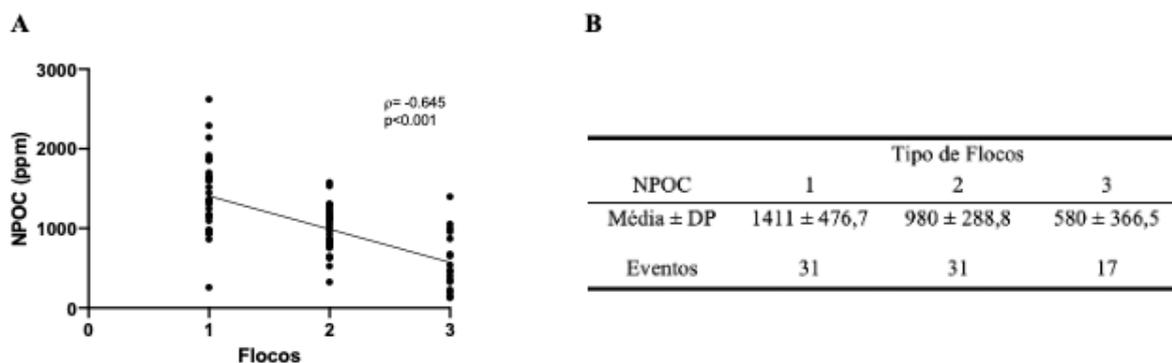
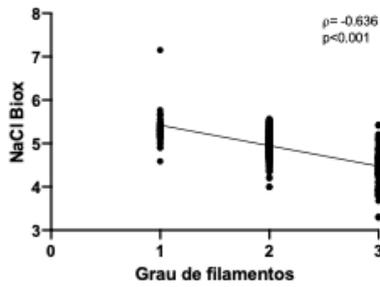
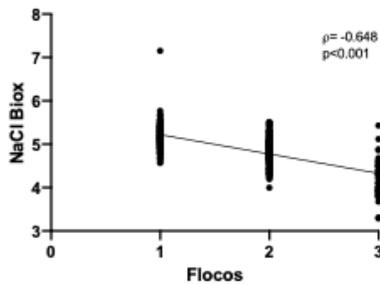


Figura 11 - Gráfico da correlação entre a concentração de Carbono orgânico não purgável (NPOC) com a característica do floco. A: Os flocos foram classificados de acordo com suas características, sendo 1 (pior) e 3 (melhor). O NPOC resultou em correlação negativa com a qualidade do floco, $p < 0,001$. B: Tabela indicando os valores de média e desvio padrão do NPOC de acordo com a classificação do floco, e o número de eventos analisados nessa correlação.

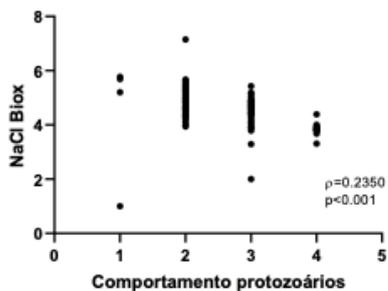
A salinidade (NaCl Biox) demonstrou uma correlação negativa com a qualidade dos flocos, com o grau de filamentos dos flocos e com a quantidade e comportamento dos protozoários (Figura 12). A melhor qualidade dos flocos (categoria 3) está correlacionada moderadamente ($r= -0.648$) com a menor salinidade (Figura 12A). O grau de filamentos também obteve correlação negativa moderada com a salinidade, dessa forma, quanto menor a salinidade melhor será a qualidade dos filamentos dos flocos (Figura 12C). A quantidade e qualidade dos protozoários também demonstrou correlação negativa moderada ($r= -0.541$) com a salinidade, ou seja, quanto menor a salinidade maior será o comportamento dos protozoários (Figura 11D). As tabelas ao lado de cada gráfico representam os valores médios de salinidade de acordo com as características da análise microbiológica.

A**B**

NaCl Biox	Grau de filamentos		
	1	2	3
Média ± DP	5,3 ± 0,4	4,9 ± 0,3	4,4 ± 0,4
Eventos	47	213	84

C**D**

NaCl Biox	Características dos Flocos		
	1	2	3
Média ± DP	4,9 ± 0,3	4,9 ± 0,5	4,8 ± 0,6
Eventos	139	158	47

E**F**

NaCl Biox	Comportamento dos protozoários			
	1	2	3	4
Média ± DP	5,5 ± 0,3	5,0 ± 0,4	4,5 ± 0,3	3,8 ± 0,2
Eventos	3	266	64	11

Figura 12 - Gráfico das correlações entre da salinidade (NaCl Biox) com outros parâmetros analisados. A: Os flocos foram classificados de acordo com suas características, sendo 1 (pior) e 3 (melhor). A salinidade resultou em correlação negativa com a qualidade do floco. C: Os filamentos foram classificados de acordo com suas características, sendo 1 (pior) e 3 (melhor). A salinidade resultou em correlação negativa com o grau de filamento dos flocos. E: O comportamento dos protozoários foi classificado de acordo com suas características, sendo 1 (pior) e 4 (melhor). A salinidade também resultou em correlação negativa com o comportamento dos protozoários. $p < 0,001$. As Tabela B, D e F demonstra os valores de média e desvio padrão do NaCl de acordo com cada análise microbiológica, bem como o número de eventos analisados em cada correlação.

Com relação aos parâmetros biológicos, houve correlação positiva entre o comportamento dos protozoários e as características dos flocos. O grau de filamentos dos flocos obteve correlação positiva moderada ($r = 0,537$) com a quantidade e qualidade dos protozoários (Figura 13A). Da mesma forma, a qualidade dos flocos também demonstrou correlação positiva moderada ($r = 0,586$) com as características dos protozoários (Figura 13B).

