



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Andreia Sofia da Cunha

Integração do índice Biótico de Lamas na
avaliação da qualidade do tratamento de águas
residuais por lamas ativadas: Caso de estudo

Julho de 2021



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Andreia Sofia da Cunha

**Integração do índice Biótico de Lamas na
avaliação da qualidade do tratamento de águas
residuais por lamas ativadas: caso de estudo**

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Biológica
Ramo Tecnologia Ambiental

Trabalho efetuado sob a orientação da
Doutora Ana Paula Mesquita Rodrigues da Cunha Nicolau

Julho de 2021

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações

CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Como em qualquer etapa, esta não foi realizada sozinha. Por isso, aproveito esta oportunidade para agradecer às pessoas que me motivaram e me ajudaram direta ou indiretamente na concretização desta dissertação.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha família, pais e irmãos, pela confiança e carinho que sempre depositaram em mim ao longo destes anos. Agradeço especialmente aos meus pais pela educação e por tornarem possível o meu ingresso na universidade.

Aos meus amigos de curso, pela ajuda nos momentos mais aflitivos, principalmente em época de exames ou época de recursos. Pelas experiências que fomos vivendo juntos e que contribuíram para esta amizade bonita que criamos.

Aos meus amigos do coração e namorado, por estarem sempre presentes quer nos bons e nos maus momentos, pela força e motivação.

A todos os docentes da UM e do departamento de Engenharia Biológica com quem tive a oportunidade de privar e que de uma forma ou de outra contribuíram para o meu sucesso nesta casa, particularmente à Vânia, “menina do laboratório”, que me acolheu de braços abertos na sua “casa”.

Reservo um agradecimento especial à Doutora Ana Nicolau por me ter orientado ao longo da minha dissertação, por estar sempre disponível a ajudar-me com sugestões, correções e motivação constante que, em muitos momentos, foi necessário.

A todas as pessoas que de certo modo contribuíram para a minha evolução, o meu muito obrigado.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

Devido ao crescimento da população humana e ao aumento da necessidade de uma água de qualidade, o tratamento de águas residuais é um processo com impacto crescente no nosso mundo, sendo o tratamento biológico por lamas ativadas o mais frequente. A identificação das causas de problemas nas estações de tratamento de águas residuais (ETAR) é fundamental para que haja uma melhoria real. Nos tanques de arejamento dos sistemas de lamas ativadas, os protozoários desempenham um papel importante nos processos de purificação de águas residuais e contribuem para a manutenção da qualidade do efluente, consumindo as populações bacterianas dispersas e contribuindo para um melhor desempenho do sistema. Diversos grupos taxonómicos de protozoários podem ser encontrados no licor misto dos tanques de arejamento, entre os quais espécies sensíveis, intermediárias e resistentes a poluentes e à ausência de oxigênio. Por esta razão são utilizados como indicadores biológicos, permitindo a avaliação das condições do tanque de arejamento, quer do sistema de tratamento biológico. Madoni, em 1994, criou um índice que avalia a qualidade biológica das lamas ao longo do tempo e consequentemente as condições operacionais do sistema. O índice biótico de lamas (IBL) baseia-se na abundância e na diversidade da comunidade de protozoários e pequenos metazoários e nas diferentes sensibilidades de alguns grupos da microfauna a fatores físicos-químicos que surgem no sistema.

Este trabalho tinha como objetivo estudar o IBL da ETAR de Barcelos, contudo sofreu uma reestruturação e com uma colaboração com o Serviço de Consultoria em Lamas Ativadas da Universidade do Minho, foi-me permitido utilizar os resultados de um trabalho, do qual analisei algumas amostras e calculei o Índice Biótico de Lamas do licor misto de uma ETAR, em recuperação. Essa ETAR não será identificada por razões de confidencialidade.

Foram recolhidas amostras durante três meses, para análise da microfauna do licor misto. Os protozoários foram identificados com recurso ao microscópio ótico e em seguida feito o cálculo do IBL. No fim do estudo, todos os tanques de arejamento apresentavam um IBL igual a 7, qualidade de tratamento II, indicativo de um sistema com lamas bem colonizadas e estáveis, atividade sub-ótima e eficiência depuradora suficiente. Este trabalho foi importante para comprovar que IBL é uma ferramenta muito importante na monitorização e no acompanhamento de uma ETAR em recuperação.

PALAVRAS-CHAVE

Estação de tratamento de água residuais, Índice Biótico de Lamas, Licor Misto, Protozoários.

ABSTRACT

Due to the growth of the human population and the increasing need for quality water, wastewater treatment is a process with a growing impact on our world, and biological activated sludge is, among all, the most frequent. The identification of problems in wastewater treatment plants (WWTP) is important to improve their various processes. In the aeration tank of activated sludge systems, protozoa play an important role in wastewater purification processes and contribute to the maintenance of effluent quality, consuming dispersed bacterial populations and contributing to better system performance. Several taxonomic groups of protozoa can be found in the mixed liquor of aeration tanks, including sensitive species, intermediate and resistant to pollutants and the absence of oxygen. For this reason, they are used as biological indicators, allowing the assessment of the conditions of the aeration tank, as well as the biological treatment system. Madoni, in 1994, created an index that assesses the biological quality of sludge over time and, consequently, the operating conditions of the system. The biotic sludge index (BSI) is based on the abundance and diversity of the protozoan and small metazoan community and on the different sensitivities of some groups of microfauna to physicochemical factors that arise in the system.

This work aimed to study the IBL of the WWTP of Barcelos, however it underwent a restructuring and with a collaboration with the Consulting Service in Activated Sludge of the University of Minho, I was allowed to use the results of a work, which I analysed some samples and calculated the Sludge Biotic Index of the mixed liquor from a WWTP, in recovery. This WWTP will not be identified for reasons of confidentiality. Samples were collected during three months for analysis of the microfauna of the mixed liquor. The protozoa were identified using an optical microscope and then calculated the IBL. At the end of the three months, all aeration tanks presented an IBL equal to 7, treatment quality II, indicative of a system with well colonized and stable sludges, sub-optimal activity, and sufficient purification efficiency.

This work was important to prove that IBL is a very important tool in monitoring and in the follow-up of a biological WWTP in recovery.

KEYWORDS

Biotic Sludge Index, Mixed Liquor, Protozoa, Wastewater treatment plant.

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas	x
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xii
1. Enquadramento e objetivos	1
2. Introdução teórica.....	2
2.1 A Água.....	2
2.2 Estação de tratamento de águas – ETA.....	3
2.3 Estação de tratamento de águas residuais – ETAR.....	3
2.3.1 Tratamento preliminar e tratamento primário	6
2.3.2 Tratamento secundário	6
2.3.3 Tratamento terciário	6
2.4 Processos de tratamento biológico.....	8
2.4.1 Tratamento biológico por lamas ativadas.....	8
2.4.2 Bactérias nas lamas ativadas.....	10
2.4.3 Protozoários nas lamas ativadas	11
2.5 Protozoários – Espécies e grupos dominantes	16
2.5.1 Flagelados	17
2.5.2 Ciliados nadadores	18
2.5.3 Ciliados móveis de fundo e sésseis	19
2.5.4 Ciliados sésseis	20
2.5.5 Outros Ciliados	22
2.5.6 Amibas.....	23
2.5.7 Metazoários.....	24
2.6 IBL – Índice Biótico de Lamas	25

3.	Descrição do local de trabalho e do laboratório.....	27
3.1	Hidurbe Serviços S.A – ETAR de Barcelos.....	27
3.2	ETAR de Barcelos (ETAR convencional).....	28
3.3	ETAR compactas.....	29
4.	Materiais e métodos.....	31
4.1	Frequência e preservação de amostras.....	31
4.2	Parâmetros biológicos.....	31
4.2.1	Screening.....	31
4.2.2	Contagem microscópica.....	31
4.2.3	Cálculo do índice biótico de lamas (IBL).....	33
4.3	Parâmetros físicos e químicos.....	35
4.3.1	Carência Bioquímica de Oxigênio (CBO).....	35
4.3.2	Carência química de oxigênio (CQO).....	36
4.3.3	Sólidos Suspensos Totais (SST),.....	37
4.3.4	Determinação do pH.....	37
5.	Estudo de caso: resultados e discussão.....	38
5.1	Conclusões do caso de estudo.....	60
6.	Conclusões finais.....	63
	Referências Bibliográficas.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Processo de tratamento de águas residuais por lamas ativadas (adaptado de Nicolau, 2009).	9
Figura 2: Rede trófica das lamas ativadas (adaptado de Nicolau, 2009).....	12
Figura 3: Mecanismo de filtração de bactérias de diferentes grupos de ciliados bacteriófagos: A - nadadores; B - sésseis; C - móveis de fundo (Madoni, 2003).	14
Figura 4: Alguns dos ciliados mais comuns das ETAR (Madoni, 2003).....	17
Figura 5: <i>Peranema</i> sp. (Warren, 2016).....	18
Figura 6: A - <i>Spirostomum</i> sp.; B - <i>Paramecium</i> sp.; C - <i>Colpidium</i> sp. (Warren, 2016).	19
Figura 7: A - <i>Tetrahymena</i> sp.; B - <i>Uronema</i> sp. (Warren, 2016).....	19
Figura 8: Diagrama de processo de identificação dos ciliados sésseis. *As que estão sempre em grupo podem aparecer individualmente se estiverem a iniciar uma colónia ou se se tiverem destacado.	21
Figura 9: A – <i>Zoothamnium</i> sp.; B – <i>Carchesium</i> sp. (Warren, 2016).	21
Figura 10: A – <i>Opercularia</i> sp.; B – <i>Epistylis</i> sp. (Warren 2016).	22
Figura 11: <i>Coleps hirtus</i> (Warren 2016).	23
Figura 12: A - <i>Podophrya</i> sp. B - <i>Tokophrya</i> sp. C - <i>Discophrya</i> sp. D - <i>Acineta</i> sp. (Warren, 2016).	23
Figura 13: A - <i>Arcella</i> sp.; B - <i>Euglypha</i> sp.; C - <i>Diffugia</i> sp. (Warren, 2016).....	24
Figura 14: Nemátode (Spsychala, 2015).	25
Figura 15: Etapas e processos de tratamento da fase líquida da ETAR de Barcelos, antes e depois da alteração (Oliveira Silva, 2007).	28
Figura 16: Vista aérea da ETAR de Barcelos. 1 - Gradagem e desarenamento/desengorduramento; 2 - Tanque de lamas ativadas; 3 -Decantadores primários; 4 - Leitões percoladores; 5 - Decantadores secundários; 6 - Laboratório e gabinetes.	29
Figura 17: Procedimento correto de contagem da microfauna, onde os círculos representam a área de visão ao microscópio, iniciando o seu trajeto em A, verificando toda a lâmina pelas setas indicadas até a posição final B (adaptado de Nicolau, 2009).	32
Figura 18: Esquema de um dos reticulados, presente na câmara de Fuchs-Rosenthal para a contagem dos pequenos flagelados. As 16 quadrículas na diagonal estão representadas em cinzento (adaptado de Nicolau, 2009).	33

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Valores típicos da caracterização das águas residuais domésticas não tratadas (Metcalf & Eddy, 2003).....	5
Tabela 2: Valores limite de emissão (VLE) na descarga de águas residuais (Decreto-Lei 236/98).....	7
Tabela 3: Condições favoráveis ao crescimento de certas espécies filamentosas (Nicolau, 2009).....	11
Tabela 4: Classificação utilizada para agrupar os organismos da microfauna (Bento, 2005)	13
Tabela 5: Colonização de um afluente bruto em três etapas distintas. (Lima <i>et al.</i> , 1995).....	14
Tabela 6: Situações particulares do funcionamento de estações de tratamento biológico de águas residuais por lamas ativadas (adaptado de Madoni, 1994a)	15
Tabela 7: Lista de protozoários ciliados mais frequentes nas lamas ativadas e respetivos grupos tróficos (adaptado de Madoni 1994a).....	16
Tabela 8: Valores teóricos de referência da ETAR de Barcelos	27
Tabela 9: Tabela de duas entradas para o cálculo do IBL (na qual S – nº de espécies da microfauna, excluindo os flagelados e F – nº de pequenos flagelados da Camara de Fuchs-Rosenthal) (Madoni, 1994a)	34
Tabela 10: Conversão do valor do IBL em classes de qualidade biológica das lamas ativadas e a sua respetiva avaliação (Madoni, 1994a).....	35
Tabela 11: Tabela base para o método Oxitop.....	36
Tabela 12: Microfauna do licor misto do TA2 da ETAR em recuperação no dia 42 do estudo	41
Tabela 13: Microfauna do licor misto do TA3 da ETAR em recuperação no dia 42 do estudo	42
Tabela 14: Microfauna do licor misto do TA4 da ETAR em recuperação no dia 42 do estudo	43
Tabela 15: Microfauna do licor misto do TA2 da amostra do dia 48.....	44
Tabela 16: Microfauna do licor misto do TA3 da amostra do dia 48.....	45
Tabela 17: Microfauna do licor misto do TA4 da amostra do dia 48.....	46
Tabela 18: Microfauna do licor misto do TA1 da amostra do dia 54.....	47
Tabela 19: Microfauna do licor misto do TA2 da amostra do dia 54.....	48
Tabela 20: Microfauna do licor misto do TA3 da amostra do dia 54.....	49
Tabela 21: Microfauna do licor misto do TA4 da amostra do dia 54.....	50
Tabela 22: Microfauna do licor misto do TA1 da amostra do dia 61.....	51
Tabela 23: Microfauna do licor misto do TA2 da amostra do dia 61.....	52
Tabela 24: Microfauna do licor misto do TA3 da amostra do dia 61.....	53

Tabela 25: Microfauna do licor misto do TA4 da amostra do dia 61.....	54
Tabela 26: Microfauna do licor misto do TA1 da amostra do dia 68.....	55
Tabela 27: Microfauna do licor misto do TA2 da amostra do dia 73.....	56
Tabela 28: Microfauna do licor misto do TA3 da amostra do dia 80.....	58
Tabela 29: Microfauna do licor misto do TA4 da amostra do dia 87.....	59
Tabela 30: Recolha de amostras para análise microscópica	60

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

A/M: Razão Alimentos/Microrganismos

AT: Amibas com Teca

BOD: Biological Oxygen Demand

CBO: Carência Bioquímica de oxigênio

CBO₅: Carência Bioquímica de oxigênio ao fim de 5 dias

CO: Carga Orgânica

COT: Concentração em Carbono Orgânico Total

ETA: Estação de tratamento de águas

ETAR: Estação de tratamento de águas residuais

F: Pequenos Flagelados

FR: Fuchs-Rosenthal

IBL: Índice Biótico de Lamas

IVL: Índice Volumétrico de Lamas

MF: Móveis de Fundo

OD: Oxigênio Dissolvido

S: Número de espécies da microfauna, excluindo os flagelados

SBI: Sludge Biotic Index

Ss: Sésseis

SST: Sólidos Suspensos Totais

SSV: Sólidos Suspensos Voláteis

ST: Sólidos Totais

TA: Tanque de Arejamento

TR: Taxa de Remoção

TRS: Tempo de Residência de Sólidos

VA: Volume de Amostra

1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS

Neste capítulo faz-se um enquadramento do trabalho em estudo, realçando a importância da observação microscópica no estudo do índice biótico de lamas. São ainda referidos os objetivos principais desta dissertação.

A utilização do Índice Biótico de Lamas (IBL) na avaliação da qualidade do tratamento de águas residuais por lamas ativadas é um fator de extrema importância na gestão destes sistemas de tratamento assistindo-se a uma crescente integração destas análises nos seus programas de monitorização. O IBL, proposto por Madoni (1994), baseia-se na abundância e diversidade da comunidade de protozoários presentes no tanque de arejamento dos sistemas de lamas ativadas e na diferença de sensibilidades reveladas por alguns grupos da microfauna a fatores operacionais e físico-químicos preponderantes no tanque de arejamento. Com este índice conseguimos acompanhar o desempenho da estação de tratamento de águas residuais (ETAR), dando inclusivamente indicações sobre as causas de eventual disfunção.

Inicialmente, esta dissertação de mestrado tinha como objetivo utilizar o índice biótico de lamas no tratamento de águas residuais por lamas ativadas na avaliação do desempenho da estação de tratamento de águas residuais (ETAR) de Barcelos, a cargo da empresa *Hidurbe Serviços S.A.* Devido à ainda atual situação de pandemia, o estágio foi suspenso definitivamente, passando esta a ser uma dissertação de cariz teórico. Posteriormente, e devido a uma colaboração com o Serviço de Consultoria em Lamas Ativadas da Universidade do Minho, foi-me permitido utilizar os resultados de um trabalho, do qual analisei algumas amostras e calculei o Índice Biótico de Lamas do licor misto de uma ETAR, em recuperação, de modo a enriquecer o meu trabalho. Por razões de confidencialidade, a ETAR em causa não é identificada.

2. INTRODUÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo faz-se uma breve revisão bibliográfica dos tratamentos das águas residuais, salientando-se o tratamento biológico, nomeadamente o processo de lamas ativadas. Apresenta-se de forma resumida a comunidade bacteriana das lamas ativadas. Faz-se referência a comunidade de protozoários e sua importância como indicador do desempenho da ETAR, abordando os seus grupos e espécies dominantes. Por fim, refere-se o local de estudo inicial desta dissertação.

2.1 A Água

Nas sociedades tecnologicamente mais avançadas, a relação do ser humano com a água é de tal modo simbiótica que quase não tomamos consciência da sua importância, a não ser quando nos deparamos com falta de água nas nossas residências ou quando esta não tem a qualidade que desejamos.