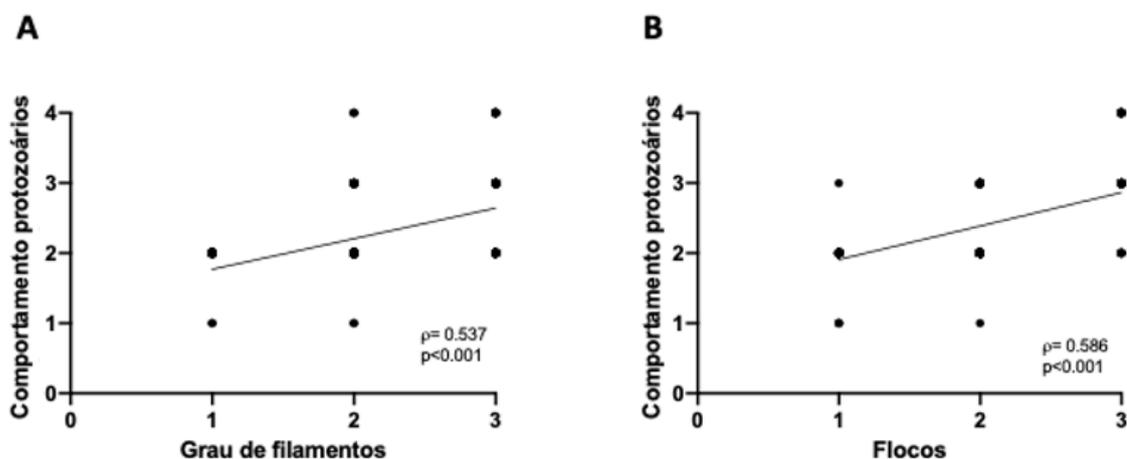


Figura 13 - Gráfico das correlações entre o comportamento dos protozoários com outros parâmetros analisados. O comportamento dos protozoários foi classificado de acordo com suas características, sendo 1 (pior) e 4 (melhor). A: Os filamentos foram classificados de acordo com suas características, sendo 1 (pior) e 3 (melhor). O comportamento dos protozoários mostrou correlação positiva com o grau de filamentos dos flocos. B: Os flocos foram classificados de acordo com suas características, sendo 1 (pior) e 3 (melhor). O comportamento dos protozoários mostrou correlação positiva com a qualidade dos flocos. $p < 0,001$.

A qualidade dos flocos demonstrou correlação positiva moderada ($r = 0,673$) com o grau de filamentos dos flocos (Figura 14). Ou seja, quanto melhor a qualidade dos flocos melhor é a o grau de filamentos dos flocos.

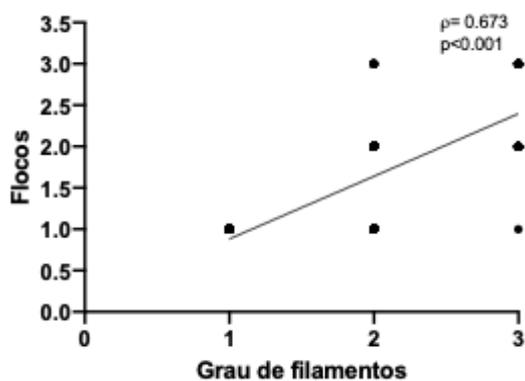


Figura 14 - Gráfico demonstrando correlação positiva entre a qualidade dos flocos e o grau de filamentos. $p < 0,001$.

7. DISCUSSÃO

O sistema de lodo ativado é o tratamento biológico frequentemente empregado no tratamento de efluentes domésticos e industriais⁵. Para que seu funcionamento ocorra de maneira eficaz, primeiro, o crescimento apropriado dos microrganismos que coexistem na biomassa que forma o lodo deverá ser positivo, e segundo, deverá haver o bom desempenho da separação sólido-líquido que acontece na unidade de decantação do sistema³⁹.

Os parâmetros físico-químicos são importantes para avaliar a qualidade do processo de maneira rápida. Os nossos resultados demonstraram que o valo da DBO na entrada do processo foi expressivamente superior à saída, o que aponta eficiência no tratamento a partir da remoção da carga orgânica do sistema. O sistema utilizando lodo ativado deve operar em uma faixa de pH entre 6,5 a 8,5, conforme Von Sperling³⁶. Os valores de pH observados no nosso trabalho estavam dentro do desejável em todos os reatores. O valor de pH básico da etapa de entrada comparado aos demais comprova a eficiência do sistema. Em relação ao cloreto de sódio, as maiores concentrações contribuem fortemente para inibição bacteriana nos lodos ativados em estações de tratamento, apontando para uma deficiência na qualidade do efluente. Além disso, pequenos íons como sódio (Na⁺) podem interferir negativamente na formação dos flocos biológicos comprometendo o processo de separação entre sólidos e o efluente no decantador secundário. O valor de salinidade avaliado no reator teve média de 4,9%, valor relativamente elevado. A concentração do nitrogênio amoniacal aumentou da entrada para saída, porém, em maior concentração no reator biológico, tal fenômeno é justificado pela dosagem de ureia no reator visando fornecer nitrogênio como nutriente indispensável para a microfauna do lodo devido sua utilização na formação de aminoácidos. A presença de compostos nitrogenados em corpos hídricos pode indicar processos de eutrofização, e como consequência a toxicidade aos organismos, entretanto os valores apresentados ao longo do período estudado não representam risco ambiental.

Os resultados deste trabalho indicaram que a análise microbiológica foi importante para detectar as alterações durante o processo. Em relação a comunidade microbiológica selecionada para a composição deste estudo, cabe destaque para os protozoários e metazoários, os quais são considerados microrganismos importantes⁸, haja visto que apontam a qualidade do efluente líquido tratado, contribuindo para o aumento da eficiência do tratamento de efluentes nos sistemas de lodos ativados, uma vez que estão associados com o uso da comunidade biológica presente no ecossistema, atuando como indicadores biológicos

da eficiência. Entretanto, no nosso estudo não houve a presença importante de protozoários fixos, flagelados e dos micrometazoários. Esse fato pode ser justificado devido o valor da salinidade com média anual de 4,9%, valor elevado para o desenvolvimento desses microrganismos⁸. Dessa forma, a presença desses protozoários não foi importante para determinar a qualidade do lodo na amostra analisada.

A partir da análise de correlação é possível concluir que uma quantidade adequada de bactérias filamentosas é importante para a formação de flocos bem estruturados e com boa capacidade de sedimentação (correlação de 0,673), como ressaltam Bento⁷, Sarr⁸ e Piedade⁹. Tal fato deve-se a necessidade de filamentos como agentes estruturantes para a formação do floco biológico⁷. A falta dos filamentos nos flocos irá dificultar o crescimento adequado, causando a formação de pequenos flocos e dificultando a sedimentação. Embora os resultados apontem que a maior quantidade de filamentos acarretará melhora nos flocos biológicos, é importante salientar que o excesso de filamentos pode ocasionar a fragmentação dos flocos biológicos ou a formação de uma rede com vários flocos pequenos unidos por filamentos, processo conhecido como *Bulking* filamentoso²⁷.

Com relação ao comportamento dos protozoários, este apresentou correlação positiva com o grau de filamentos e o floco biológico (0,537 e 0,586 respectivamente). Entendemos que as condições adequadas para o desenvolvimento dos filamentos e do floco biológico se estendem para a presença e comportamento dos protozoários, os protozoários por serem formados por células mais complexas que as bactérias apresentam menos resistência a determinadas condições³⁹ apresentando melhora mais tardiamente quando comparado com o grau de filamentos e talvez isso justifique a menor correlação dele com o grau de filamentos e formação do floco, do que a que esses dois parâmetros apresentaram entre si.

A presença dos filamentos, o comportamento dos protozoários e a característica dos flocos foram afetados negativamente pelo aumento da salinidade (correlação de -0,648; -0,541 e -0,636 respectivamente). A sanidade aumenta a pressão osmótica o que pode acarretar dificuldade no desenvolvimento desses microrganismos²². O aumento da salinidade afeta a formação do floco através de duas formas principais: a diminuição do grau de filamentos e o comprometimento das ligações formadas pelo material polimérico extracelular (parte gelatinosa do floco) que possui carga negativa e sofre influência do sódio por ser um íon pequeno e eletrostaticamente ativo⁴¹. Embora o íon sódio seja importante para as células^{22,29} e por consequência para o processo, a concentração encontrada no processo foi excessiva gerando consequências negativas.

Ao avaliar o processo esperávamos que a correlação entre o NPOC e NaCl fosse próxima a 1,0, devido ao fato que os dois componentes são provenientes do mesmo efluente a ser tratado. Entretanto, a correlação observada no estudo foi de 0,712, essa discrepância pode ser devida ao fato que o efluente passa por processo prévio de correção de pH com ácido sulfúrico, resultado na formação de dióxido de carbono (evidenciado por bolhas de CO₂), ou seja, parte do NPOC pode ser degradado pela mudança do pH antes mesmo de entrar no processo. Outro ponto que corrobora com a correlação menor do que a esperada é que a amostra é proveniente do tanque de aeração, onde os microrganismos já degradaram parte do NPOC, o que não ocorre com o NaCl.

A correlação do NPOC com o comportamento dos protozoários (-0,566) e flocos (-0,645) observada no nosso trabalho foi diferente da encontrada na literatura, que demonstra que a maior disponibilidade de alimento implicaria em maior quantidade e atividade dos microrganismos⁸, entretanto observamos o oposto. Como discutido anteriormente, o aumento da salinidade afeta o processo, e o NaCl teve correlação positiva com o NPOC. Dessa forma, podemos afirmar que o NPOC não afeta negativamente o desenvolvimento dos microrganismos, mas sim, devido ao aumento de NaCl que ocorre concomitante com o NPOC é o responsável pelo resultado observado.

Os resultados de modo geral estão de acordo com a literatura acerca dos sistemas de lodo ativado, mas os resultados demonstram que as características químicas e biológicas são características de cada lodo ativado, que pode variar de acordo com sua origem. Embora o NaCl represente uma dificuldade para o processo, a salinidade ajuda a evidenciar como os parâmetros microbióticos estão fortemente associados entre si e sofrem influências dos parâmetros físico-químicos o que reforça o uso da análise microbiológica como análise da condição geral do processo de tratamento.