Em Portugal Continental, o valor da captação de consumo de água para a população varia de regiões para regiões, sendo 189 L/(hab.d) o valor da média nacional (INSAAR, 2019), valor este já ultrapassado do valor guia do Decreto Regulamentar n.º 23/95 para os aglomerados de maior dimensão (> 50 mil hab) que é 175 L/(hab.d). Estes são valores extremamente elevados para a água doce que existe na Terra, uma vez que mais de 96% da água nosso planeta é salgada (Gleick, 1993). A maior parte da água doce está retida em forma de gelo nos glaciares, estando somente disponíveis para consumo humano uma pequena parte, incluindo águas superficiais e subterrâneas.

As águas subterrâneas são um recurso natural indispensável para a vida e para a integridade dos ecossistemas que estão delas dependentes. Delas dependem, em grande parte, as atividades agrícolas e industriais, considerando ainda que mais de metade da população mundial depende das águas subterrâneas para o seu uso diário (Ribeiro, 2009).

Este é um cenário deveras alarmante, sendo urgente tomar medidas no que toca ao consumo de água, como a sua redução ou o reaproveitamento da mesma. A criação de estações de tratamento de águas (ETA) e das estações de tratamento de águas residuais (ETAR) veio ajudar o ser humano a ter acesso a água tratada e de qualidade, e ainda a ter uma postura ambientalmente correta, no que toca a descargas de efluentes nos meios recetores.

2.2 Estação de tratamento de águas – ETA

Numa ETA, é feito o tratamento de água que chega às nossas casas e que permite obter água de boa qualidade para consumo humano, dentro de parâmetros previamente estipulados pelas autoridades do sector. O processo de tratamento da água captada efetua-se em duas linhas: as operações que constituem o processo de tratamento de água, conhecida como linha líquida, e as operações que constituem o processo de tratamento de lamas produzidas nas etapas de decantação e filtração, conhecida como linha sólida (Águas do Norte, 2020).

Na Linha Líquida, é onde ocorrem as operações que fazem parte do processo de tratamento de água, tais com a gradagem, a decantação, a filtração e a desinfecção. A gradagem é o primeiro processo de tratamento. Nesta fase, são retirados os resíduos de maior dimensão como folhas, ramos, embalagens, que ficam retidos em grades por onde a água passa. De seguida, a água passa para o processo de decantação onde ocorre a separação de partículas em suspensão. Estas partículas vão depositar-se no fundo do decantador, visto que são mais densas que a água, removendo grande parte dos resíduos presentes. Após a decantação, ocorre uma passagem por filtros de areia ou carvão ativado, nos quais ficam retidas as pequenas partículas sólidas que ainda existam ou eventuais substâncias dissolvidas. Por fim, efetua-se a desinfecção que é feita para também assegurar que água não seja contaminada durante o seu transporte: para isso é adicionado cloro. (Águas do Norte, 2020).

Na Linha Sólida, ocorrem as operações que fazem parte do processo de tratamento de lamas produzidas nas etapas de decantação e filtração, como por exemplo a desidratação mecânica de lamas. Nesta etapa, as águas residuais resultantes de lavagem dos filtros, assim como as lamas provenientes do processo de decantação, são encaminhadas para a desidratação mecânica de lamas e transportadas para um destino final adequado que geralmente é substrato para agricultura.

2.3 Estação de tratamento de águas residuais – ETAR

Ao utilizarmos a água para inúmeras atividades no nosso dia-a-dia, como cozinhar ou tomar banho, transformamo-la em água residual que precisa de ser tratada para poder ser descarregada nas massas de água naturais e depois, eventualmente, reutilizada.

As ETAR são infraestruturas destinadas a reduzir estas quantidades elevadas de poluentes das águas residuais, de modo que a descarga do efluente tratado não afete negativamente o meio recetor. Os poluentes que se removem nas ETAR encontram-se dissolvidos e/ou em suspensão. A separação destes poluentes ao longo do processo de tratamento dá origem ao efluente tratado, bem como a resíduos sólidos e gasosos que originam problemas ambientais e sanitários e que, por isso, ao tratamento dos

mesmos. Na prática, numa ETAR, o objetivo é diminuir a carga de poluentes até concentrações que permitam considerar o efluente final dentro dos valores de descarga previamente definidos. As ETAR são, assim, importantes instrumentos de proteção ambiental (Monte et al. 2016).

As ETAR recebem águas residuais domésticas e águas residuais industriais. Estes afluentes que chegam à ETAR são caracterizados por terem elevadas quantidades de poluentes, incluindo matéria orgânica, os designados nutrientes como fósforo e azoto, e ainda metais pesados, detergentes, entre outros compostos, dependendo da origem do afluente.

Os parâmetros mais frequentemente usados na determinação da qualidade das águas residuais são:

- **Carência Química de Oxigénio (CQO):** é uma medida da concentração em matéria orgânica; mede-se a quantidade de oxigénio necessário para oxidar toda a matéria orgânica (matéria orgânica inerte, e biologicamente disponível) em dióxido de carbono, água e matéria inorgânica oxidada, utilizando um oxidante químico muito forte.
- **Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO):** é uma medida da matéria orgânica biodegradável e é aferida pela quantidade de oxigénio dissolvido (OD) que é consumido durante a oxidação aeróbia biológica da matéria orgânica, após incubação a 20°C durante um período de tempo pré-determinado.
- **Carbono Orgânico Total (COT):** medida direta do conteúdo orgânico da água residual, sendo frequentemente utilizado como indicador não específico da qualidade da água.
- **Sólidos Totais (ST):** Resíduo após evaporação da amostra e secagem na estufa a 103-105 °C.
- **Sólidos Suspensos Totais (SST):** Resíduo que fica retido por filtração através de um filtro de fibra de vidro com poros de dimensão nominal de 0,45 a 2 µm. Na legislação nacional (Decreto-Lei N° 152/97), o filtro recomendado deve ter uma dimensão de poro de 0,45 µm.
- **Sólidos Suspensos Fixos (SSF):** Resíduo da ignição/calцинаção a 550 ± 50 °C dos SST.
- **Sólidos Suspensos Voláteis (SSV):** Diferença no valor entre os sólidos suspensos totais e os sólidos suspensos fixos. É utilizada frequentemente como medida da biomassa.
- **Razão Alimentação/Microrganismos (A/M):** Quantidade de substrato por unidade de biomassa presente.

A tecnologia mais usada na remoção de poluentes de origem doméstica ou industrial é a tecnologia das lamas ativadas. Por isso mesmo, e por ser também a do local de estudo inicialmente definido para o trabalho experimental de suporte desta tese, será o processo descrito e assumido neste trabalho. Além do mais, o IBL foi concebido exatamente para ser aplicado aos processos de lamas ativadas.

Na tabela 1, encontram-se os valores típicos de caracterização das águas residuais não tratadas, considerando o tipo de carga aplicado à ETAR.

Tabela 1: Valores típicos da caracterização das águas residuais domésticas não tratadas (Metcalf & Eddy, 2003)

Parâmetros	Carga (mg/L)		
	Baixa	Média	Alta
Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO ₅)	110	220	400
Carência Química de Oxigénio (CQO)	250	500	1000
Carbono Orgânico Total (COT)	80	160	290
Sólidos Totais (ST)	350	720	1200
Sólidos Suspensos Totais (SST)	100	220	350
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	80	165	275
Sólidos Suspensos Fixos (SSF)	20	55	75
Azoto (N Total)	20	40	85
Azoto Orgânico	8	15	35
Amónia Livre	12	25	50
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo (P Total)	4	8	15
Fósforo Orgânico	1	3	5
Fósforo Inorgânico	3	5	10
Cloretos	30	50	100
Sulfatos	20	30	50
Gorduras e óleos	50	100	150
Alcalinidade (CaCO ₃)	50	100	200
Coliformes Totais (n°/100 mL)	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹

A ETAR pode integrar quatro fases de tratamento: tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e o tratamento terciário (Águas do Norte, 2020).

2.3.1 Tratamento preliminar e tratamento primário

Numa primeira fase, as águas residuais, produzidas pela população através do uso doméstico ou pelas indústrias, chegam à ETAR e são separados os sólidos grosseiros. Esta etapa, inclui também os desarenadores que são utilizados para a retirada de areias e sólidos finos presentes no afluente. Ocorre ainda nesta etapa a homogeneização, de modo a obter-se uma corrente líquida constante. A seguir, ocorre o tratamento primário onde a massa líquida passa pelo decantador primário, sendo uma parte das partículas sólidas em suspensão eliminadas por ação da gravidade ao depositarem-se no fundo do decantador. Poderá também existir, geralmente ainda na fase de tratamento preliminar, mas por vezes no fim do tratamento primário, uma etapa de flotação de óleos e gorduras, para se retirar os mesmos das condutas, uma vez que ficam lá retidos com facilidade e impedem a passagem de água. Normalmente, remove-se, nesta etapa, 50 a 70 % de sólidos suspensos e 25 a 40 % da CBO.

2.3.2 Tratamento secundário

Ao sair do decantador primário, a água passa para o tanque de arejamento onde ocorre o tratamento secundário ou biológico. Aqui, as águas residuais sofrem um tratamento biológico, feito sobretudo por bactérias aeróbias responsáveis pela degradação de matéria orgânica dissolvida existente, idealmente até se transformar em água, dióxido de carbono e matéria mineral. Seguidamente, a massa de água passa para o decantador secundário, que permite o depósito das lamas, constituídas pela biomassa que cresceu pela degradação da matéria orgânica dissolvida e outra matéria suspensa orgânica e inorgânica. No que diz respeito ao tratamento secundário, os mais comuns são os processos por lamas ativadas, mas também se podem nomear os filtros percoladores, as lagoas de oxidação e os biodiscos.

2.3.3 Tratamento terciário

Agora mais frequentemente e sobretudo em zonas consideradas sensíveis, sucede, após o tratamento secundário, o tratamento terciário onde as águas residuais são submetidas a uma desinfecção final. Removem-se as bactérias, os nutrientes em excesso, como o azoto e fósforo que contribuem para a eutrofização das águas, os sólidos suspensos coloidais e os compostos tóxicos específicos. É um tratamento bastante dispendioso, visto que trata um elevado volume de água residual em processos mais caros, como a ultrafiltração ou a osmose inversa. Depois de passar por este tratamento, a água é devolvida à natureza em condições seguras, estando dentro dos valores autorizados para descargas (tabela 2).

Tabela 2: Valores limite de emissão (VLE) na descarga de águas residuais (Decreto-Lei 236/98)

Parâmetros	Expressão dos resultados	VLE (1)
pH (0)	Escala de Sorensen	6,0-9,0 (2)
Temperatura (0)	°C	Aumento de 3°C (3)
CBO ₅ , 20°C (20) (0)	mg/L	40
CQO (0)	mg/L	150
SST (0)	mg/L	60
Alumínio	mg/L	10
Ferro total	mg/L	2,0
Manganés total	mg/L	2,0
Cheiro	-	Não detetável na diluição 1:20
Cor (0)	-	Não detetável na diluição 1:20
Cloro residual disponível:		
Livre	mg/L	0,5
Total	mg/L	1,0
Fenóis	mg/L	0,5
Óleos e gorduras	mg/L	15
Sulfuretos	mg/L	1,0
Sulfitos	mg/L	1,0
Sulfatos	mg/L	2000
Fósforo total	mg/L	10 3 (em águas que alimentem lagoas ou albufeiras) 0,5 (em lagoas ou albufeiras)
Azoto amoniacal	mg/L	10
Azoto total	mg/L	15
Nitratos	mg/L	50
Aldeídos	mg/L	1,0
Arsénio total	mg/L	1,0
Chumbo total	mg/L	1,0
Cádmio total	mg/L	0,2

Crómio total	mg/L	2,0
Crómio hexavalente	mg/L	0,1
Cobre total	mg/L	1,0
Níquel Total	mg/L	2,0
Mercúrio total	mg/L	0,05
Cianetos totais	mg/L	0,5
Óleos minerais	mg/L	15
Detergentes (sulfato de lauril e sódio)	mg/L	2,0

(i) VLE – valor limite de emissão, entendido como médio mensal, definida como média aritmética das médias diárias referentes aos dias de laboração de um mês, que não deve ser excedido. O valor diário, determinado com base numa amostra representativa da água residual descarregada durante um período de vinte e quatro horas não poderá exceder o dobro do valor médio mensal (a amostra num período de vinte e quatro horas deverá ser composta tendo em atenção o regime de descarga das águas residuais produzidas).

2.4 Processos de tratamento biológico

O tratamento secundário processa-se por via biológica, entre processos aeróbios ou anaeróbios e anóxicos. Como o seu próprio nome indica, nos sistemas biológicos aeróbios os microrganismos promovem a degradação da matéria orgânica na presença de oxigénio, enquanto nos sistemas biológicos anaeróbios, os microrganismos vivem e crescem na ausência de oxigénio, sendo este inclusivamente tóxico. Nos tratamentos biológicos anóxicos, os microrganismos usam outros compostos que não o oxigénio molecular como aceitadores de eletrões. Na prática, sulfatos e nitratos são utilizados como agentes oxidantes na decomposição de matéria orgânica.

Os tratamentos biológicos aeróbios podem ser baseados em processos de biomassa suspensa, como o tratamento por lamas ativadas ou a lagunagem, ou em processos de biomassa fixa ou biofilme, como o tratamento por filtros percoladores, os biodiscos ou leito circulante “airlift”.

O tratamento biológico por lamas ativadas é, atualmente, um dos mais utilizados no tratamento de efluentes residuais ou industriais, como atrás se disse, por apresentar uma elevada eficiência e tratar-se de um tratamento com baixo custo de investimento.

2.4.1 Tratamento biológico por lamas ativadas

Os sistemas de lamas ativadas surgiram em Manchester, Inglaterra, em 1914, e foram concebidos por Arden e Lockett que designaram por “lamas ativadas” o material sedimentado contendo

microrganismos. Esses microrganismos crescem na forma de flocos que se mantêm em suspensão no líquido designado “licor misto”. O processo de lamas ativadas apareceu como promissor uma vez que se obtinha um efluente de alta qualidade, claro, límpido e sem odor. (Nicolau, 2009). Relativamente aos filtros percoladores, o sistema de lamas ativadas apresenta algumas vantagens como o facto de exigir menos espaço e ser mais intensivo e possuir variáveis de operação mais fáceis de controlar. Por outro lado, possui algumas desvantagens como o facto de ser necessário mão-de-obra mais especializada e ter um maior consumo de energia, devido às necessidades de arejamento e de circulação dos fluidos. O processo de tratamento por lamas ativadas é constituído por três componentes básicos: um tanque de arejamento em que os microrganismos responsáveis pelo tratamento são mantidos em suspensão e onde existe arejamento, um sedimentador em que se dá a separação sólido-líquido e um sistema de recirculação das lamas do sedimentador de volta para o tanque de arejamento (Figura 1).

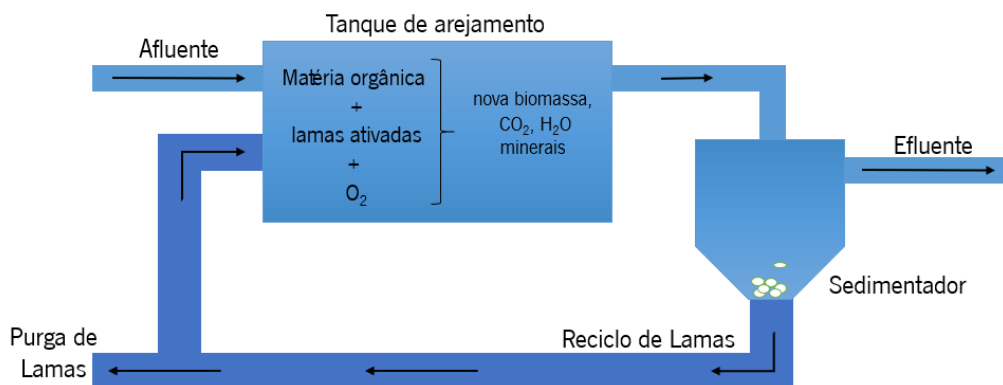
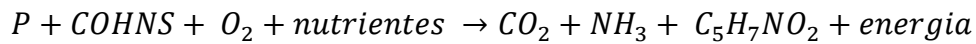


Figura 1: Processo de tratamento de águas residuais por lamas ativadas (adaptado de Nicolau, 2009).

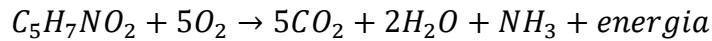
Trata-se de um processo biológico em que implica uma constante adição de matéria orgânica e oxigénio à comunidade de microrganismos que, metabolicamente, vão consumir essa matéria orgânica e transformá-la em nova biomassa microbiana, CO₂, H₂O e minerais, como NO⁻³, SO₄⁻², PO₄⁻³.

No tanque de arejamento, ocorre a conversão da matéria orgânica, COHNS, pela cultura bacteriana, em biomassa segundo a estequiometria da equação 1 (Nicolau, 2009). O oxigénio dissolvido deve ser mantido, no mínimo, a 2 mg O₂/L, para evitar o aparecimento de zonas anaeróbias (Nicolau, 2009). A recirculação de lamas ativadas causa um maior tempo de residência de sólidos (TRS), o que faz com os microrganismos se mantenham no tanque de arejamento e oxidem os compostos orgânicos num curto período. Relativamente à respiração endógena e a partir das novas células (C₅H₇NO₂), obtém-se energia pela reação descrita na equação 2. Esta nova biomassa permite a renovação dos microrganismos no

sistema, uma vez que a purga vai permitindo a eliminação constante de biomassa, incluindo células mais velhas.