8. CONCLUSÃO

O trabalho conclui que existe associação entre os parâmetros físico-químicos e a características microbiológicas do lodo ativado. As análises mais importantes para a avaliação do lodo ativado foram: quantidade de filamentos, característica dos flocos, e o comportamento dos protozoários. A salinidade é um fator importante que afeta negativamente a qualidade do floco. Dessa forma, a análise microscópica pode ser utilizada como ferramenta auxiliar na análise do lodo ativado.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ministério da Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Brasília. 2006. [acesso em 30 set 2021]. Disponível em: https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf.
2. Organização das Nações Unidas. Declaração dos direitos da água. Genebra. 1992 [acesso em 30 set 2021]. Disponível em: <http://www.direitoshumanos.usp.br/index.php/Meio-Ambiente/declaracao-universal-dos-direitos-da-agua.html>.
3. Richter CA, Netto JM de A. Tratamento de Água: tecnologia atualizada. São Paulo: Blucher; 1991.
4. Derisio JC. Introdução ao controle de poluição ambiental. 4ª ed. São Paulo: Oficina de Textos; 2012.
5. Von Sperling M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais; 1997.
6. Braga B, Hespanhol I, Conejo JGL, Mierzwa JC, de Barros MTL, Spencer M, et al. Introdução à Engenharia ambiental. 2ª. São Paulo: Person Prentice Hall; 2005.
7. Bento AP, Sezerino PH, Philippi LS, Reginatto V, Lapolli FR, et al. Caracterização da Microfauna em estações de tratamento de esgoto do tipo lodo ativado: Um instrumento de avaliação e controle de processo; Vol. 10. Santa Catarina; 2015.
8. Saar JH. Microbiologia de Lodos ativados: Teoria e aplicações práticas para quem trabalha com processo de tratamento biológico de efluentes industriais se urbanos. Porto alegre: Gênese; 2015.

-
9. Piedade AL. Microbiologia de Lodos Ativados: Uma ferramenta fundamental no Gerenciamento de ETEs. São Paulo: Acquaconsulting; 2014.
 10. Monod J. Growth of bacterial culture. Paris: Annual Reviews 2007.
 11. Ministério da Saúde. Brasil. Portaria 2914, de 12 de dezembro de 2011. Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasil. 2011
 12. Chen X, Kong F, Fu Y, Si C, Fatehi P. Improvements on activated sludge settling and flocculation using biomass-based fly ash as activator. Sci Rep 9. 2019.
 13. Silva JM. Higienização do lodo de estação de tratamento de esgoto para utilização como material de cobertura de aterro sanitário. Monografia [Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSC] 2013.
 14. Von Sperling M. Introdução à qualidade de águas e ao tratamento de esgotos. 2ª Ed. Departamento de Engenharia Sanitária e ambiental. Minas Gerais: UFMG. 1996.
 15. Mello EJR. Tratamento de esgoto sanitário: Avaliação da estação de tratamento de esgoto do Bairro Novo Horizonte na cidade de Araguari – MG. Monografia [Conclusão de Curso] Universidade de Minas -UNIMINAS, Urbelândia – MG. 2007.
 16. Pinheiro BCA, Estevão GM, Souza DP. Lodo proveniente da estação de tratamento de água do município de Leopoldina, MG, para aproveitamento na indústria de cerâmica vermelha Parte I: caracterização do lodo. Matéria 19 (3), 2014.
 16. Costa AJC. Análise da Viabilidade de utilização de lodo de ETA coagulado com Cloreto de Polialumínio composto com areia como agregado miúdo em concreto para recomposição de calçadas – Estudo de caso na ETA do município de Mirassol-SP.São Carlos [Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos] Universidade de São Paulo, São Carlos-SP.2011.

-
17. Morita DM, Sampaio AO, Miki MK, David AC. Incorporação de lodos de estações de tratamento de água em blocos cerâmicos. Saneas; 2000.
 18. Van Haandel AC, Marais GVR. O comportamento do sistema de lodo ativado. Campina Grande: Epgraf; 1999.
 19. Andreoli CV et al. Lodo de esgoto: Tratamento e disposição final. Rio de Janeiro: Editora ABES; 2001.
 20. Metcalf E. Waste water engineering: Treatment, disposal and reuse. New York Ed. McGraw-Hill; 2002.
 21. Soares MR. Coeficiente de distribuição (kd) de metais pesados em solos do estado de São Paulo. 202p. Tese [Universidade de São Paulo]; 2004.
 22. Moreira YC. Composição e dinâmica de micro-organismos em sistema biológico de tratamento de efluentes do tipo lodo ativado submetido à redução gradual da idade do lodo. Juiz De Fora - MG. Monografia [Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária] - Universidade Federal de Juiz de Fora; 2018.
 23. Torres DPC. Estudo microbiológico da influência da adição química do ácido fólico em sistemas de lodos ativados. São Paulo. Dissertação. [Universidade de São Paulo] 2005.
 24. Gerardi MH. An operator's guide to protozoa and their role in the activated sludge process. 1986 Jul;44:47.
 25. Von Sperling M. Lodos ativados. 3ª. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.
 26. Von Sperling M. Introdução à qualidade da água e ao tratamento de esgotos. 3ª ed. – Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG; 2005.

-
27. Von Sperling, M. Princípio do tratamento biológico de águas residuárias: lodos ativados. Minas Gerais: UFMG; 1997.
 28. Jenkins D, Richard MG, Daigger GT. Manual on the causes and control of activated sludge bulking, foaming, and other solids separation problems. 3ª. ed. Boca Raton: Lewis Publishers; 2003.
 29. Ferreira AP, Cunha CLN, Roque OCC. Avaliação da microfauna no efluente final para monitoramento da qualidade ambiental em estações de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados. João Pessoa. Gaia Scientia ; 2008.
 30. Freire RS, Lauro RP, Kubota LT, Durán N, Peralta-Zamora P. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. Química Nova; 2000.
 31. Oliveira GSS, Araújo CVM, Fernandes JGS. Microbiologia de sistema de lodos ativados e sua relação com o tratamento de efluentes industriais: a experiência da Cetrel. Eng Sanit Ambient. 2009.Jun: 183:192.
 32. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (Lei das Águas). Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. ... 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.
 33. CONAMA nº 357/2005. 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.
 34. Portella KF, Andreoli CV, Hoppen C, Sales A, Baron O. Caracterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna. Curitiba, PR. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville; 2003.