Equação 1



Equação 2

2.4.2 Bactérias nas lamas ativadas

A comunidade microbiana presente nas lamas ativadas é constituída fundamentalmente por bactérias, protistas e fungos. As bactérias são as principais responsáveis pelo processo de depuração e constituem a maior parte da biomassa quer em número, quer em massa. São organismos procarióticos e possuem grande diversidade na morfologia e nos processos metabólicos. O seu modo de reprodução é na maior parte dos casos a divisão binária, originando-se duas células-filhas por formação de uma parede transversal. Os tempos de duplicação das bactérias são relativamente curtos.

As bactérias dos sistemas de lamas ativadas são tradicionalmente divididas em dois grandes grupos: as formadoras de flocos, que crescem de forma agregada e as filamentosas em que, após a reprodução, as células filhas se mantêm na vizinhança umas das outras, formando filamentos. Quando ocorrem em excesso no sistema de tratamento, estas últimas originam problemas de sedimentação das lamas, fenómeno normalmente designado *bulking* filamentoso. O *bulking* filamentoso origina fraca compactação das lamas e fraca sedimentabilidade, o que pode levar a que os flocos de grande dimensão saiam do sistema e ocorra um aumento da CBO e dos sólidos suspensos no efluente. Também pode originar problemas devido ao aumento excessivo de espumas, fenómeno conhecido como *foaming* filamentoso. (Nicolau, 2009)

Os principais fatores que favorecem o aparecimento de bactérias filamentosas são: tanques de arejamento de mistura completa e com baixa relação A/M; entrada de afluente séptico ou rico em sulfuretos; baixo teor de oxigénio dissolvido nos flocos; a prevalência de substratos facilmente biodegradáveis; entrada de afluentes com carência de nutrientes como azoto e fósforo ou com uma relação C:N:P incorreta.

Assim, as espécies filamentosas podem ser agrupadas em seis classes, segundo o seu substrato, a sua afinidade de oxigénio, como podemos ver na tabela 3.

Tabela 3: Condições favoráveis ao crescimento de certas espécies filamentosas (Nicolau, 2009)

Classe		Espécie presente
A	Espécies presentes em condições de baixo teor em oxigénio dissolvido.	<i>Sphaerotilus natans</i> Tipo 1701
B	Espécies presentes quando há esgotos sépticos ou com oscilações frequentes na razão CBO/N/P.	<i>Beggiatoa</i> sp. <i>Thiothrix</i> sp.
C	Espécies presentes quando a razão A/M é baixa ou há carência de nutrientes.	Tipo 0041
D	Espécies típicas dos sistemas com baixa A/M; espécies mais difíceis de combater.	Tipo 0961 Tipo 0803 Tipo 0581
E	Espécies características de sistemas com baixo valor de pH, onde se destacam os fungos filamentosos.	Fungos
F	Nocardioformes ou outras espécies responsáveis por fenómeno de “foaming”.	<i>Nocardia</i> spp. <i>Gordonia</i> spp.

2.4.3 Protozoários nas lamas ativadas

Protozoários, que significa “primeiros animais”, são eucariontes unicelulares quase omnipresentes em vários ecossistemas naturais e artificiais, incluindo habitats terrestres, aquáticos, abióticos e bióticos (Gaines *et al.* 2019). Os protozoários são essencialmente aquáticos de água doce, incluindo solo, habitats salgados e aquáticos. Existe uma grande diversidade morfológica e fisiológica dentro do grupo. Os protozoários normalmente medem 5 a 1000 µm de tamanho e a maioria é visível apenas com a ajuda de um microscópio. São classificados, dependendo da sua alimentação e de como se movem nas lamas ativadas, em quatro grupos, como Ciliados, Flagelados, Amibas e Metazoários (Green, 2019).

Os protozoários são seres complexos que se reproduzem por divisão binária, por conjugação ou por ambos os processos podendo apresentar cílios, flagelos ou emitindo pseudópodes que são essenciais para a sua locomoção e alimentação.

Os protozoários, mais concretamente os ciliados bacterívoros, são muito numerosos em todos os tipos de tratamento aeróbico das águas, alcançadas densidades da ordem das 10 000 células por mL no tanque de arejamento e alcançando frequentemente 9 % da biomassa em suspensão. No tanque de

arejamento, estabelece-se, por isso, uma verdadeira rede trófica envolvendo bactérias e protozoários de vários tipos e níveis tróficos (Figura 2).

Os protozoários dividem-se em três grandes categorias, se considerarmos os seus organelos de locomoção e alimentação (Madoni, 1994a):

- Flagelados: deslocam-se por flagelos; são comuns na fase inicial da colonização do tanque de arejamento pois entram na ETAR no afluente bruto;
- Sarcodinas: movem-se e alimentam-se através da emissão e retração de pseudópodes; a colonização do tanque de arejamento é comum a partir de estádios intermédios de depuração;
- Ciliados: deslocam-se por cílios e representam cerca de 70 % dos protozoários numa ETAR com bom desempenho. Tem grande importância na purificação das águas residuais pois alimentam-se, na sua maior parte, das bactérias dispersas ou fracamente aderidas aos flocos, contribuindo para a depuração das águas residuais. Na ausência destes, dos protozoários ciliados, os efluentes são caracterizados por grande turbidez e elevada CBO.

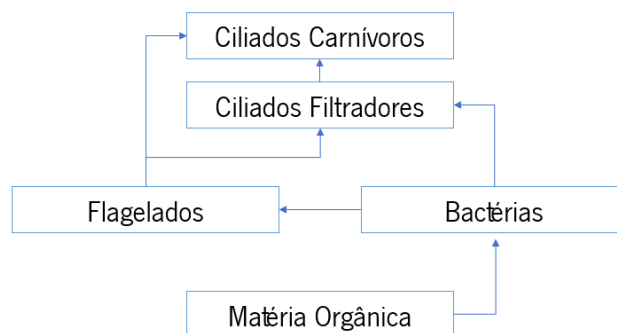


Figura 2: Rede trófica das lamas ativadas (adaptado de Nicolau, 2009).

O número de protozoários ciliados presentes num sistema de lamas ativadas é frequentemente de cerca de 10^6 indivíduos/L, atingindo 10^7 indivíduos/L quando em condições muito favoráveis no tanque de arejamento (Madoni, 1994a).

Como atrás se disse, a maior parte dos ciliados presentes nestas estações de tratamento alimenta-se de bactérias, mas uma pequena parte preda sobre outros ciliados ou flagelados. No que toca aos ciliados bacterívoros, eles podem ser de três tipos diferentes, dependendo do seu comportamento (tabela 4).

Tabela 4: Classificação utilizada para agrupar os organismos da microfauna (Bento, 2005)

Grupo	Classificação	Descrição
Ciliados	Móveis de Fundo ou Crawlers	Possuem célula achatada, cílios modificados e agrupados na parte do corpo que está em contato com o substrato. São predadores de bactérias.
	Nadadores ou Free-swimming	Têm cílios distribuídos regularmente por toda a célula e nadam livremente entre os flocos. São predadores e carnívoros.
	Sésseis ou Attached	Ficam unidos ao substrato por um pedúnculo, sendo algumas espécies coloniais. Os cílios localizam-se na região anterior do corpo, próximo à cavidade oral.
Amibas	Amibas com Teca	Possuem um revestimento externo composto por proteínas, sílica, calcário, ferro, etc.
	Amibas Nuas	Não possuem forma definida, têm um corpo mole.
Flagelados	Zooflagelados	São flagelados não pigmentados e podem ter de um a vários flagelos. Ingerem matéria sólida ou substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas.
Metazoários	Rotíferos e nemátodes	São organismos multicelulares de vários filos. Possuem uma taxa de crescimento lenta, sendo a maioria predadores de bactérias e protozoários.

Outra característica importante destes ciliados é o seu comportamento alimentar. Todos os ciliados bacterívoros provocam com os cílios um movimento das bactérias dispersas em direção da sua “boca”. Os nadadores e os sésseis consomem as bactérias dispersas na fração líquida, enquanto os móveis de fundo apenas consomem as bactérias que estão nos flocos, fracamente aderidas à sua superfície, ocupando um nicho ecológico exclusivo (Figura 3).

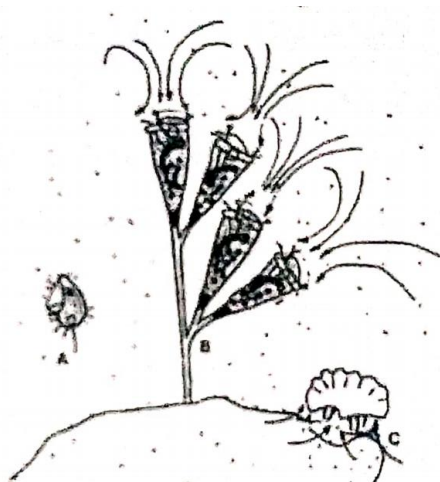


Figura 3: Mecanismo de filtração de bactérias de diferentes grupos de ciliados bacteriófagos: A - nadadores; B - sésseis; C - móveis de fundo (Madoni, 2003).

A dinâmica de colonização demonstra o efeito determinante das condições ambientais nos tanques de arejamento sobre a comunidade de ciliados. Em tanques de arejamento idênticos encontram-se comunidades de protozoários muito semelhantes em estrutura e espécies. Um outro resultado importante é a identificação de três fases distintas que ocorrem no tanque de arejamento (Tabela 5).

Tabela 5: Colonização de um afluente bruto em três etapas distintas. (Lima *et al.*, 1995)

Fases no tanque de arejamento	Características
Fase inicial	Presença de espécies que são típicas do afluente - flagelados e ciliados nadadores - independentes das lamas ativadas e que estão continuamente a entrar;
Segunda fase	Forte desenvolvimento de ciliados típicos - móveis de fundo e sésseis - e pela rápida descida das espécies pioneiras; a comunidade apresenta uma grande riqueza em espécies, mas a sua composição varia com o progressivo aumento da quantidade de lamas;
Terceira fase	Microfauna cujas composição e estrutura refletem as condições estáveis decorrentes do balanço entre a carga orgânica e as lamas produzidas, removidas e recicladas.

Resumindo, um sistema de lamas ativadas eficiente deve apresentar as seguintes características (Madoni, 1994a):

- Microfauna composta principalmente por móveis de fundo e sésseis, com os flagelados praticamente ausentes;
- Elevada densidade da microfauna ($\geq 10^9$ organismos / m³);
- Comunidade diversificada onde nenhuma espécie ou grupo domine numericamente em mais do que um fator de 10.

Quando isto não se observa, o grupo dominante da microfauna permite diagnosticar o estado de funcionamento do sistema, isto é, causas associadas a um eventual decréscimo na qualidade do tratamento (Tabela 6).

Tabela 6: Situações particulares do funcionamento de estações de tratamento biológico de águas residuais por lamas ativadas (adaptado de Madoni, 1994a)

Grupo dominante	Eficiência	Causa possível
Pequenos flagelados	Má	lamas pouco oxigenadas, entrada de substâncias em vias de fermentação;
Pequenas amibas nuas e flageladas	Má	carga elevada e/ou dificilmente degradável;
Pequenos ciliados nadadores (>50 µm)	Medíocre	permanência breve no tanque; lamas pouco oxigenadas;
Grandes ciliados nadadores (>50 µm)	Medíocre	carga demasiado alta;
Ciliados sésseis	Baixa	fenómenos transitórios;
Ciliados móveis de fundo	Boa	-
Ciliados sésseis + móveis de fundo	Boa	-
Amibas com teca	Boa	carga baixa e/ou diluída; boa nitrificação;

2.5 Protozoários – Espécies e grupos dominantes

Ao longo dos anos, os investigadores identificaram cerca de 230 espécies de protozoários, nos vários sistemas de tratamentos biológicos aeróbios. Contudo, verificaram que algumas espécies aparecem com mais frequência do que outras. Na tabela 6, estão identificados os protozoários que mais frequentemente surgem nas lamas ativadas e na figura 4 mostra os ciliados e amibas com teca mais comuns das ETAR e respetivos hábitos alimentares.

Tabela 7: Lista de protozoários ciliados mais frequentes nas lamas ativadas e respetivos grupos tróficos (adaptado de Madoni 1994a)

Carnívoros	Bacterívoros		
	Nadadores	Móveis de fundo	Sésseis
Holotrichia	<i>Colpoda</i> sp.	<i>Acineria uncinata</i>	<i>Carchesium</i> spp
<i>Acineria incurvata</i>	<i>Colpidium colpoda</i>	<i>Aspidisca cicada</i>	<i>Epistylis</i> spp
<i>Amphileptus</i> sp.	<i>Colpidium campylum</i>	<i>Aspidisca lynceus</i>	<i>Opercularia coarctata</i>
<i>Coleps hirtus</i> *	<i>Cinetochilum margaritaceum</i>	<i>Chilodenella uncinata</i>	<i>Opercularia microdiscus</i>
<i>Litonotus</i> spp	<i>Cyclidium glaucoma</i>	<i>Drepanomonas uncinata</i>	<i>Opercularia minita</i>
<i>Spathidium</i> spp	<i>Dexiotricha</i> sp.	<i>Euplotes affinis</i>	<i>Stentor</i> spp
suctoria	<i>Glaucoma scintillans</i>	<i>Euplotes moebiusi</i>	<i>Vaginicola crystallina</i>
<i>Acineta</i> spp	<i>Loxocephalus</i> sp.	<i>Euplotes patella</i>	<i>Vorticella aquadulcis</i>
<i>Metacineta</i> sp.	<i>Paramecium</i> spp	<i>Stylonychia</i> spp	<i>Vorticella convallaria</i>
<i>Podophrya</i> spp	<i>Pseudocohnilembs pusillus</i>	<i>Trachelophyllum pusillum</i>	<i>Vorticella microstoma</i>
<i>Tokophrya</i> spp	<i>Sathrophilus</i> sp.	<i>Trithigmostoma cucullulus</i>	<i>Zoothamnium</i> spp
	<i>Spirostomum teres</i>	<i>Trochilia minuta</i>	
	<i>Tetrahymena pyriformis</i> complexo		
	<i>Uronema nigracans</i>		

*omnívoro.

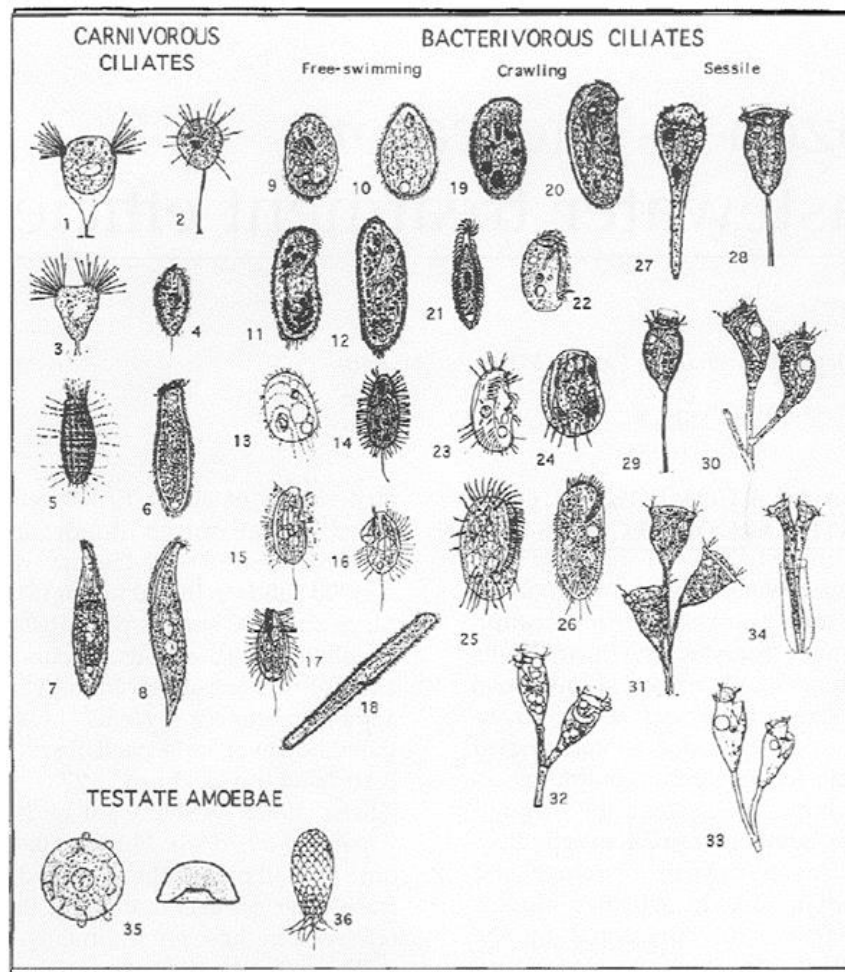


Figura 4: Alguns dos ciliados mais comuns das ETAR (Madoni, 2003).

2.5.1 Flagelados

Os flagelados apresentam um único núcleo e são dotados de um ou poucos flagelos. Podem ter vários tamanhos e tipos. Por exemplo, uns são autotróficos, com pigmentos fotossintéticos, outros são heterotróficos, podendo algumas formas apresentar ambos os comportamentos dependendo das condições ambientais.

Pequenos flagelados

Na fase de arranque do sistema predominam, normalmente, os pequenos flagelados heterotróficos, entrando continuamente com o afluente, quando os flocos ainda não se encontram devidamente formados. Existe um elevado número de bactérias dispersas, permitindo a sobrevivência destes organismos que são pouco eficientes na filtração e, conseqüentemente, na alimentação. Os pequenos flagelados, com o tempo, são substituídos pelos ciliados bacteriófagos, quer devido à competição que

estabelecem com estes quer por estarem sujeitos à predação pelos ciliados carnívoros. Exemplo deste grupo são as *Trepomonas*, cujo diâmetro pode variar entre 10 e 15 μm .

Num sistema com bom funcionamento, a sua presença é limitada a menos de 10 indivíduos contados na diagonal da Câmara de Fuchs-Rosenthal (Madoni, 1994b), isto é, densidades menores do que $5 \cdot 10^9$ indivíduos/ m^3 . Em caso de determinadas disfunções, o número aumentará para mais do que 10 indivíduos, na referida diagonal, correspondendo a uma diminuição da eficiência depurativa. Quando a densidade sobe para $5 \cdot 10^{11}$ indivíduos/ m^3 , ou seja, números na ordem dos 100 indivíduos na diagonal, são considerados predominantes na amostra em questão. Normalmente, este número muito elevado de pequenos flagelados implica uma elevada concentração de bactérias dispersas.

Grandes flagelados

Os grandes flagelados são menos frequentes nas lamas ativadas e a sua presença está usualmente associada a afluentes com baixa carga orgânica. *Euglena* e *Peranema* são dois géneros relativamente comuns nas lamas ativadas. *Euglena* sp. possui uma estrutura alongada variando entre 40 a 60 μm de comprimento. Cor esverdeada e um só flagelo visível dirigido para trás do corpo. Já *Peranema* sp. é incolor e são conhecidos por terem o flagelo reto, rígido. Tem um comprimento que varia entre 30 e 70 μm , são geralmente heterotróficos e fagotróficos (Figura 5).



Figura 5: *Peranema* sp. (Warren, 2016).

2.5.2 Ciliados nadadores

Na fase inicial de tratamento, os ciliados nadadores predominam no tanque de arejamento. Com o aumento da floculação, são substituídos progressivamente pelos sésseis, que ganham a competição pelas bactérias dispersas do licor misto visto que são filtradores muito mais eficientes. No caso dos ciliados nadadores serem o grupo dominante, a qualidade do efluente produzido é, geralmente, má. Os pequenos ciliados predominam quando a permanência da água residual no tanque de arejamento é breve ou quando a oxigenação é deficiente, como está descrito na Tabela 5. Embora estes pequenos ciliados apresentem maior resistência à entrada de compostos tóxicos ou mesmo à carência de oxigénio

que outros componentes da microfauna, precisam de grande quantidade de bactérias para sobreviverem. Devemos ter atenção que a este grupo pertencem apenas nadadores bacterívoros.



Figura 6: A - *Spirostomum* sp.; B - *Paramecium* sp.; C - *Colpidium* sp. (Warren, 2016).

Spirostomum sp. de tamanho grande comparativamente aos outros ciliados. Raramente descrita, atualmente é observada com regularidade. *Paramecium* sp. é relativamente rara nos sistemas de tratamento. *Colpidium* sp. tem uma locomoção muito lenta, possui pequenos cílios a volta do corpo, parecido com um feijão ou rim.

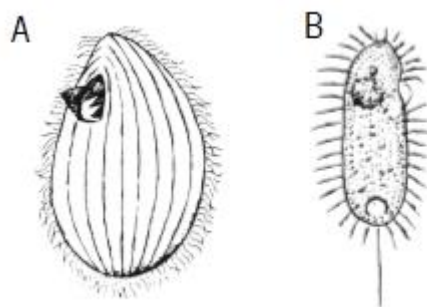


Figura 7: A - *Tetrahymena* sp.; B - *Uronema* sp. (Warren, 2016).

Tetrahymena sp. aparece sobretudo na presença de cargas orgânicas excessivas. Possuem um vacúolo terminal. *Uronema* sp. é recorrente nos sistemas de lamas ativadas. Em termos de mobilidade é extremamente rápido, mas alterna com imobilizações regulares.

2.5.3 Ciliados móveis de fundo e sésseis

Estes dois grupos geralmente partilham o predomínio da microfauna nas lamas ativadas a funcionar satisfatoriamente. Ocupam nichos ecológicos diferentes e não existe competição entre eles. Por esta razão, a sua coexistência é possível apesar da relação entre as suas quantidades no licor misto variar com a carga orgânica do afluente. Assim, os móveis de fundo tendem a apresentarem uma diminuição

das suas densidades em presença de elevada carga orgânica, enquanto os sésseis apresentam uma maior resistência. Por exemplo, *Aspidisca cicada* é uma das espécies mais abundantes, fácil de reconhecer. *Aspidisca lynceus* é muito semelhante a *Aspidisca cicada*, mas ligeiramente maior e achatada. *Drepanomonas* sp. possui cílios que raramente se veem, parece que possuem uma carapaça. *Acinéria* sp. é comum no licor misto, fácil de detetar por ser parecida com pequenas lesmas, possuindo uma boca numa das extremidades. *Trochilia* sp. não possui flagelos e é parecido com um caroço de azeitona. Por fim, *Euplotes* sp. é semelhante a um escaravelho, sendo bastante fácil a sua identificação.

2.5.4 Ciliados sésseis

Estes ciliados podem atingir densidades elevadas da ordem dos 80% da microfauna total. (Nicolau, 2009). Na tabela 6, verifica-se que a presença de espécie ou espécies presentes leva a diferentes situações. Se espécies do género *Opercularia* spp. dominam a microfauna, há geralmente elevada CBO do afluente ou cargas demasiado elevadas no tanque de arejamento. *Vorticella microstoma* e *Vorticella infusionum* são espécies frequentes na fase de colonização das lamas ativadas, indicadoras de carência de oxigénio no tanque de arejamento, sendo substituída posteriormente por *Vorticella convallaria*. A alternância entre as duas espécies nas lamas indica geralmente variações concentração de oxigénio no tanque de arejamento. *Vorticella convallaria* é muito menos resistente à escassez em oxigénio do que as outras duas espécies.

Para identificar as espécies de sésseis recorre-se a características facilmente observáveis ao microscópio ótico. Alguns possuem um mionema (filamento com características semelhantes aos músculos) dentro do pedúnculo que lhes permite a contração. Dependendo da espécie, podem estar em grupos ou individualmente.

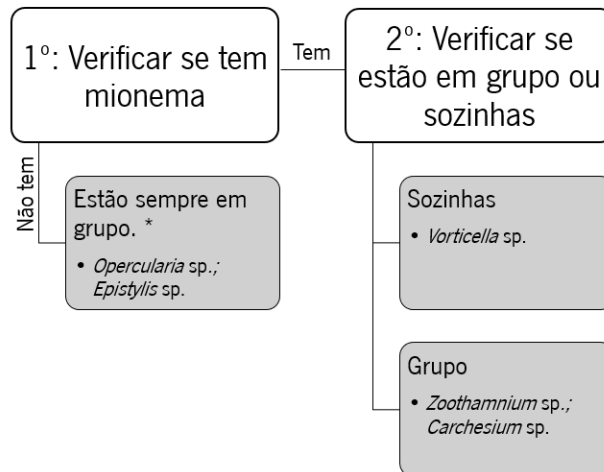


Figura 8: Diagrama de processo de identificação dos ciliados sésseis. *As que estão sempre em grupo podem aparecer individualmente se estiverem a iniciar uma colónia ou se se tiverem destacado.

Na Figura 8, conseguimos perceber como se deve identificar os ciliados sésseis, contudo algumas vorticelas têm características diferentes que as tornam identificáveis ao nível da espécie. Por exemplo, *Vorticella convallaria* é a maior de todas as vorticelas, o seu núcleo é visível em “c”. *Vorticella microstoma* possui formato afunilado e o seu núcleo quase em “c”. *Vorticella aquadulcis* é a mais pequenas das vorticelas e o seu núcleo está achatado perto da “boca”. Por fim, *Vorticella infusionum* tem um núcleo parecido com o de *Vorticella aquadulcis*, mas com tamanho semelhante a *Vorticella microstoma* (e tem o mesmo valor indicador e ocupam o mesmo nicho ecológico que esta, o que torna a sua distinção menos importante do que no caso de espécies com valor ecológico diferente).

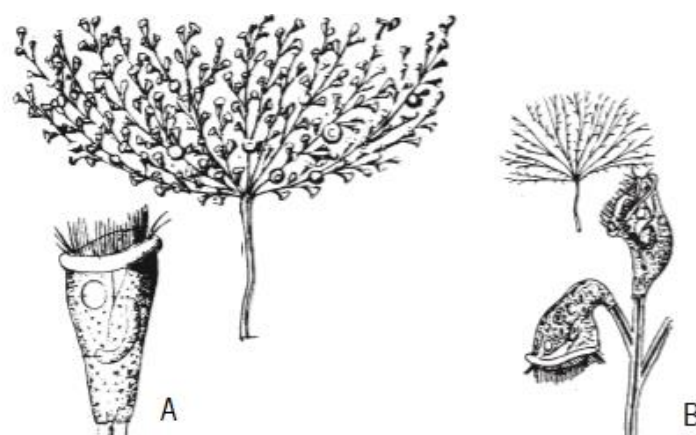


Figura 9: A – *Zoothamnium* sp.; B – *Carchesium* sp. (Warren, 2016).

Zoothamnium sp. organiza-se numa colónia de ciliados sésseis, com o mionema ligado entre os diversos indivíduos da colónia. *Carchesium* sp. é semelhante a *Zoothamnium* sp., mas não têm o mionema ligado e o seu núcleo tem a forma de “C”.

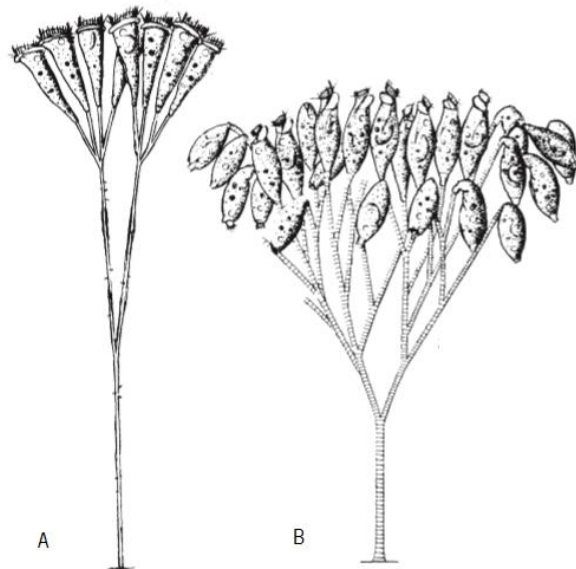


Figura 10: A – *Opercularia* sp.; B – *Epistylis* sp. (Warren 2016).

Tanto *Opercularia* sp. como *Epistylis* sp. podem aparecer em grupo ou sozinhas, quando estão destacadas da colónia ou iniciam uma nova colónia, são as mais comuns. Os espécimes do género *Opercularia* não possuem mionema e têm o núcleo perto do pedúnculo. Aparecem em condições de stress, como défice de oxigénio ou entrada de metais pesados por serem especialmente resistentes. *Epistylis* sp. também não possui mionema, tem o núcleo perto do citóstoma (abertura bucal) e possui um espessamento em redor deste, o que o torna distintos de *Opercularia* sp.

2.5.5 Outros Ciliados

Este grupo é constituído por ciliados carnívoros ou omnívoros, e podem ser nadadores ou sésseis. Os carnívoros são conhecidos pela sua elevada velocidade de locomoção no licor misto. Alimentam-se de outros ciliados e pequenos flagelados, ou fazem uma alimentação mista.

Coleps hirtus é um exemplo deste tipo de ciliados (Figura 11). Possuem forma barrilar com dimensões entre 50 e 70 μm e tem baixa tolerância ao amoníaco e amónia. A sua presença abundante está geralmente associada a boa eficiência depurativa e a uma boa nitrificação.

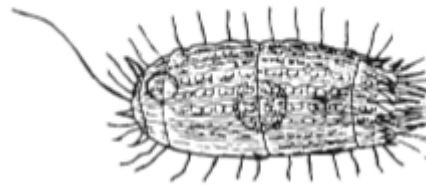


Figura 11: *Coleps hirtus* (Warren 2016).

Os Suctoria são um grupo de ciliados carnívoros incluindo diversos gêneros (*Podophrya* sp., *Tokophrya* sp., *Discophrya* sp., *Acineta* sp.). Estão todos no mesmo grupo visto que todos possuem um pedúnculo sem mionema, alimentam-se na fase adulta através de pequenos tentáculos que emergem do corpo.

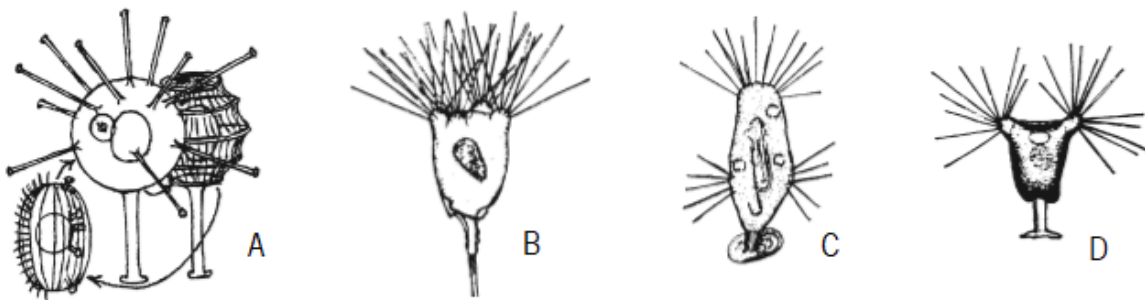


Figura 12: A - *Podophrya* sp. B - *Tokophrya* sp. C - *Discophrya* sp. D - *Acineta* sp. (Warren, 2016).

Podophrya sp. possui corpo aproximadamente esférico, onde se dispõem radialmente os tentáculos. O diâmetro da célula varia entre 10 a 100 μm . *Tokophrya* sp. também possui corpo quase esférico, mas os tentáculos estão apenas no topo do corpo. *Discophrya* sp. tem corpo alongado com os tentáculos por todo o seu comprimento. Por fim, *Acineta* sp. tem corpo em forma de coração com tentáculos no topo.

2.5.6 Amibas

As amibas são protozoários que se movem através de pseudópodes, ou seja, saliências do citoplasma que permitem a células avançar sobre o substrato. Algumas têm um invólucro de material orgânico, ou parcialmente inorgânico, apenas com uma abertura para a saída dos pseudópodes. Estas são consideradas as amibas com teca.

Amibas nuas

São associadas a grandes e súbitas cargas orgânicas e possuem formas variadas, pseudópodes digitiformes, sendo todas mais ou menos transparentes e com tamanho que varia entre 15 μm a 2 mm.

Amibas com teca

Existem três gêneros mais frequentes nas lamas ativadas que são: *Arcella* sp., *Diffflugia* sp. e *Euglypha* sp. além de um ou outro menos comuns como *Centropyxis* sp. São indicadoras de boas condições de nitrificação, aparecem sobretudo em sistemas com pouca matéria orgânica, com grandes tempos de retenção e com concentração relativamente elevada de oxigênio no tanque de arejamento.

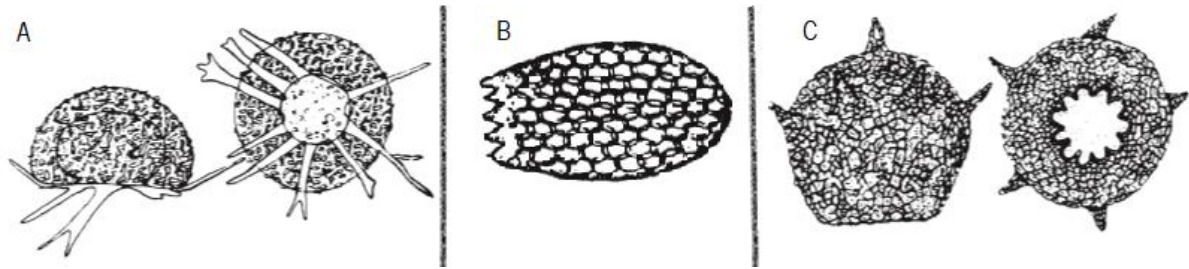


Figura 13: A - *Arcella* sp.; B - *Euglypha* sp.; C - *Diffflugia* sp. (Warren, 2016).

Arcella sp. possui uma teca de proteína tem a forma de um domo achatado com a abertura no meio do lado de baixo. *Euglypha* sp. possui escamas escudiformes, com uma pequena parte dentária no lado posterior. Formato semelhante a um ananás, por isso é fácil de se detetar na análise no microscópio ótico. *Diffflugia* sp. é semelhante a *Arcella* sp. quando observada de cima. Contudo, a sua teca é rugosa parecendo preenchida. O núcleo é geralmente ovular, mas em espécies maiores, vesicular. Algumas das espécies maiores de água doce, que vivem em águas mais profundas, contêm endossimbiontes verdes ou zooclorélas.