-
35. Tsutiya MT, Hirata AY. Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água no Estado de São Paulo. In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa; 2001.
 36. Von Sperling M. Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors. IWA Publishing, 2017.
 37. Richard G. Activated Sludge Microbiology, Water Pollution Control, Alexandria, VA, 1989.
 38. Von Sperling M. Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors. [s.l.] IWA Publishing, 2017.
 39. Richard G. Activated Sludge Microbiology, Water Pollution Control, Alexandria, VA: 1989.
 40. Ferreira FD, Coraiola M. Eficiência do lodo ativado em uso contínuo para tratamento de esgoto. Rev Acad Cie Agr e Amb. 2008.
 41. Chen X, Kong F, Fu Y, Si C, Fatehi P. Improvements on activated sludge settling and flocculation using biomass-based fly ash as activator. Sci Rep. 2019 Oct 10;9(1):14590. doi: 10.1038/s41598-019-50879-6. PMID: 31601839; PMCID: PMC6787012.

5. ANEXOS
Anexo 1

PLANILHA DE CONTROLE – ANÁLISE MICROBIOLÓGICA

Analista: _____ Ponto de amostragem: _____

Data de amostragem: __/__/__ Horário de amostragem: __:__:__

Data de análise: __/__/__ Horário de análise: __:__:__

Características visuais do efluente/lodo

Cor: <input type="checkbox"/> Marrom claro <input type="checkbox"/> Marrom <input type="checkbox"/> Marrom escuro <input type="checkbox"/> Cinza claro <input type="checkbox"/> Cinza <input type="checkbox"/> Preto
Espuma: <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Muita <input type="checkbox"/> Branca <input type="checkbox"/> Marrom
Observações: _____

Floco Biológico

Tamanho: <input type="checkbox"/> Pequeno ou grande com bordas não definidas <input type="checkbox"/> Pequeno ou grande com bordas definidas <input type="checkbox"/> Tamanho médio com bordas definidas <input type="checkbox"/> Anexada imagem
Firmeza: <input type="checkbox"/> Floco sensível <input type="checkbox"/> Floco firme
Observações: _____

Grau de filamentos

Grau de filamentos: <input type="checkbox"/> Poucos <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Ideal <input type="checkbox"/> Muitos <input type="checkbox"/> Anexada imagem
Efeito dos filamentos: <input type="checkbox"/> Ideal <input type="checkbox"/> Ponte <input type="checkbox"/> Open-floc <input type="checkbox"/> Anexada imagem
Observações: _____

Protozoários

Presença de protozoários: <input type="checkbox"/> Livres <input type="checkbox"/> Fixos <input type="checkbox"/> Ciliados <input type="checkbox"/> Flagelados <input type="checkbox"/> Anexada imagem
Comportamento dos Protozoários: <input type="checkbox"/> Inativos <input type="checkbox"/> Ativos <input type="checkbox"/> Comportamento atípico
Quantidade de protozoários <input type="checkbox"/> Poucos <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Muitos <input type="checkbox"/> Anexada imagem
Observações: _____

Micrometazoários

Presença de micrometazoários: <input type="checkbox"/> Presentes <input type="checkbox"/> Ausentes <input type="checkbox"/> Anexada imagem
Comportamentos dos Micrometazoários: <input type="checkbox"/> Inativos <input type="checkbox"/> Ativos
Observações: _____

Anexo 2

Procedimento Operacional Padrão

Assunto: Microscópio Olympus – Modelo Vanox		 
Substitui: -		Vanox 01
Data de Operacionalização: 03/12/2020		Nº de Páginas: 07
Distribuição: Todos os envolvidos na análise microscópica do lodo ativado da empresa Olin		
Elaborado por: João Mario Barreiros		Data: 29 / 11 / 2020
Revisado por: _____		Data: __ / __ / __
Aprovado por: Edgar Maquigussa		Data: 02 / 12 / 2020
Obsoleto em: __ / __ / __ Motivo:		

1. OBJETIVO

Padronizar a utilização do microscópio ótico (Olympus – Modelo Vanox) pela equipe técnica da empresa Blue Cube Brasil Comércio de Produtos Químicos LTDA (Nome fantasia: Olin).

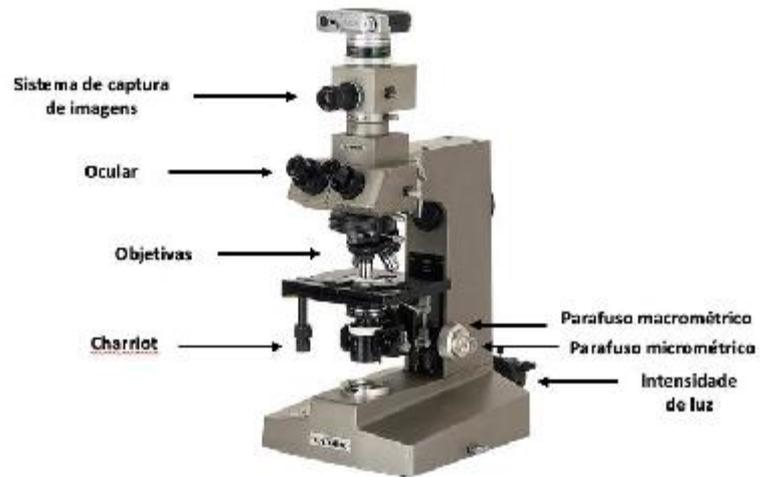
2. ABRANGÊNCIA

Todos os envolvidos na análise microscópica do lodo ativado da empresa Blue Cube Brasil Comércio de Produtos Químicos LTDA (Nome fantasia: Olin).

3. DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS

3.1 Identificação dos principais componentes do microscópio

Procedimento Operacional Padrão



Procedimento Operacional Padrão

3.2 Requisitos prévios

1. Antes de colocar a amostra de lodo ativado, certifique-se que a lâmina esteja limpa.
2. Sempre utilize a lâmina na presença da laminula.
3. Sempre utilize luvas para manusear as amostras e o microscópio.

3.3 Procedimentos para focalização das amostras

1. Ligue o aparelho no botão liga/desliga.
2. Coloque a lâmina na platina (mesa do microscópio), observe a figura abaixo.



3. Comece a focalizar a lâmina sempre na menor objetiva (10x). Utilize o canhão do microscópio para alterar a objetiva (figura abaixo). Nunca altere as objetivas segurando nas mesmas.



Procedimento Operacional Padrão

1. Utilize a ocular para observar a lâmina. Através do parafuso macrométrico (figura abaixo), gire o parafuso para ajustar o foco grosseiro.

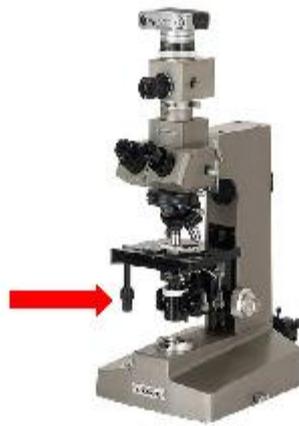


2. Uma vez realizado o ajuste grosseiro do foco, utilize o parafuso micrométrico (figura abaixo) para o ajuste fino do foco.



Procedimento Operacional Padrão

1. Para realizar uma varredura na amostra, utilize o Chariot (figura abaixo), e efetue movimentos na direção horizontal e na vertical.



2. Para aumentar a imagem, utilize o canhão para trocar a objetiva, indo da menor objetiva para a maior. Coloque na nova objetiva e foque a imagem novamente, utilizando somente o parafuso micrométrico. Repetir essa operação toda vez que alterar a objetiva.



3.4 Finalizando o uso do microscópio

1. Não esquecer a lâmina no microscópio após o uso.
2. Após finalizar o uso do microscópio, sempre volte a objetiva para o menor aumento (10x), abaixe a mesa até a posição inicial e desligue o microscópio.

Procedimento Operacional Padrão

3.5 Considerações gerais

1. Nunca utilize o óleo de imersão nas objetivas de menor grau. O óleo de imersão só é utilizado no aumento de 100x.
2. Nunca toque com os dedos o aparelho ótico do microscópio (lentes objetivas e oculares).
3. Não desloque o aparelho da bancada.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Olympus Vanox AH Universal Research Microscope Instruction Manual. Olympus Optical Co.Ltd.

Procedimento Operacional Padrão

Assunto: Análise microbiológica do Lodo Ativado		
Substitui: Controle Microbiológico de Processo	MicroBio 01	
Data de Operacionalização: 03/12/2020	Nº de Páginas: 06	
Distribuição: Todos os envolvidos na análise microbiológica do lodo ativado da empresa Olin		
Elaborado por: João Mario Barreiros	Data: 10/ 01/ 2022	
Revisado por: Elizabeth Barbosa de Oliveira-Sales	Data: 22 / 01 / 2022	
Aprovado por: Edgar Maquigussa	Data: 20 / 03 / 2022	
Obsoleto em: ___ / ___ / ___ Motivo:		

1. OBJETIVO

Procedimento operacional padrão para a análise microbiológica do lodo ativado.

2. ABRANGÊNCIA

Todos os envolvidos na análise microbiológica do lodo ativado da empresa Blue Cube Brasil Comércio de Produtos Químicos LTDA (Nome fantasia: Olin).

3. DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS

3.1 Requisitos prévios

1. Ler o procedimento de operação do "Microscópio Olympus – Modelo Vanox";
2. Garantir que o microscópio esteja em condições de uso;
3. Separar e verificar todo o material que será necessário para a análise;
4. Garantir que você foi treinado e se sente seguro na realização do procedimento.

Vanox 01 - Page 1 de 10

Procedimento Operacional Padrão

3.2 Amostra

A amostra deve ser representativa do processo (conforme procedimento "amostragem do processo de tratamento") e a amostragem deve ser realizada até uma hora antes da entrega ao laboratório, caso a análise não possa ser realizada imediatamente após o recebimento a amostra deve ser submetida a resfriamento à 4°C tendo validade de até 24h após a amostragem.

3.3 Procedimentos para preparo da amostra

A amostra deve ser homogeneizada lentamente de modo que não ocorra a formação de corpo de fundo no frasco.

Preparo da lâmina:

1. Na imagem abaixo, estão indicados a lâmina (esquerda) e lamínula (direita). As duas devem ser mantidas sobre papel seco e limpo durante todo o preparo. O manuseio deve ser realizado segurando apenas pelas bordas das lâminas.

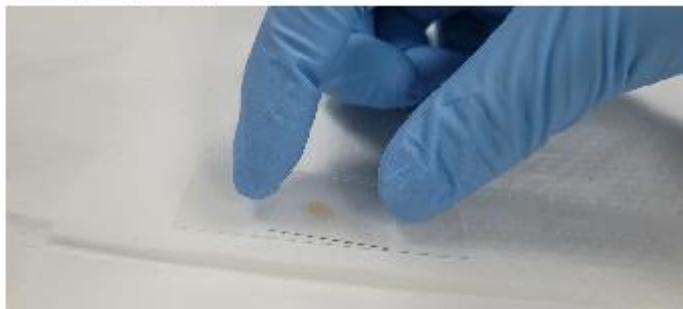


2. Com auxílio de uma pipeta de Pasteur acrescentar cuidadosamente uma gota de amostra sobre a lâmina.



Procedimento Operacional Padrão

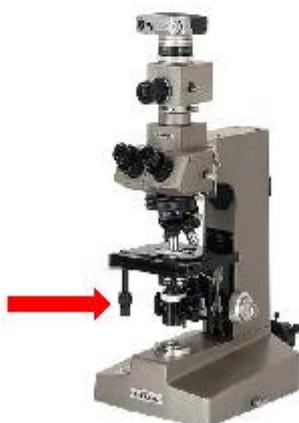
3. Cubra cuidadosamente a amostra com a laminula de modo que não ocorra a formação de bolhas e que a gota fique centralizada na laminula.