2.5.7 Metazoários

No tanque de arejamento surgem ainda os Metazoários que são animais pluricelulares, alimentando-se de protozoários ou de bactérias. A sua presença nas lamas ativadas é limitada apenas a algumas formas mais simples e com tempos de geração menores que a idade das lamas. Têm uma maior complexidade biológica que os protozoários e o seu ciclo reprodutivo é mais lento. Nos sistemas de arejamento prolongado, com idades de lamas mais elevadas, a sua presença é usual. As espécies mais comuns no tanque de arejamento dos sistemas de lamas ativadas são principalmente os Rotíferos e os Nemátodos. Os rotíferos possuem uma forma muito variável e são extensíveis com um comprimento que varia entre 200 e 500 μm . Possuem um aparelho rotativo de filtração da água e um aparelho mastigador em constante atividade. Chamam-se monogonontas quando têm apenas um aparelho bucal e digonontas, quando possuem dois.

Os nemátodes (Figura 14) são outro tipo de metazoário já referido anteriormente. São estreitos numa extremidade e bastantes compridos, podendo variar entre 300 a 1000 μm . Movem-se peculiarmente, como um chicote.



Figura 14: Nemátode (Spsychala, 2015).

Estes dois tipos de protozoários desenvolvem-se a partir de ovos. Outras formas como crustáceos ou larvas de insetos são apenas observadas raramente, pois entram com o afluente e não têm possibilidades de reprodução, pois o tempo de retenção da biomassa no tanque de arejamento não o permite.

2.6 IBL – Índice Biótico de Lamas

O IBL foi criado com base nos resultados obtidos pelas inúmeras pesquisas realizadas na microfauna de lamas ativadas nos 20 anos anteriores à sua criação por Paolo Madoni (Madoni, 1994a). Este método foi concebido com base nas diferentes sensibilidades mostradas por alguns grupos de protozoários aos diferentes parâmetros físico-químicos e operacionais das ETAR e na diversidade da microfauna. Permite avaliar a qualidade biológica das lamas biológicas por meio de valores numéricos convencionais (daí ser considerado um índice biótico). O IBL considera também os seguintes pontos:

- A riqueza de espécies tende a mudar com a densidade de lamas. O maior número de espécies foi observado quando as cargas estão variam de 0,2 kg a 0,3 kg CBO/L (Curds, 1982);
- A densidade da microfauna diminui à medida que a densidade de lamas diminui. No tanque de arejamento de remoção de N, é esperada uma microfauna menos abundante do que nas plantas convencionais.

O IBL é calculado com base numa tabela de duas entradas. A entrada vertical é feita tendo em consideração a riqueza específica da amostra e o número de pequenos flagelados na diagonal da Câmara

de Fuchs-Rosenthal (estando um maior número de pequenos flagelados associados a piores condições de depuração). Na coluna da direita estão distribuídos os diversos grupos da microfauna associados à qualidade biológica das lamas. Na linha horizontal é tomado em consideração o grupo dominante no tanque de arejamento e, depois, a densidade total da microfauna ($>$ ou $<$ 10^9 indivíduos/ m^3). Se dois ou mais grupos compartilham o predomínio da amostra, escolhe-se o grupo que ocupa a posição mais baixa na tabela, ou seja, privilegia-se os indicadores de pior cenário.

O valor do IBL é determinado pela intersecção da coluna e da linha selecionadas, obtendo-se um valor numérico entre 1 e 10 e estes valores são agrupados em quatro classes que apontam, por sua vez, para quatro diferentes graus de eficiência do funcionamento do sistema (Madoni 1994a).

O IBL permite ao técnico da ETAR comparar a qualidade biológica das lamas no tanque de arejamento, ao longo do tempo e, conseqüentemente, verificar as condições operacionais da mesma, tendo como vantagem de esta avaliação ser feita através de valores numéricos, descartando-se a subjetividade inerente a uma avaliação pessoal. Deve-se ter em conta que este índice apenas avalia a qualidade do tratamento ao nível do tanque de arejamento e não do sedimentador secundário. Ou seja, permite avaliar as condições para a depuração biológica no tanque de arejamento e não o desempenho total do sistema (Nicolau, 2009).

3. DESCRIÇÃO DO LOCAL DE TRABALHO E DO LABORATÓRIO

Neste capítulo faz-se a apresentação da empresa *Hidurbe Serviços SA* e respetivo funcionamento relacionado com a ETAR.

3.1 Hidurbe Serviços S.A – ETAR de Barcelos

A ETAR de Barcelos, local escolhido para o desenvolvimento desta dissertação, está situada na freguesia de Vila Frescainha S. Pedro, no concelho de Barcelos, distrito de Braga e está em funcionamento desde 1999. O afluente que chega diariamente à ETAR é constituído por 30 % de afluente doméstico e 70 % de afluente proveniente maioritariamente de industrial têxtil.

A *Hidurbe Serviços S.A.* presta desde 2014 serviços de operação e manutenção de diversas instalações da Águas de Barcelos. O objeto da prestação engloba, para além da ETAR de Barcelos, dimensionada para servir 133 mil habitantes, 7 ETAR compactas, 76 estações elevatórias de águas residuais e ainda 2 sistemas independentes de abastecimento de água (*Hidurbe*).

Resumidamente:

- Projeto: Prestação de serviços à Concessionária Águas de Barcelos, S.A.
- Cliente: Águas de Barcelos, S.A.
- Tipo de Serviços Prestados: Operação e Manutenção
- Águas de Abastecimento: 2 ETA – Capacidade instalada total: 183 m³/d
- Águas Residuais: 1 ETAR (23 738 m³/d) + 7 ETAR compactas (entre 66 e 400 m³/d) – Capacidade instalada total: 25 100 m³/d
- 76 EEAR – Potência instalada total: 1780 kW

Tabela 8: Valores teóricos de referência da ETAR de Barcelos

Pontos de amostragem	Parâmetros	Valores Teóricos de projeto	
		Ano zero (1995)	Ano atual (2020)
Afluente Bruto	Q média diária (m ³ /d)	14 947	23 738
	Carga azoto afluente (kg/d)	-	
	Carga de fosforo afluente (kg/d)	-	
	Carga SST (kg/d)	3 720	6 267
	Carga CBO ₅ (kg/d)	5 138	7 995
	Carga CQO (kg/d)	10 864	15 541

	Relação CBO/N-Total	<20
	Relação CBO/P-Total	<100
	Relação CQO/CBO ₅	<2

No laboratório de águas residuais da *Hidurbe Serviços S.A.* são realizadas análises físico-químicas de várias ETAR, não só do conselho de Barcelos como também de fora, como por exemplo de Paços de Ferreira. Essas análises são, nomeadamente, o pH, Carência Química de Oxigénio (CQO), Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO) e Sólidos Suspensos Totais (SST). Os resultados obtidos das análises físico-químicas seriam cruzados com o cálculo do índice biótico de lamas, o que não aconteceu devido a nova estruturação. Todos estes parâmetros serão explicados na secção de materiais e métodos.

3.2 ETAR de Barcelos (ETAR convencional)

A ETAR de Barcelos possui duas linhas de tratamento que são a fase líquida e fase sólida. Na Figura 15 é possível ver as etapas do processo de tratamento na fase líquida da ETAR de Barcelos.

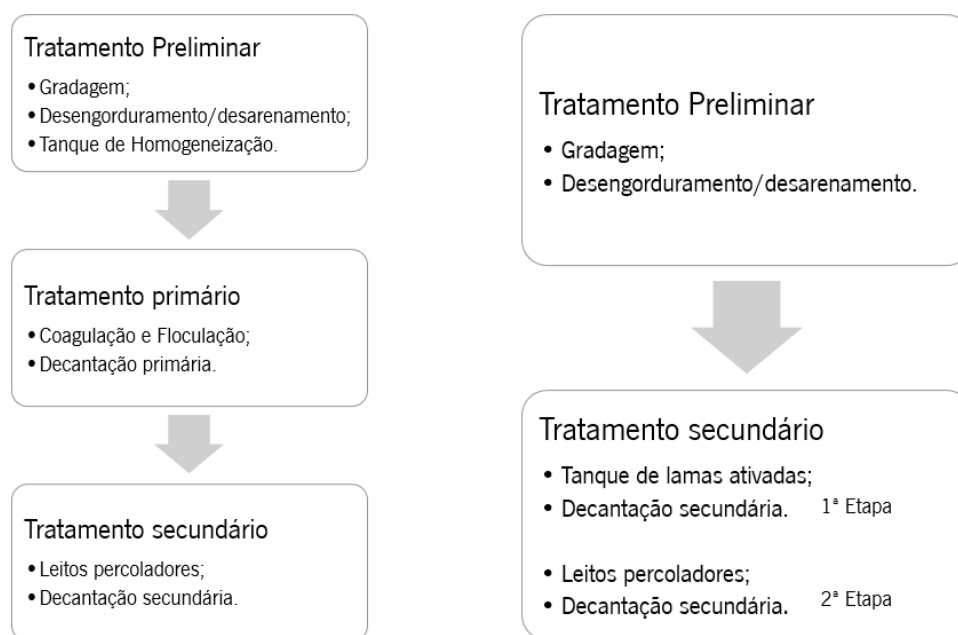


Figura 15: Etapas e processos de tratamento da fase líquida da ETAR de Barcelos, antes e depois da alteração (Oliveira Silva, 2007).

A Primeira coluna (coluna da esquerda) é referente ao processo antes da alteração. Inicialmente a ETAR possuía um tanque de homogeneização de caudais e um tratamento físico e químico de neutralização e ainda, coagulação e floculação. Todos estes parâmetros desapareceram e foram substituídos por um tanque de lamas ativadas. A coluna do lado direito é referente à nova atualização feita. Esta mudança teve o objetivo de minimizar o uso de químicos perigosos, reduzir os níveis de sulfídrico na atmosfera

envolvente da ETAR, obter melhores valores de CBO_5 e ainda reduzir custos associados. Com estas medidas esperou-se uma diminuição dos impactos ambientais. Relativamente à fase sólida da ETAR adicionou-se espessamento gravítico; Desidratação em filtros de banda; Estabilização com cal viva.



Figura 16: Vista aérea da ETAR de Barcelos. 1 - Gradagem e desarenamento/desengorduramento; 2 - Tanque de lamas ativadas; 3 - Decantadores primários; 4 - Leitos percoladores; 5 - Decantadores secundários; 6 - Laboratório e gabinetes.

3.3 ETAR compactas

As ETAR compactas são adequáveis sempre que haja necessidade de tratamento de águas residuais geradas em pequenos aglomerados populacionais e tem facilidade de instalação e operacionalidade do equipamento. Com o passar dos anos, várias empresas têm apresentando vários modelos de ETAR compactas, como a ECODEPUR e a Golden Fibra.

As ETAR compactas pertencentes ao município de Barcelos possuem modelos diferentes. Como a densidade populacional varia de zonas para zonas é necessário existir uma ETAR compacta, ou então, o caudal, proveniente daquela zona, é conduzido através da rede de saneamento e estações elevatórias até a ETAR compactas de localidades vizinhas ou então até à ETAR de Barcelos. Isto porque nem todas as aldeias possuem ETAR compacta. O seu tratamento preliminar difere de ETAR compacta para ETAR compacta e pode ser feito através de uma grade mecânica do tipo parafuso ou escova ou então, por uma grade limpeza manual. Um dos modelos existentes é relativo à ETAR de Areias de Vilar e apresenta:

- Gradagem;
- Desarenador/desengordurador;
- Tanque de Pré-arejamento;
- Decantador primário;
- Tanque de Arejamento;
- Decantador secundário;
- Digestor de lamas aeróbio.

Outro modelo usado na ETAR de Barqueiros (por exemplo) apresenta:

- Gradagem;
- Decantador primário (Tanque de Pré-sedimentação e armazenamento de lamas em excesso);
- Tanque de Arejamento 1;
- Tanque de Arejamento 2;
- Decantador secundário.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são abordados os materiais e métodos para o desenvolvimento do estudo da microfauna nas lamas ativadas, sendo de importante realce a descrição do método utilizado para o cálculo do IBL. A descrição diz respeito a uma única semana de trabalho na ETAR de Barcelos. No entanto, os mesmos métodos biológicos foram usados no caso do trabalho do Serviço de Consultoria de Lamas Ativadas da Universidade do Minho.

4.1 Frequência e preservação de amostras

As amostras usadas para o estudo da biodiversidade da microfauna nas lamas ativadas eram cedidas de várias ETAR compactas e também da própria ETAR de Barcelos. Eram analisadas pontualmente, em termos de IBL, e chegavam apenas às terças-feiras e quintas-feiras. Quando dentro do laboratório eram logo alteradas para um código, para realizar as análises sem indução de conhecimento prévio. Normalmente o IBL era logo realizado. Quando havia três amostras, duas delas ficavam a ser arejadas até a sua observação microscópica, para precaver situações de anoxia.

4.2 Parâmetros biológicos

4.2.1 Screening

Após a chegada das amostras ao laboratório, as observações foram realizadas imediatamente para que não ocorra grande mortalidade de algumas espécies. Usou-se uma pipeta de Pasteur, retirou-se cerca de 0.5 ml da amostra e colocou-se numa lâmina de vidro. Cobriu-se a zona onde se colocou a quantidade de licor misto com uma lamela de (24x32) mm. Esta primeira visualização (screening ou rastreio) serviu para identificar a microfauna presente no licor misto. Esta identificação de microfauna foi feita através de chaves de classificações de protozoários. Deve-se ter em atenção que são apenas contabilizadas como espécies presentes a microfauna em que se observam pelo menos 2 indivíduos durante o screening ou uma vez durante a contagem.

4.2.2 Contagem microscópica

Após a identificação das espécies presentes na amostra, estimou-se a sua quantidade relativa, isto é, das unidades taxonómicas, como as espécies ou géneros, e dos grupos funcionais, como os sésseis, nadadores e móveis de fundo. Para tal efeito, efetuaram-se contagens da microfauna presente do modo seguinte:

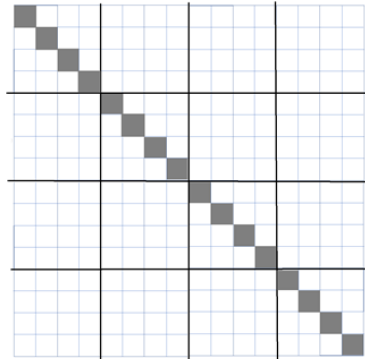


Figura 18: Esquema de um dos reticulados, presente na câmara de Fuchs-Rosenthal para a contagem dos pequenos flagelados. As 16 quadrículas na diagonal estão representadas em cinzento (adaptado de Nicolau, 2009).

- Por fim, calculou-se a dominância com os conjuntos de amibas com teca, sésseis, móveis de fundo, ciliados nadadores e pequenos flagelados.

Durante a contagem não foram contabilizados indivíduos mortos ou ciliados nadadores que entrassem no campo de visão, provenientes de zonas já contadas. Caso apareça um elevado número de ciliados coloniais numa contagem e poucos na réplica é necessário fazer uma terceira contagem, procedendo-se ao cálculo de uma média.

4.2.3 Cálculo do índice biótico de lamas (IBL)

Como foi dito anteriormente, este método baseia-se na diversidade e densidade da microfauna, devendo ser dada particular atenção a identificação e contagem dos organismos que a compõem. Com os dados adquiridos e de acordo com as tabelas 9 e 10, calculou-se o valor numérico de IBL e conseqüentemente obteve-se a classe de qualidade biológica das lamas ativadas.

O Índice é calculado com base numa tabela de duas entradas (Tabela 9). A entrada vertical é feita tendo em consideração a riqueza específica da amostra e o número de pequenos flagelados na diagonal da Câmara de Fuchs-Rosenthal. Na linha horizontal é tomado em consideração o grupo dominante no tanque de arejamento e, depois, a densidade total da microfauna ($>$ ou $<$ 10^9 indivíduos/ m^3). Se dois ou mais grupos compartilham o predomínio da amostra, escolhe-se o grupo que ocupa a posição mais baixa na tabela.

Tabela 9: Tabela de duas entradas para o cálculo do IBL (na qual S – n° de espécies da microfauna, excluindo os flagelados e F – n° de pequenos flagelados da Camara de Fuchs-Rosenthal) (Madoni, 1994a)

Grupo dominante	Densidade (ind/L)	S>10		8≤S≤10		5≤S≤7		S<5	
		F<10	10<F<100	F<10	10<F<100	F<10	10<F<100	F<10	10<F<100
Ciliados Moveis de Fundo + Sésseis* e/ou Amibas com Teca	≥10 ⁶	10	8	9	7	8	6	7	5
	<10 ⁶	9	7	8	6	7	5	6	4
Ciliados Sésseis* >80%	≥10 ⁶	9	7	8	6	7	5	6	4
	<10 ⁶	8	6	7	5	6	4	5	3
<i>Opercularia</i> spp.	≥10 ⁶	7	5	6	4	5	3	4	2
	<10 ⁶	6	4	5	3	4	2	3	1
<i>Vorticella</i> <i>Microstoma</i>	≥10 ⁶	6	4	5	3	4	2	3	1
	<10 ⁶	5	3	4	2	3	1	2	0
Ciliados Nadadores	≥10 ⁶	5	3	4	2	3	1	2	0
	<10 ⁶	4	2	6	1	2	0	1	0
Peq. Flagelados (<100 na diagonal da camara de FR)	≥10 ⁶	4		3		2		1	
	<10 ⁶	3		2		1		0	

* *Opercularia* spp. e *Vorticella microstoma* não dominantes.

O valor do IBL é determinado pela intersecção da coluna e da linha selecionadas, obtendo-se um valor numérico entre 0 e 10 (Tabela 10) e estes valores são agrupados em quatro classes que permitem, por sua vez, quatro diferentes graus de eficiência para avaliação do funcionamento do sistema (Madoni 1994a).