4. Após coberta a gota verifique quanto a presença de bolhas.



5. Com a lâmina pronta a análise pode ser iniciada no microscópio conforme procedimento "Microscópio Olympus – Modelo Vanox". A análise deve ser realizada em triplicata e cada lâmina ser montada ela deve ser avaliada imediatamente.



Vanox 01 - Page 3 de 10

Procedimento Operacional Padrão

3.4 Critérios de análise

A análise microbiológica é realizada conforme as seguintes métricas:

3.4.1 Grau de filamentos:

Na análise de grau de filamentos iremos quantificar os filamentos presentes nos flocos biológicos. Para isso, selecionar e avaliar, aleatoriamente 20 flocos conforme os critérios abaixo:

Tabela 1: Critérios de avaliação do grau de filamentos dos flocos biológicos

	Grau de Filamentosas	Quantidade de Filamentos
1	Baixo ou muito alto	Baixo: de 1 a 2 filamentos por floco Muito alto: mais do que 15 Filamentos por floco
2	Moderado ou alto	Moderado: de 3 a 5 filamentos por floco Alto: de 11 a 15 filamentos por floco
3	Ideal	Ideal: de 6 a 10 filamentos por floco

Na avaliação dos filamentos, serão avaliados 20 flocos, sendo que a categoria apresentada será quando a amostra tiver frequência igual ou superior a 75% (15 ou mais flocos).

A classificação será de acordo com a quantidade de filamentos no lodo ativado. Quantidade ideal de filamentos (categoria 3), quantidade moderada ou alta (categoria 2) e baixa ou muito alta (categoria 1)

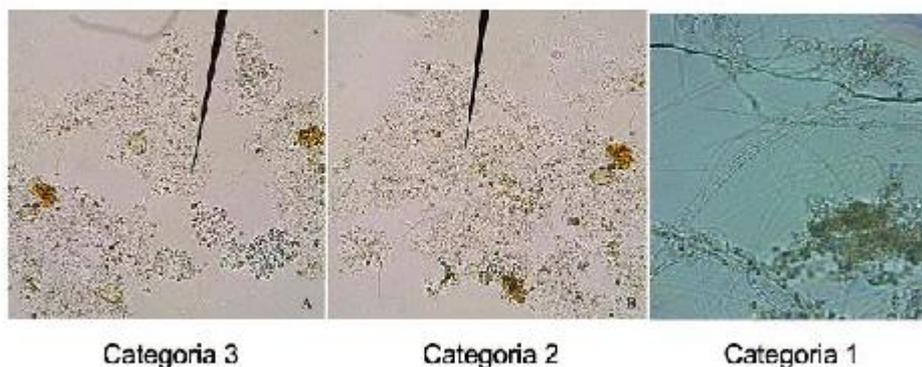


Figura 1: Imagens representativas das 3 categorias de graus de filamentos

Procedimento Operacional Padrão

3.4.2 Floco

A análise dos flocos exige o conhecimento prévio da relação do tamanho dos flocos com o desempenho do processo a ser avaliado

Abaixo são apresentados os valores de referências da metodologia do Professor Jenkins¹:

Tabela 2: Critérios de avaliação da qualidade dos flocos

	Floco	Tamanho
1	Pequeno ou grande com bordas não definidas	Pequeno: <150µm
2	Pequeno ou grandes com bordas definidas	Grande: >500µm
3	Pequeno ou médio e bordas definidas	Ideal: entre 150 µm e 500µm

Observação: Na análise dos flocos também serão avaliados 20 flocos e os critérios para categorização do sistema respeitarão os mesmos critérios que a análise de filamentos.

A figura abaixo representa flocos bem formados (categoria 3), que indica bom estado depurativo e fácil sedimentação. Flocos com bordas pouco definidas e pequenos (categoria 2) e flocos com bordas não definidas e dispersos (categoria 1).



Figura 2: Imagens representativas das 3 categorias de flocos biológicos

A característica do protozoário será avaliada de acordo com o comportamento referente a sua atividade.

Procedimento Operacional Padrão

3.4.3 Presença de protozoários e micrometazoários

Na análise da presença de protozoários e micrometazoários as lâminas, no aumento de 400x, deveram ser avaliadas integralmente a fim de se observar a presença desses organismos, caso seja observado um único indivíduo ou mais de um o valor atribuído será de 1 e caso nenhum organismo seja observado na triplicata será atribuído 0.

As categorias para essa análise são:

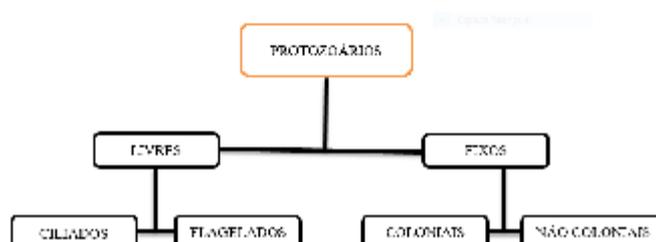


Figura 3: Esquema da classificação de protozoários

O lodo ativado será avaliado quanto a presença ou ausências dos seguintes microorganismos: protozoários livres e fixos, flagelados, ciliados e micrometazoários.

3.4.4 Comportamento dos protozoários

A análise de comportamento de protozoários é a que exige maior experiência do analista, uma vez que implica no conhecimento prévio de qual é o comportamento típico dos microorganismos em questão. É indicado que mesmo após o treinamento deste procedimento o novo analista receba suporte de profissional mais experiente para avaliar conjuntamente este parâmetro.

Abaixo o link de alguns vídeos para auxiliar na identificação de comportamento típico de protozoários:

Vídeo 1: https://www.youtube.com/watch?v=TTbS7_vZLNq

Vídeo 2: <https://www.youtube.com/watch?v=TwoBsRtciX8>

Vídeo 3: <https://www.youtube.com/watch?v=N5G0OBc4ozU>

Vídeo 4: <https://www.youtube.com/watch?v=SVrdoRZadeM>

Procedimento Operacional Padrão

Tabela 3: Critérios de avaliação dos flocos biológicos

Grau de Filamentosas	
1	Baixo ou muito alto
2	Moderado ou alto
3	Ideal

Floco	
1	Pequeno ou grande com bordas não definidas
2	Pequeno ou grandes com bordas definidas
3	Pequeno ou médio e bordas definidas

Comportamento do Protozoários	
1	Nenhum ou inativo ou excesso
2	Poucos e baixa atividade
3	Poucos e ativos
4	Moderados e ativos

Livres/Fixos	
0	Ausente
1	Presente

Flagelados	
0	Ausente
1	Presente

Ciliados	
0	Ausente
1	Presente

Micrometazoários	
0	Ausente
1	Presente

A avaliação será feita através do preenchimento do formulário "Planilha de Controle – Análise Microbiológica" (disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1rrReKS7ktl8S-86zqOLTeBHfMVphFUK/view?usp=sharing>)

Procedimento Operacional Padrão

PLANILHA DE CONTROLE - ANÁLISE MICROBIOLÓGICA

Análise: _____ Ponto de amostragem: _____

Data de amostragem: __/__/____ Horário de amostragem: ____:____

Data de análise: __/__/____ Horário de análise: ____:____

Características visuais do efluente/lodo

Cor:	<input type="checkbox"/> Marrom claro	<input type="checkbox"/> Marrom	<input type="checkbox"/> Marrom escuro	<input type="checkbox"/> Cinza claro	<input type="checkbox"/> Cinza	<input type="checkbox"/> Preto
Espumas:	<input type="checkbox"/> Azua	<input type="checkbox"/> Amarelo	<input type="checkbox"/> Branco	<input type="checkbox"/> Marrom		
Observações:	<hr/> <hr/>					

Floco Biológico

Tamanho:	<input type="checkbox"/> Pequeno ou grande com bordas não definidas	<input type="checkbox"/> Pequeno ou grande com bordas definidas
	<input type="checkbox"/> Tamanho médio com bordas definidas	<input type="checkbox"/> Ausência imagem
Firmeza:	<input type="checkbox"/> floco sensível	<input type="checkbox"/> floco firme
Observações:	<hr/> <hr/>	

Grão de filamentos

Grão de filamentos:	<input type="checkbox"/> Poucos	<input type="checkbox"/> Moderado	<input type="checkbox"/> Elevado	<input type="checkbox"/> Muitos	<input type="checkbox"/> Ausência imagem
Efeito dos filamentos:	<input type="checkbox"/> Ideal	<input type="checkbox"/> Pobre	<input type="checkbox"/> Open-floc	<input type="checkbox"/> Ausência imagem	
Observações:	<hr/> <hr/>				

Protozoários

Presença de protozoários:	<input type="checkbox"/> Livres	<input type="checkbox"/> Filos	<input type="checkbox"/> Cílios	<input type="checkbox"/> Flagelados	<input type="checkbox"/> Ausência imagem
Comportamento dos Protozoários:	<input type="checkbox"/> Inativos	<input type="checkbox"/> Ativos	<input type="checkbox"/> Comportamento atípico		
Quantidade de protozoários:	<input type="checkbox"/> Poucos	<input type="checkbox"/> Moderado	<input type="checkbox"/> Muitos	<input type="checkbox"/> Ausência imagem	
Observações:	<hr/> <hr/>				

Micrometazoários

Presença de micrometazoários:	<input type="checkbox"/> Presentes	<input type="checkbox"/> Ausentes	<input type="checkbox"/> Ausência imagem
Comportamento dos Micrometazoários:	<input type="checkbox"/> Inativos	<input type="checkbox"/> Ativos	
Observações:	<hr/> <hr/>		

Procedimento Operacional Padrão

3.4. Finalizando o uso do microscópio

1. Não esquecer a lâmina no microscópio após o uso.
2. Após finalizar o uso do microscópio, sempre volte a objetiva para o menor aumento (10x), abaixe a mesa até a posição inicial e desligue o microscópio.
3. Descarte a lâmina utilizada e destine a amostra excedente para o setor de tratamento ambiental.

3.5 Considerações gerais

1. Nunca utilize o óleo de imersão nas objetivas de menor grau. O óleo de imersão só é utilizado no aumento de 100x.
2. Nunca toque com os dedos o aparelho ótico do microscópio (lentes objetivas e oculares).
3. Não desloque o aparelho da bancada.
4. Nunca descarte amostras na pia.
5. Garanta que todo o material utilizado receba a destinação adequada conforme protocolo interno.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jenkins D, Richard M G, Daigger G T. Manual on the causes and control of activated sludge bulking, foaming, and other solids separation problems. 3ª. ed. Boca Raton: Lewis Publishers; 2003.
2. Fávoro, Ana L. Análise microbiológica de Lodos ativados: Guia do participante. Santos. Acqua Expert; 2021.