Tabela 10: Conversão do valor do IBL em classes de qualidade biológica das lamas ativadas e a sua respetiva avaliação (Madoni, 1994a)

Valor IBL	classe	Avaliação
8 – 10	I	Lamas bem colonizadas e estáveis; atividade biológica ótima; elevada eficiência depuradora.
6 – 7	II	Lamas bem colonizadas e estáveis; atividade sub-ótimal; eficiência depuradora suficiente.
4 – 5	III	Atividade biológica insuficiente; eficiência depuradora medíocre.
0 – 3	IV	Atividade biológica muito baixa; eficiência depuradora baixa.

4.3 Parâmetros físicos e químicos

Os parâmetros físicos e químicos utilizados durante o tempo de estágio, variaram entre CBO_5 , CQO, SST e pH. A CBO_5 obtida pelo método manométrico. A CQO foi calculada pelo método do dicromato de potássio em refluxo fechado e colorimetria, recorrendo ao uso de Kits (Working procedure LCK114 e LCK314 COD chemical oxygen Demand, 2013-04 e 2013-10, Hach Lange). Os sólidos foram obtidos por filtração/secagem a 105°C e pesagem. O pH é medido por potenciometria.

4.3.1 Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO)

A quantidade necessária de oxigénio, aos microrganismos, para a oxidação biológica da matéria orgânica chama-se carência bioquímica de oxigénio (geralmente em mg O_2 /L). Como seria impraticável aguardar várias semanas para que o oxigénio se consumisse totalmente, escolheu-se um período padrão de 5 dias. A CBO_5 é a quantidade total de oxigénio consumida pelos microrganismos durante os primeiros 5 dias de biodegradação. Neste período, 60 - 70% da matéria orgânica é biologicamente oxidada. Para tal, é necessário ter em conta fatores ambientais, como pH neutro; inoculo apropriado; inexistência de luz.

Método Oxitop

Usou-se um equipamento que regista e armazena os valores de pressão negativa que se gera na cabeça das garrafas de Oxitop. Este método aplica-se a todas as águas residuais cuja CBO seja inferior a 4000 mg/L. Para valores mais elevados, deve-se diluir previamente a amostra. Para saber que quantidade de volume se deve colocar nas garrafas de Oxitop, observou-se para amostra e estimou-se o volume a usar.

Quanto mais escura estiver a amostra, menor é o volume usado. Também dependendo do volume usado, adicionou-se gotas de inibidor de nitrificação (Aliltiureia). De seguida foram adicionadas duas pastilhas de NaOH a um adaptador de borracha que ficou colocado nas bordas da garrafa para não haver contacto com a fase líquida. Colocou-se a tampa de Oxitop devidamente tarada, premindo os botões S e M, simultaneamente, até que no visor apareça 00. Por fim, os frascos foram guardados numa incubadora a 20°C durante o período de 5 dias após os quais premindo repetidamente se podem verificar os registos diários dos valores medidos. O valor do quinto dia multiplicado pelo respetivo fator presente na tabela representa o valor de CBO₅.

Tabela 11: Tabela base para o método Oxitop

Intervalo de CBO ₅ esperado (mg O ₂ /L)	Volume (mL)	Número de gotas adicionadas	Fator
0 – 40	472	9	1
0 – 80	365	7	2
0 – 200	250	5	5
0 – 400	164	3	10
0 – 800	97	2	20
0 – 2000	43.5	1	50

Durante o método, o CO₂ libertado é absorvido nas duas pastilhas de NaOH. A quantidade de oxigénio que fica armazenado na cabeça do frasco é suficiente para que o seu decréscimo seja detetado e a partir dele se possa calcular a CBO₅. O valor da pressão é convertido em dígitos, entre 00 e 40. Deve-se considerar os valores entre 40 e 50, mas já são valores pouco exatos.

4.3.2 Carência química de oxigénio (CQO)

A CQO define-se como a quantidade de um agente oxidante específico que reage com matéria orgânica em condições controladas. O agente oxidante usado é o dicromato de potássio e ocorre uma reação de oxidação-redução a altas temperaturas, em meio ácido na presença de um catalisador (sulfato de prata). A matéria orgânica é transformada em dióxido de carbono e água.

Método do dicromato de potássio em refluxo fechado e colorimetria

Primeiramente, homogeneizou-se o tubo de reação, invertendo-o várias vezes. De seguida, pipetou-se, cuidadosamente, 2 mL da amostra a analisar para o tubo de reação. Fechou-se o tubo de reação limpando com rigor o seu exterior. Inverteu-se o tubo várias vezes, com o objetivo a homogeneizar a amostra com os reagentes já incluídos, posteriormente, no tubo. Colocou-se o tubo de reação no digestor HT200S, selecionando o programa HT, 30 minutos. Por fim, após o desbloqueio do digestor, removeu-se o tubo de reação agitando-o duas vezes, voltando a colocá-lo no digestor para que este arrefeça até a temperatura ambiente. A leitura foi feita quando o sedimento esteve completamente depositado e o exterior do tubo limpo para que não houvesse leituras erradas. Este método difere no método tradicional uma vez que a temperatura de digestão é mais elevada e necessita de menos tempo de reação.

4.3.3 Sólidos Suspensos Totais (SST),

A filtração de um determinado volume de amostra através de um filtro de vidro previamente pesado e posterior secagem numa estufa a 105 °C permite quantificar os SST. Deve-se de seguida levar a amostra a calcinar numa mufla a 550 °C para se conseguir determinar a massa orgânica que volatilizou, os SSV. A restante massa inorgânica em cinzas contida no filtro que corresponde aos SSF.

4.3.4 Determinação do pH

A medição do pH foi efetuada em todas as amostras de água residual através do método de potenciometria, que quantifica os iões H^+ através de uma sonda com eletrodo do medidor de pH.

5. ESTUDO DE CASO: RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Serviço de Consultoria em Lamas Ativadas da Universidade do Minho (SCLA-UM) realizou um estudo de caracterização microbiológica das comunidades de protozoários, pequenos metazoários e bactérias filamentosas das lamas dos tanques de arejamento de uma ETAR convencional por lamas ativadas e que, por razões de confidencialidade, não pode ser identificada. Foram realizadas 18 análises relativas à ETAR em questão, ao longo de 3 meses. Esta ETAR tinha sofrido um revés muito grande em termos de desempenho, por razões desconhecidas, estando na data da primeira análise a tentar identificar a causa do recuo no tratamento e a tentar iniciar um processo de recuperação. A ETAR possui três tanques anóxicos e quatro tanques biológicos ou de arejamento. Têm sido feitas obras na ETAR para tornar os tanques de arejamento completamente operacionais, nomeadamente no que ao arejamento diz respeito. O estudo da comunidade de protozoários e pequenos metazoários decorreu imediatamente após a chegada das amostras ao laboratório e o transporte demorou cerca de 20 minutos.

AMOSTRA 1 (dia 0):

No dia 19 de março de 2021 recolheu-se uma amostra de cada tanque anóxico e biológico em funcionamento. Com as amostras recolhidas observou-se que o licor misto apresentava zonas mais escuras. A biomassa estava muito fragmentada possuindo algumas filamentosas embrionárias.

O número significativo de protozoários mortos e a quase ausência de formas vivas levou a concluir que estava em causa uma situação de toxicidade aguda. Se houvesse substituição duma comunidade normal por outras formas, poderia equacionar-se um retrocesso do processo devido a inadequada gestão dos parâmetros operacionais, mas a completa ausência de formas vivas, incluindo pequeno flagelados, levou a crer que tivesse ocorrido um episódio de entrada muito significativa e provavelmente prolongada de tóxicos. A toxicidade matou a biomassa bacteriana, além dos componentes da microfauna, levando a uma perda de capacidade depurativa da biomassa.

AMOSTRA 2 (dia 4):

Recolheu-se apenas uma amostra do tanque de arejamento 1. Conclui-se que houve uma pequena melhoria relativamente pois apareceram raros pequenos e médios flagelados. Houve um crescimento dos pequenos flagelados para 3 a 4 por mL e dos médios flagelados para 1 a 2 por mL. Fora esta discreta melhoria, o cenário manteve-se como anteriormente.

AMOSTRA 3 (dia 6):

Recolheu-se nova amostra do tanque de arejamento 1. Conclui-se que não houve melhoria ao nível da comunidade, nomeadamente ao nível dos pequenos e médios flagelados e a biomassa continuava desfragmentada, com numerosas zonas escuras e sem aparente atividade biológica.

AMOSTRA 4 (dia 8):

Manteve-se uma biomassa disfuncional, ou seja, com muitos pontos escuros e desagregada. A comunidade de protozoários estava morta e existiam cadáveres de amibas com teca e apenas um único cadáver de *Epistylis* sp., estes cadáveres podem ter surgido da adição da biomassa de uma ETAR que tinha boas condições de depuração, numa tentativa de rearrancar rapidamente a ETAR em estudo. Esta observação permitiu concluir que havia uma intoxicação generalizada, prolongada e grave da biomassa com um composto que se mantinha e que, ao recircular, atuava ainda sobre a biomassa inoculada.

AMOSTRA 5 (dia 12):

Na análise do licor misto deste dia, não houve nenhuma alteração, o cenário manteve-se igual as análises dos dias anteriores, corroborando as últimas conclusões.

AMOSTRA 6 (dia 17):

Com a amostra recolhida no dia 6 de abril de 2021 podemos concluir que houve melhorias significativas. Os protozoários começaram a dar sinal de recuperação, bem como os pequenos flagelados. No que toca à visualização da biomassa esta já não está tão degradada e os flocos parecem começar a aumentar. A microfauna continua muito atrasada no seu desenvolvimento e pode intoxicar esta biomassa nova que recircula.

AMOSTRA 7 (dia 20):

Realizou-se a colheita de todos os tanques de arejamento e procedeu-se à sua análise. No TA1 o número de pequenos flagelados aumentou significativamente o que indicia uma possível recuperação. Foram encontrados cadáveres solitários de *Arcella* sp. e *Epistylis* sp. certamente oriundos da ETAR que foi retirada para fazer o inóculo. No TA2 observou-se uma biomassa em pior condição que o TA1, contudo menos escura que os TA3 e o TA4. Este cenário pode ter ocorrido pelo escasso período de tempo que

decorreu desde o enchimento do tanque. Nos tanques 3 e 4 a biomassa estava bastante degradada e com indícios de anoxia. Estava isenta de protozoários.

AMOSTRA 8 (dia 23):

Retirou-se amostras do TA1 e TA2. No TA1 observou-se uma bastante biomassa clara com várias estruturas e tamanhos. Possuía maior quantidade de pequenos flagelados (entre 10 e 100 na camara de Funchs-Rosenthal), alguns médios flagelados (entre 2 e 3 por microlitros) e raras amibas com teca do espécime *Arcella*, relativamente à colheita anterior. No que toca ao TA2, este estava mais atrasado do que TA1, visto que a sua biomassa mais desagregada e com menos protozoários. Parecia clara a recuperação da ETAR em termos de colonização da comunidade de protozoários e pequenos metazoários, indiciando uma recuperação da biomassa bacteriana depuradora.

AMOSTRA 9 (dia 23):

Realizou-se nova colheita dos TA1 e TA2 e observou-se o mesmo cenário em ambos os tanques. Contudo, houve uma pequena melhoria a nível da comunidade de protozoários no TA1. Em síntese podemos admitir que a biomassa se encontrava numa lenta mas definitiva recuperação. O facto da ETAR estar em manutenção poderá justificar a demora desta recuperação.

AMOSTRA 10 (dia 34):

Neste dia foram recolhidas amostras dos TA1, TA2 e TA3, com o TA3 já em funcionamento. Em todos os tanques houve uma melhoria significativa em termos de biomassa, sobretudo no TA2. Relativamente a microfauna, houve uma pequena evolução a nível dos pequenos e médios flagelados e algumas amibas com teca (desde *Arcella*, *Euglypha* e *Centropyxis*), em todos os tanques. Observou-se um exemplar de *Vorticella convallaria*, um *Drepanomonas revoluta*, alguns sesséis como *Epistylis* sp. nos TA1 e TA3. Podemos concluir que a comunidade de protozoários está mais abundante, mas com evolução lenta.

AMOSTRA 11 (dia 42):

Refere-se às amostras recolhidas em 30 de abril, nos tanques de arejamento 2, 3 e 4, poucos dias depois do início do funcionamento do tanque de arejamento 4.

Tabela 12: Microfauna do licor misto do TA2 da ETAR em recuperação no dia 42 do estudo

	1ª contagem	2ª contagem	Total	Ind/mL	%
Flagelados	1	0	1	20	4,35
<i>Peranema</i> sp.	1	0	1	20	4,35
Amibas com Teca	9	8	17	340	73,91
<i>Arcella unicnata</i>	6	6	12	240	52,17
<i>Euglypha</i> sp.	1	1	2	40	8,70
<i>Centropyxis</i> sp.	2	1	3	60	13,04
Ciliados Nadadores	1	0	1	20	4,35
<i>Paramecium</i> sp.	1	0	1	20	4,35
Sésseis	2	2	4	80	17,39
<i>Vorticella convallaria</i>	2	2	4	80	17,39
Totais			23	460	100
Número de pequenos flagelados	Entre 10 e 100 na Camara de Fuchs Rosenthal				
Número de Espécies	6				
Nadadores (%)	4,35				
Sésseis (%)	17,39				
Amibas com Teca (%)	73,91				
Móveis de Fundo (%)	0,00				

A esta comunidade corresponde um valor de IBL de 5, da Classe de Qualidade de Tratamento III.

Tabela 13: Microfauna do licor misto do TA3 da ETAR em recuperação no dia 42 do estudo

	1ª contagem	2ª contagem	Total	Ind/mL	%
Amibas com Teca	8	4	12	240	75,00
<i>Arcella uncinata</i>	5	4	9	180	56,25
<i>Euglypha</i> sp.	1	0	1	20	6,25
<i>Centropyxis</i> sp.	2	0	2	40	12,50
Sésseis	2	2	4	80	25,00
<i>Vorticella convallaria</i>	2	1	3	60	18,75
<i>Epistylis</i> sp.	1	0	1	20	6,25
Totais			16	320	100
Número de pequenos flagelados	Entre 10 e 100 na Camara de Fuchs Rosenthal				
Número de Espécies	5				
Nadadores (%)	0,00				
Sésseis (%)	25,00				
Amibas com Teca (%)	75,00				
Móveis de Fundo (%)	0,00				

A esta comunidade corresponde um valor de IBL de 5, da Classe de Qualidade de Tratamento III.

Tabela 14: Microfauna do licor misto do TA4 da ETAR em recuperação no dia 42 do estudo

	1ª contagem	2ª contagem	Total	Ind/mL	%
Amibas com Teca	7	2	9	180	75,00
<i>Arcella uncinata</i>	4	1	5	100	41,67
<i>Euglypha</i> sp.	2	1	3	60	25,00
<i>Centropyxis</i> sp.	1	0	1	20	8,33
Ciliados Nadadores	1	0	1	20	8,33
<i>Paramecium</i> sp.	1	0	1	20	8,33
Sésseis	2	0	2	40	16,67
<i>Vorticella convallaria</i>	2	0	2	40	16,67
Totais			14	280	100
Número de pequenos flagelados	Entre 10 e 100 na Camara de Fuchs Rosenthal				
Número de Espécies	5				
Nadadores (%)	8,33				
Sésseis (%)	16,67				
Amibas com Teca (%)	75,00				
Móveis de Fundo (%)	0,00				

A esta comunidade corresponde um valor de IBL de 5, da Classe de Qualidade de Tratamento III.

A biomassa bacteriana continuava numa fase crítica de recuperação, apresentando uma congelação da evolução positiva da microfauna que se vinha a observar. Com o fim da situação de manutenção, esperava-se que a microfauna (e a capacidade depurativa da biomassa de que a microfauna é indicadora) continuasse a evoluir favoravelmente.

AMOSTRA 12 (dia 48):

Neste dia foram retiradas amostras dos TA2, TA3 e TA4, onde ocorreu a sua análise e cálculo do IBL, de cada tanque de arejamento.

Tabela 15: Microfauna do licor misto do TA2 da amostra do dia 48

	1ª contagem	2ª contagem	Total	Ind/mL	%
Amibas com Teca	14	6	20	400	55,56
<i>Arcella uncinata</i>	10	3	13	260	36,11
<i>Euglypha</i> sp.	3	2	5	100	13,89
<i>Centropyxis</i> sp.	1	1	2	40	5,56
Ciliados Nadadores	2	2	4	80	11,11
<i>Paramecium</i> sp.	2	2	4	80	11,11
Sésseis	6	6	12	240	33,33
<i>Vorticella aquadulcis</i>	1	0	1	20	2,78
<i>Vorticella convallaria</i>	3	4	7	140	16,67
<i>Epistylis</i> sp. 1 grande	2	2	4	80	11,11
Totais			36	720	100
Número de pequenos flagelados	Entre 10 e 100 na Camara de Fuchs Rosenthal				
Número de Espécies	5				
Nadadores (%)	8,33				
Sésseis (%)	16,67				
Amibas com Teca (%)	75,00				
Móveis de Fundo (%)	0,00				

A esta comunidade corresponde um valor de IBL de 5, da Classe de Qualidade de tratamento III.

Tabela 16: Microfauna do licor misto do TA3 da amostra do dia 48

	1ª contagem	2ª contagem	Total	Ind/mL	%
Amibas com Teca	6	5	11	220	44,00
<i>Arcella uncinata</i>	4	4	8	160	32,00
<i>Euglypha</i> sp.	2	1	3	60	12,00
Ciliados Nadadores	2	2	4	80	16,00
<i>Paramecium</i> sp.	2	2	4	80	16,00
Sésseis	6	4	10	200	40,00
<i>Vorticella aquadulcis</i>	1	0	1	20	4,00
<i>Vorticella convallaria</i>	5	4	9	180	36,00
Totais			25	500	100
Número de pequenos flagelados	Entre 10 e 100 na Camara de Fuchs Rosenthal				
Número de Espécies	5				
Nadadores (%)	16,00				
Sésseis (%)	40,00				
Amibas com Teca (%)	44,00				
Móveis de Fundo (%)	0,00				

A esta comunidade corresponde um valor de IBL de 5, da Classe de Qualidade de tratamento III.

Tabela 17: Microfauna do licor misto do TA4 da amostra do dia 48

	1ª contagem	2ª contagem	Total	Ind/mL	%
Amibas com Teca	6	3	9	180	69,23
<i>Arcella uncinata</i>	4	3	7	140	53,85
<i>Euglypha</i> sp.	1	0	1	20	7,69
<i>Centropyxis</i> sp.	1	0	1	20	7,69
Sésseis	4	0	4	80	30,67
<i>Vorticella convallaria</i>	3	0	3	60	23,08
<i>Epistylis</i> sp. (grande)	1	0	1	20	7,69
Totais			14	280	100
Número de pequenos flagelados	Entre 10 e 100 na Camara de Fuchs Rosenthal				
Número de Espécies	5				
Nadadores (%)	0,00				
Sésseis (%)	30,67				
Amibas com Teca (%)	69,23				
Móveis de Fundo (%)	0,00				

A esta comunidade corresponde um valor de IBL de 5, da Classe de Qualidade de tratamento III.

Apesar do IBL ainda se manter em 5, houve um aumento na abundância da microfauna. O TA2 é o que está mais desenvolvido em relação ao TA3 e TA4. O TA4 mantém-se o mais atrasado notando-se zonas com menos floculação e biomassa. De um modo geral, a comunidade de protozoários indicia uma nova evolução nestes tanques de arejamento. O TA2 como foi o primeiro a ser intervencionado foi o que estabilizou mais cedo.

AMOSTRA 13 (dia 54):

Neste dia foram retiradas amostras dos TA1, TA2, TA3 e TA4, onde ocorreu a sua análise e cálculo do IBL, de cada tanque de arejamento.

Tabela 18: Microfauna do licor misto do TA1 da amostra do dia 54

	1ª contagem	2ª contagem	Total	Ind/mL	%
Amibas com Teca	7	6	13	260	39,39
<i>Arcella uncinata</i>	5	5	10	200	30,30
<i>Euglypha</i> sp.	1	1	2	40	6,06
<i>Centropyxis</i> sp.	1	0	1	20	3,03
Ciliados Nadadores	1	1	2	40	6,06
<i>Paramecium</i> sp.	1	1	2	40	6,06
Sésseis	12	6	18	360	54,54
<i>Vorticella aquadulcis</i>	2	1	3	60	9,09
<i>Vorticella convallaria</i>	10	5	15	300	45,45
Totais			33	660	100
Número de pequenos flagelados	Entre 10 e 100 na Camara de Fuchs Rosenthal				
Número de Espécies	6				
Nadadores (%)	6,06				
Sésseis (%)	54,55				
Amibas com Teca (%)	39,39				
Móveis de Fundo (%)	0,00				

A esta comunidade corresponde um valor de IBL de 5, da Classe de Qualidade de Tratamento III.

Tabela 19: Microfauna do licor misto do TA2 da amostra do dia 54

	1ª contagem	2ª contagem	Total	Ind/mL	%
Amibas com Teca	4	3	7	140	35,00
<i>Arcella uncinata</i>	3	3	6	120	30,00
<i>Euglypha</i> sp.	1	0	1	20	5,00
Ciliados Nadadores	1	0	1	20	5,00
<i>Paramecium</i> sp.	1	0	1	20	5,00
Sésseis	7	5	12	240	60,00
<i>Vorticella aquadulcis</i>	2	0	2	40	10,00
<i>Vorticella convallaria</i>	5	5	10	200	50,00
Totais			20	400	100
Número de pequenos flagelados	Entre 10 e 100 na Camara de Fuchs Rosenthal				
Número de Espécies	6				
Nadadores (%)	5,00				
Sésseis (%)	60,00				
Amibas com Teca (%)	35,00				
Móveis de Fundo (%)	0,00				

A esta comunidade corresponde um valor de IBL de 5, da Classe de Qualidade de Tratamento III.

Tabela 20: Microfauna do licor misto do TA3 da amostra do dia 54

	1ª contagem	2ª contagem	Total	Ind/mL	%
Amibas com Teca	3	2	5	100	23,81
<i>Arcella uncinata</i>	2	2	4	80	19,05
<i>Euglypha</i> sp.	1	0	1	20	4,76
Ciliados Nadadores	1	0	1	20	4,76
<i>Paramecium</i> sp.	1	0	1	20	4,76
Sésseis	12	3	15	300	71,43
<i>Vorticella aquadulcis</i>	2	0	2	40	9,52
<i>Vorticella convallaria</i>	10	3	13	260	61,90
Totais			21	420	100
Número de pequenos flagelados	Entre 10 e 100 na Camara de Fuchs Rosenthal				
Número de Espécies	5				
Nadadores (%)	4,76				
Sésseis (%)	71,43				
Amibas com Teca (%)	23,81				
Móveis de Fundo (%)	0,00				

A esta comunidade corresponde um valor de IBL de 5, da Classe de Qualidade de Tratamento III.

Tabela 21: Microfauna do licor misto do TA4 da amostra do dia 54

	1ª contagem	2ª contagem	Total	Ind/mL	%
Amibas com Teca	4	0	4	80	13,79
<i>Arcella uncinata</i>	3	0	3	60	10,34
<i>Centropyxis</i> sp.	1	0	1	20	3,45
Sésseis	15	10	25	500	86,21
<i>Vorticella aquadulcis</i>	3	0	3	60	10,34
<i>Vorticella convallaria</i>	10	8	18	360	62,07
<i>Epistylis</i> sp. (grande)	2	2	4	80	13,79
Totais			29	580	100
Número de pequenos flagelados	Entre 10 e 100 na Camara de Fuchs Rosenthal				
Número de Espécies	5				
Nadadores (%)	0,00				
Sésseis (%)	86,21				
Amibas com Teca (%)	13,79				
Móveis de Fundo (%)	0,00				

A esta comunidade corresponde um valor de IBL de 5, da Classe de Qualidade de Tratamento III.

O valor do IBL mantém-se em 5 tendo já uma microfauna muito variada. O TA4 é mais atrasado em termos de recuperação. Os outros três tanques de arejamento estão a progredir bem.

AMOSTRA 14 (dia 61):

Seguindo o mesmo procedimento de dia 13 de maio de 2021, analisou-se amostras do TA1, TA2, TA3 e TA4 e calculou-se o IBL de cada tanque de arejamento.

Tabela 22: Microfauna do licor misto do TA1 da amostra do dia 61

	1ª contagem	2ª contagem	Total	Ind/mL	%
Amibas com Teca	7	6	13	260	12,04
<i>Arcella uncinata</i>	5	4	9	180	8,33
<i>Euglypha</i> sp.	1	1	2	40	1,85
<i>Centropyxis</i> sp.	1	1	2	40	1,85
Ciliados Nadadores	2	2	4	80	3,70
<i>Paramecium</i> sp.	2	2	4	80	3,70
Sésseis	56	25	71	1580	75,15
<i>Vorticella infusionum</i>	1	1	2	40	1,85
<i>Vorticella aquadulcis</i>	5	6	11	220	10,19
<i>Vorticella convallaria</i>	40	12	52	1040	48,15
<i>Epistylis</i> sp. (grande)	10	4	14	280	12,96
Móveis de Fundo	5	4	9	180	8,33
<i>Aspidisca lynceus</i>	5	4	9	180	8,33
Nemátodes	2	1	3	60	2,78
Nemátodes	2	1	3	60	2,78
Totais			108	2160	100
Número de pequenos flagelados	Entre 10 e 100 na Camara de Fuchs Rosenthal				
Número de Espécies	10				
Nadadores (%)	3,70				
Sésseis (%)	73,15				
Amibas com Teca (%)	12,04				
Móveis de Fundo (%)	8,33				

A esta comunidade corresponde um valor de IBL de 7, da Classe de Qualidade de Tratamento II.

Tabela 23: Microfauna do licor misto do TA2 da amostra do dia 61

	1ª contagem	2ª contagem	Total	Ind/mL	%
Amibas com Teca	7	4	11	220	11,11
<i>Arcella uncinata</i>	5	4	9	180	9,09
<i>Euglypha</i> sp.	1	0	1	20	1,01
<i>Centropyxis</i> sp.	1	0	1	20	1,01
Ciliados Nadadores	10	4	14	280	14,14
<i>Paramecium</i> sp.	10	4	14	280	14,14
Sésseis	32	39	71	1420	71,72
<i>Vorticella infusionum</i>	2	2	4	80	4,04
<i>Vorticella aquadulcis</i>	10	4	14	280	14,14
<i>Vorticella convallaria</i>	10	19	29	580	29,29
<i>Epistylis</i> sp. (grande)	10	14	24	480	24,24
Móveis de Fundo	2	0	2	40	2,02
<i>Aspidisca lynceus</i>	2	0	2	40	2,02
Nemátodes	2	1	3	60	2,78
Nemátodes	2	1	3	60	2,78
Totais			108	2160	100
Número de pequenos flagelados	Entre 10 e 100 na Camara de Fuchs Rosenthal				
Número de Espécies	10				
Nadadores (%)	14,14				
Sésseis (%)	71,72				
Amibas com Teca (%)	11,11				
Móveis de Fundo (%)	2,02				

A esta comunidade corresponde um valor de IBL de 7, da Classe de Qualidade de Tratamento II.

Tabela 24: Microfauna do licor misto do TA3 da amostra do dia 61

	1ª contagem	2ª contagem	Total	Ind/mL	%
Flagelados	1	0	1	20	1,39
<i>Peranema</i>	1	0	1	20	1,39
Amibas com Teca	6	2	8	160	11,11
<i>Arcella uncinata</i>	5	2	7	140	9,72
<i>Euglypha</i> sp.	1	0	1	20	1,39
Ciliados Nadadores	10	6	16	320	22,22
<i>Paramecium</i> sp.	10	6	16	320	22,22
Sésseis	22	21	43	860	59,72
<i>Vorticella infusionum</i>	1	0	1	20	1,39
<i>Vorticella aquadulcis</i>	5	5	10	200	13,89
<i>Vorticella convallaria</i>	15	15	30	600	41,67
<i>Epistylis</i> sp. (grande)	1	1	2	40	2,78
Móveis de Fundo	1	1	2	40	2,78
<i>Aspidisca lynceus</i>	1	1	2	40	2,78
Totais			72	1440	100
Número de pequenos flagelados	Entre 10 e 100 na Camara de Fuchs Rosenthal				
Número de Espécies	9				
Nadadores (%)	22,22				
Sésseis (%)	59,72				
Amibas com Teca (%)	11,11				
Móveis de Fundo (%)	2,78				

A esta comunidade corresponde um valor de IBL de 7, da Classe de Qualidade de Tratamento II.

Tabela 25: Microfauna do licor misto do TA4 da amostra do dia 61

	1ª contagem	2ª contagem	Total	Ind/mL	%
Amibas com Teca	1	1	2	40	4,17
<i>Arcella uncinata</i>	1	1	2	40	4,17
Ciliados Nadadores	5	6	11	220	22,92
<i>Paramecium</i> sp.	5	6	11	220	22,92
Sésseis	23	10	33	660	68,75
<i>Vorticella infusionum</i>	1	0	1	20	2,08
<i>Vorticella aquadulcis</i>	2	2	4	80	8,33
<i>Vorticella convallaria</i>	10	8	28	560	58,33
Móveis de Fundo	1	1	2	40	4,17
<i>Aspidisca lynceus</i>	1	1	2	40	4,17
Totais			48	960	100
Número de pequenos flagelados	Entre 10 e 100 na Camara de Fuchs Rosenthal				
Número de Espécies	6				
Nadadores (%)	22,92				
Sésseis (%)	68,75				
Amibas com Teca (%)	4,17				
Móveis de Fundo (%)	4,17				

A esta comunidade corresponde um valor de IBL de 5, da Classe de Qualidade de Tratamento III.

Em comparação com a colheita anterior, houve uma melhoria significativa do IBL de 5 para 7 nos TA1, TA2 e TA3. Ou seja, estes tanques de arejamento possuem lamas bem colonizadas e estáveis, qualidade de tratamento II. O TA4 como tem tido uma lenta evolução, não está tão desenvolvido como os restantes tanques de arejamento.

AMOSTRA 15 (dia 68):

Apenas se recolheu uma amostra do tanque de arejamento 1. Analisou-se e procedeu-se ao cálculo do IBL.

Tabela 26: Microfauna do licor misto do TA1 da amostra do dia 68

	1ª contagem	2ª contagem	Total	Ind/mL	%
Amibas com Teca	3	1	4	80	4,17
<i>Arcella uncinata</i>	3	1	4	80	4,17
Móveis de Fundo	26	18	44	880	45,84
<i>Aspidisca cicada</i>	3	1	4	80	4,17
<i>Aspidisca lynceus</i>	5	4	9	180	9,38
<i>Acineria uncinata</i>	18	13	31	620	32,29
Sésseis	20	19	39	780	40,62
<i>Vorticella infusionum</i>	1	1	2	40	2,08
<i>Vorticella aquadulcis</i>	1	1	2	40	2,08
<i>Vorticella convallaria</i>	7	4	11	220	11,46
<i>Epistylis</i> sp. (grande)	11	13	24	480	25,00
Carnívoros	3	6	9	180	9,38
<i>Podophrya</i> sp.	1	2	3	60	3,13
<i>Tokophrya</i> sp.	2	4	6	120	6,25
Totais			96	1920	100
Número de pequenos flagelados	Entre 10 e 100 na Camara de Fuchs Rosenthal				
Número de Espécies	10				
Nadadores (%)	0,00				
Sésseis (%)	40,62				
Amibas com Teca (%)	4,17				
Móveis de Fundo (%)	45,84				

A esta comunidade corresponde um valor de IBL de 7, da Classe de Qualidade de Tratamento II.

Apesar do IBL continuar em 7, a microfauna indicia uma nova evolução, visto que nesta amostra houve um aumento na diversidade de protozoários considerados indicadores de bom desempenho como os móveis de fundo (*Aspidisca cicada*, *Aspidisca lynceus* e *Aspidisca uncinata*). Os protozoários nadadores desapareceram e surgiram protozoários carnívoros, o que indica estabilidade das lamas.

AMOSTRA 16 (dia 73):

Apenas se recolheu uma amostra do tanque de arejamento 2. Analisou-se e procedeu-se ao cálculo do IBL.

Tabela 27: Microfauna do licor misto do TA2 da amostra do dia 73

	1ª contagem	2ª contagem	Total	Ind/mL	%
Amibas com Teca	3	2	5	100	1,93
<i>Arcella uncinata</i>	1	0	1	20	0,39
<i>Euglypha</i> sp.	2	2	4	80	1,54
Móveis de Fundo	41	31	72	1440	27,80
<i>Aspidisca cicada</i>	15	12	27	540	10,42
<i>Aspidisca lynceus</i>	4	7	11	220	4,25
<i>Acineria uncinata</i>	22	12	34	680	13,13
Sésseis	94	85	179	3580	69,11
<i>Vorticella aquadulcis</i>	3	1	4	80	1,54
<i>Vorticella convallaria</i>	5	8	13	260	5,02
<i>Epistylis</i> sp. (grande)	86	76	162	3240	62,55
Carnívoros	1	2	3	60	1,26
<i>Podophrya</i> sp.	1	1	2	40	0,77
<i>Tokophrya</i> sp.	0	1	1	20	0,39
Totais			259	5180	100
Número de pequenos flagelados	Entre 10 e 100 na Camara de Fuchs Rosenthal				
Número de Espécies	10				
Nadadores (%)	0,00				
Sésseis (%)	69,11				
Amibas com Teca (%)	1,93				
Móveis de Fundo (%)	27,80				

A esta comunidade corresponde um valor de IBL de 7, da Classe de Qualidade de Tratamento II.

Nesta amostra de licor misto observou-se semelhanças de microfauna relativamente à anterior. Houve um aumento dos protozoários móveis de fundo, indicadores de bom desempenho. Desapareceram os protozoários nadadores e apareceram alguns carnívoros, indicadores de estabilidade de lamas. O IBL continua em 7, classe de tratamento II, devido ao elevado número de pequenos flagelados.

AMOSTRA 17 (dia 80):

Apenas se recolheu uma amostra do tanque de arejamento 3. Analisou-se e procedeu-se ao cálculo do IBL.

Tabela 28: Microfauna do licor misto do TA3 da amostra do dia 80

	1ª contagem	2ª contagem	Total	Ind/mL	%
Flagelados	0	1	1	20	0,45
<i>Peranema</i> sp.	0	1	1	20	0,45
Amibas com Teca	3	0	3	60	1,35
<i>Arcella uncinata</i>	3	0	3	260	1,35
Móveis de Fundo	65	61	126	2520	56,76
<i>Aspidisca cicada</i>	3	4	7	140	13,15
<i>Aspidisca lynceus</i>	46	50	96	1920	43,24
<i>Acineria uncinata</i>	16	7	23	460	10,36
Sésseis	41	50	91	1820	40,99
<i>Vorticella aquadulcis</i>	2	1	3	60	1,35
<i>Vorticella convallaria</i>	9	3	12	240	5,41
<i>Epistylis</i> sp. (grande)	30	46	76	1520	34,23
Carnívoros	1	0	1	20	0,45
<i>Tokophrya</i> sp.	1	0	1	20	0,45
Totais			222	4440	100
Número de pequenos flagelados	Entre 10 e 100 na Camara de Fuchs Rosenthal				
Número de Espécies	9				
Nadadores (%)	0,00				
Sésseis (%)	40,99				
Amibas com Teca (%)	1,35				
Móveis de Fundo (%)	56,76				

A esta comunidade corresponde um valor de IBL de 7, da Classe de Qualidade de Tratamento II.

A microfauna indicia boa estabilidade e com níveis razoáveis de depuração. Os protozoários nadadores desapareceram e surgiu um protozoário carnívoro (*Tokophrya* sp.). O IBL mantém-se em 7 com qualidade de tratamento II.

AMOSTRA 18 (dia 87):

Apenas se recolheu uma amostra do tanque de arejamento 4. Analisou-se e procedeu-se ao cálculo do IBL.

Tabela 29: Microfauna do licor misto do TA4 da amostra do dia 87

	1ª contagem	2ª contagem	Total	Ind/mL	%
Amibas com Teca	3	2	5	100	1,63
<i>Arcella uncinata</i>	3	2	5	100	1,63
Móveis de Fundo	80	66	146	2920	47,56
<i>Aspidisca lynceus</i>	69	58	127	2540	41,37
<i>Acineria uncinata</i>	11	8	19	380	6,19
Sésseis	94	85	179	3580	49,19
<i>Vorticella aquadulcis</i>	3	2	5	100	1,63
<i>Vorticella convallaria</i>	10	7	17	340	5,54
<i>Epistylis</i> sp. (grande)	57	72	129	2580	42,02
Metazoários	2	3	5	100	1,63
<i>Rotífero (Digononta)</i>	1	1	2	40	0,65
<i>Nemátode</i>	1	2	3	60	0,98
Totais			307	6140	100
Número de pequenos flagelados	Entre 10 e 100 na Camara de Fuchs Rosenthal				
Número de Espécies	8				
Nadadores (%)	0,00				
Sésseis (%)	49,19				
Amibas com Teca (%)	1,63				
Móveis de Fundo (%)	47,56				

A esta comunidade corresponde um valor de IBL de 7, da Classe de Qualidade de Tratamento II.

Como este era o tanque mais atrasado em termos de recuperação e em comparação com os outros tanques de arejamento, neste observou-se apenas 8 espécies de protozoários, enquanto nos outros rondavam os 9 e/ou 10 espécies.

Comparando a amostra tirada anteriormente do TA4, notou-se uma significativa evolução. O IBL Aumentou de 5 para 7, qualidade tratamento II e a quantidade de protozoários também aumentou, passando de 6 espécies para 8 espécies de protozoários nesta última amostra.

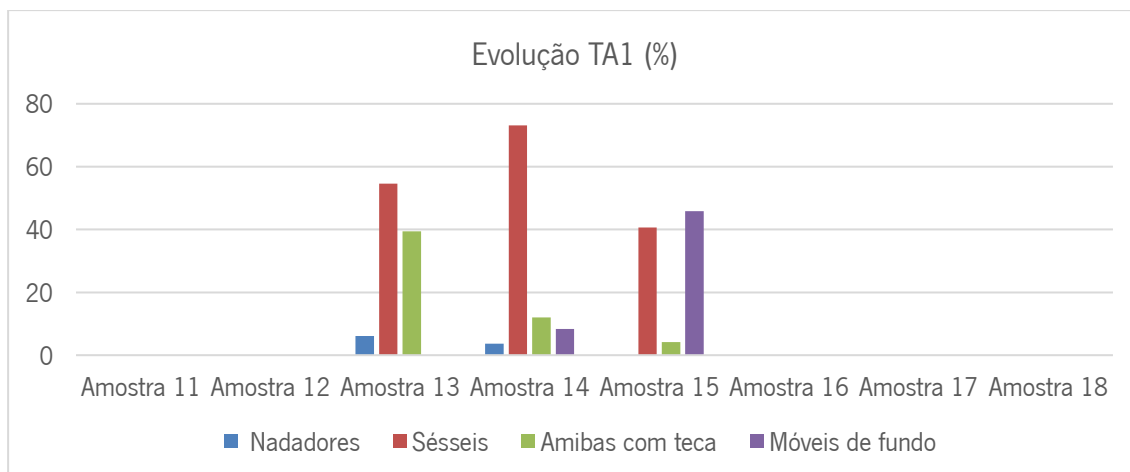
5.1 Conclusões do caso de estudo

Durante estes três meses de reabilitação dos tanques de arejamento, houve melhorias graduais quer da qualidade e aspeto da biomassa quer da comunidade de protozoários. Como podemos observar pela tabela 30, foram recolhidas 18 amostras. Na primeira amostra recolheu-se efluente dos quatro tanques de arejamento, para fazer um ponto de situação do estado da microfauna. Na amostra número 3 adicionou-se um inóculo de biomassa com boa capacidade de depuração já com o tanque de arejamento 1 em funcionamento. Na amostra 7 recolheu-se novamente licor misto de todos os tanques de arejamento já com o TA2 em funcionamento, para ver se houve alguma melhoria, da qual se verificou que o TA3 e TA4 ainda estavam com graves problemas de anoxia. A amostra 10 já se recolheu com o TA3 em funcionamento e a amostra 11 já se recolheu com o TA4 em funcionamento. As amostras 15, 16, 17 e 18 só foram recolhidas uma de cada tanque visto que a microfauna recuperou bem e já estavam estáveis.

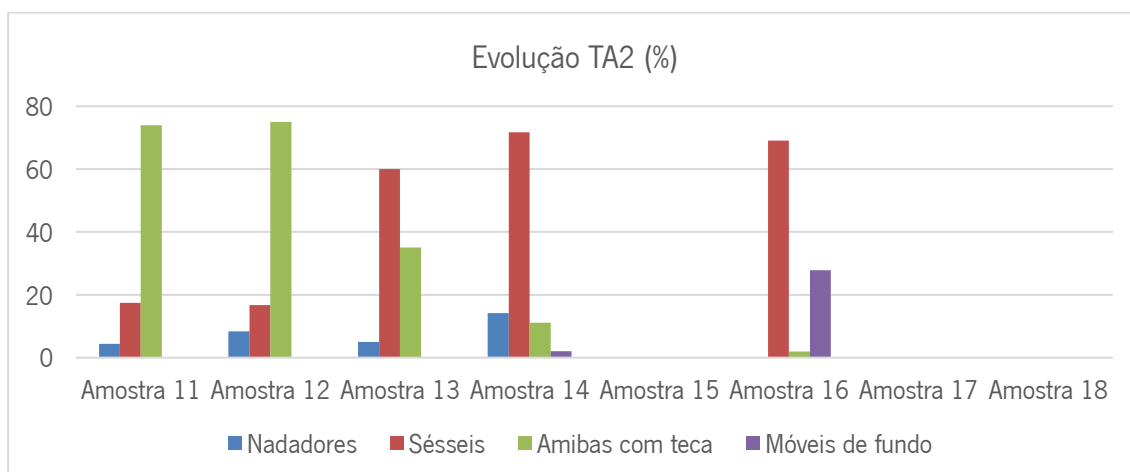
Tabela 30: Recolha de amostras para análise microscópica

Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
TA1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X			
TA2	X						X	X	X	X	X	X	X	X		X		
TA3	X						X			X	X	X	X	X				X
TA4	X						X				X	X	X	X				X

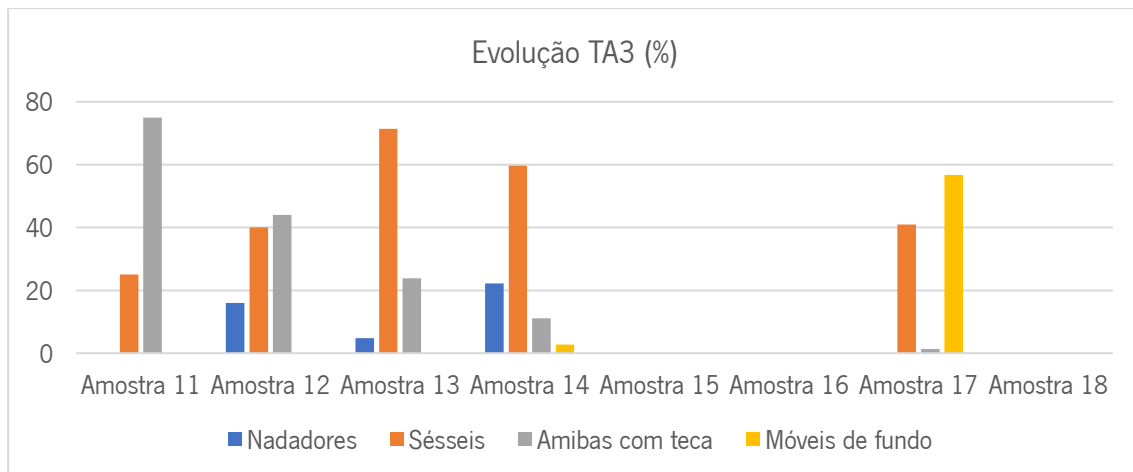
Com os gráficos abaixo, conseguimos visualizar a evolução dos quatro tanques de arejamento através da percentagem e do tipo de protozoários que apareceram ao longo do processo de recuperação destas amostras.



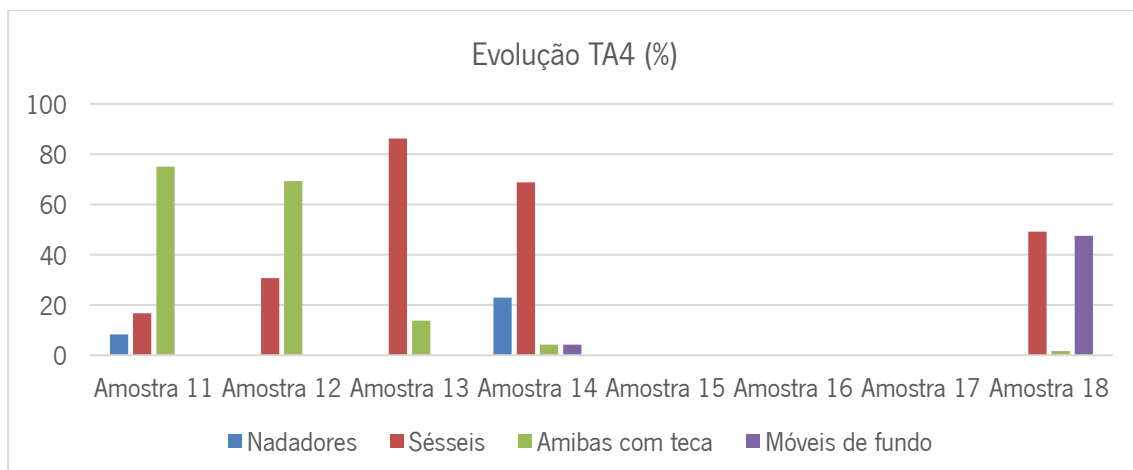
No TA1 verificou-se que a percentagem de nadadores foi diminuindo até desaparecer ao longo das amostras. Na última amostra recolhida, a percentagem de sésseis e móveis de fundo foi de 40.62% e de 45.84%, respetivamente, o que indica que o sistema de lamas ativadas está a ser eficiente.



Relativamente à evolução do TA2, houve uma diminuição dos protozoários nadadores até ao seu desaparecimento. Na amostra número 16 prevaleceram os sésseis, em maior percentagem, e seguidamente os móveis de fundo, indicando que a microfauna estava com um bom desempenho.



No TA3 houve uma diminuição dos protozoários nadadores até ao seu desaparecimento, como aconteceu nos TA1 e TA2. A amostra número 17 foi a última amostra recolhida para analisar a microfauna presente no TA3. Nesta amostra prevaleceram os móveis de fundo, e seguidamente os sésseis, indicando que a microfauna estava com boa capacidade de depuração.



No TA4 houve uma diminuição dos protozoários nadadores até ao seu desaparecimento, como aconteceu nos TA1, TA2 e TA3. Como este tanque de arejamento foi o último a arrancar, a amostra número 18 foi a última amostra a ser analisada. Os móveis de fundo e os sésseis foram os protozoários que se destacaram com percentagens idênticas, indicando assim que o sistema de lamas ativadas estava a ser eficiente.

6. CONCLUSÕES FINAIS

Foram analisadas 18 amostras referentes a um processo de recuperação de uma ETAR ao longo de 87 dias. Foi possível verificar que, ao longo da evolução das amostras, houve um desaparecimento dos protozoários nadadores o que significou que os tanques já tinham avançado da fase de arranque. O aparecimento de protozoários carnívoros (sésseis) e móveis de fundo, significou que já estavam com um bom desempenho. Da amostra 1 até á amostra 10 demorou-se 42 dias para se atingir um IBL de 5, ou seja, com uma qualidade de tratamento III. Seguidamente, demorou-se 7 dias até se atingir um IBL de 7, significando isto que a qualidade do tratamento atingiu o estágio II. Assim, os TA1, TA2, TA3 e TA4 conseguiram obter índices de qualidade de tratamento II.

É essencial que haja sempre um controlo e monitorização das ETAR para que haja um bom desempenho destas e quando ocorra alguma falha, seja possível responder rapidamente para que não se torne num problema ambiental.

Madoni criou-nos uma ferramenta essencial e completa para caracterização da microfauna e posteriormente para a avaliação em termos quantitativos e qualitativos das lamas biológicas. Considera-se uma ferramenta atual, visto que ainda não surgiu nenhuma a substituí-la, apesar de já ter muito anos. A única desvantagem desta ferramenta é só conseguirmos avaliar o desempenho dos sistemas de lamas ativadas e não da ETAR na sua totalidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Decreto-Lei n° 236/98 de 01-08-1998 ANEXO XVIII - Valores limite de emissão (VLE) na descarga de águas residuais
- Águas do Norte, <https://www.adnorte.pt/pt/educacao-ambiental/ciclo-urbano-da-agua/tratamento-de-agua/?id=115>, consultado em 10 de maio de 2020
- Águas do norte, <https://www.adnorte.pt/pt/educacao-ambiental/ciclo-urbano-da-agua/tratamento-de-aguas-residuais/?id=116>, consultado em 10 de maio de 2020
- Monte, Helena. Santos, Maria. Barreiros, Ana. Albuquerque, António. (2016). Curso técnico 05. Tratamento de águas Residuais. operações e processos de tratamento físico e químico. ERSAR, Entidade Reguladora dos Serviços de água e Resíduos.
- Bento A.P., Sezerino P.H., Philippi L.S., Reginatto V., Lapolli F.R., 2005, *Microfauna characterization in activated sludge wastewater treatment plant: An instrument of assessment and control of process*, 330.
- Decreto Regulamentar n° 23/95 de 23-08-1995 Artigo 13° - Consumos domésticos
- INSAAR. (2011). Quadro 3.2 Consumo diário de água por pessoa
- Curds. Colin R. (1982). *The ecology and role of protozoa in aerobic sewage treatment processes*. Annu Rev Microbiol.
- Curds. Colin R. (1973). *The Role of Protozoa in the Activated-Sludge Process*. Department of Zoology, Annu Rev Microbiol.
- Hidurbe Serviços. Exploração de Sistemas de água. Consultado em 9/03/2020, disponível em <https://www.hidurbe.pt/pt/areas-de-atividade/exploracao-de-sistemas-de-agua>
- Nicolau, Ana. (2009). *Avaliação do desempenho das ETAR's através da observação das comunidades de protozoários, metazoários e filamentosas – nível 0*. Biotempo consultaria em biotecnologia.
- Madoni P., 2003, *Protozoa as indicators of wastewater treatment efficiency*, 361-365, 370.
- Madoni, Paolo. (1994a). *A sludge biotic index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge plants based on the microfauna analysis*. Wat. Res. Vol. 28, No. 1, 67-75.
- Oliveira Silva, Carla. Saraiva, Isabel. Silva, Joana R. Rosário, Teresa. (2007). *Substituição da etapa de tratamento físico-químico da ETAR de Barcelos por um tratamento biológico por lamas activadas, sustentadas a oxigénio puro*. Conferencia: 13° Encontro Nacional Saneamento Básico, na Covilhã. (6).
- Martins, Maria J. Nicolau, Ana. Mota, Manuel. Lima, Nelson. (1995). *A importância da microfauna como ferramenta de trabalho em estações de tratamento de águas residuais*.
- Pauli W., Jax K., Berger S., 2001, *The Handbook of Environmental Chemistry*, Vol 2, Part K, Chapter 3, *Protozoa in wastewater treatment: Function and Importance*, 212, 214-217, 236, 241.
- Ribeiro, Luis. (2009). *Ecossistemas e Bem-Estar humano em Portugal*. Capítulo 11 - Águas subterrâneas. 383
- Shiklomanov em: Peter H. Gleick. (1993) (ed.), *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources* (Chapter 2) (Oxford University Press, New York). 13
- Spychała Marcin, Sowińska Aleksandra, Starzyk Justyna & Mastowski Adam. (2015). *Protozoa and metazoa relations to technological conditions of non-woven textile filters for wastewater treatment*.
- Warren Alan, Esteban Genoveva F., Finlay Bland J. (2016). Chapter 2 – *Protozoa*.