



Fábio Gonçalo Chiquito Azedo

Licenciado em ciências de Engenharia do Ambiente

OTIMIZAÇÃO DA ETAPA DE FLOTAÇÃO NA ETA DE ALCANTARILHA

MESTRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE, PERFIL DE ENGENHARIA SANITÁRIA

Universidade NOVA de Lisboa
Setembro, 2022



OTIMIZAÇÃO DA ETAPA DE FLOTAÇÃO NA ETA DE ALCANTARILHA

FÁBIO GONÇALO CHIQUITO AZEDO

Licenciado em Ciências de Engenharia do Ambiente

Orientador: Rui Sancho,
Engenheiro, Águas Do Algarve

Coorientadores: Prof(a). Doutora Leonor Miranda Monteiro do Amaral,
Professor Associada, Universidade NOVA de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor António Pedro de Macedo Coimbra
Mano,
Professor auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade Nova de Lisboa

Arguente: Eng.^a Helena Maria Gonçalves Lucas dos
Santos,
Diretora de Operações – Água, nas Águas do Algarve

Vogal: Prof.^a Doutora Leonor Miranda Monteiro do
Amaral,
Professora associada da Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade Nova de Lisboa

OTIMIZAÇÃO DA ETAPA DE FLOTAÇÃO NA ETA DE ALCANTARILHA

Copyright © Fábio Gonçalo Chiquito Azedo Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de começar por agradecer à empresa Águas do Algarve, do grupo Águas de Portugal, por me ter possibilitado ter esta grande oportunidade de fazer a minha dissertação na ETA de Alcantarilha.

Também à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e a todo o corpo docente e não docente que fez este meu percurso académico e a minha formação tornarem-se possíveis

Agradeço ao meu Orientador, o Eng.º Rui Sancho, por desde o primeiro dia pôs-me à vontade dentro das instalações da ETA, de estar sempre disponível quando precisei de auxílio e pelos ensinamentos que me transmitiu ao longo da dissertação. Também gostar de agradecer à Eng.ª Lizete Costa pela ajuda na realização dos ensaios laboratoriais e pela ajuda prestada. Ao Eng.º Paulo Correia pela ajuda com a recolha dos dados operacionais do flotador, e a toda a equipa presente na ETA de Alcantarilha pela hospitalidade, apoio e partilha de experiências tanto profissionais como de vida.

Quero agradecer também à minha coorientadora, Professora Doutora Leonor pelo auxílio e apoio prestado para levar a dissertação a bom porto e pelas conversas e partilha de conhecimento.

Um especial agradecimento aos Engenheiros da Acciona Enrique Palácios e Enrique Pollo pelos ensinamentos e conversas acerca da flotação e do seu funcionamento.

Aos meus amigos e colegas Tiago Rodrigues, Viviana Matos, Ianize Cardoso, Beatriz Valente, Sofia Gouveia e Shelsia Lange, pela amizade, momentos felizes e tristes partilhados, pelo apoio e manhãs, tardes e videochamadas de estudo.

Ao Tiago Rodrigues agradeço em especial pelo companheirismo, pelos trabalhos que fizemos juntos e pelas peripécias que deles vieram.

Agradeço especialmente à Cátia Patrão por todo o carinho e suporte ao longo deste longo, mas curto percurso e por não me deixar ir abaixo nos maus momentos e partilhar da minha alegria nos bons momentos.

Aos meus amigos de infância Bruno Santos, Dário Martins, Dério Martins, Luís Chumbinho, Tiago Miranda e Ricardo Severino por todo o apoio que me deram durante a dissertação, apesar do tempo escasso, e por todas as noites de jogos e conversas para preservar a minha saúde mental.

Por fim, agradeço do fundo do meu coração aos meus pais, tios e irmã pelo amor e suporte incondicional durante a minha vida e esta minha jornada. Com um especial agradecimento ao meu avô e à minha avó por tudo o que fizeram por mim, pelo amor e por acompanharem de perto esta última jornada do meu percurso académico.

RESUMO

O acesso a água potável é uma questão de máxima importância para a saúde pública e para o desenvolvimento e o bem-estar da sociedade.

O acesso a água potável e a saneamento básico, estão estabelecidos como um dos direitos humanos e esse acesso está associado a múltiplos benefícios desde a melhoria das condições de saúde até à melhoria da qualidade de vida e ao impulsionar da economia e do desenvolvimento dos países contribuindo de forma significativa para a diminuição da pobreza.

Em Portugal o setor de abastecimento público de água para consumo humano tem evoluindo significativamente, no entanto ainda existem desafios para serem encarados, nomeadamente no que toca à operação das instalações e ao desenvolvimento e aperfeiçoamento das tecnologias utilizadas.

Existem vários tipos de tratamento de separação sólido-líquido. A flotação é um processo de tratamento de separação sólido-líquido que, em comparação com processos mais tradicionais, como é o caso da decantação, apresenta algumas vantagens, particularmente no que diz respeito à área requerida pelos órgãos, aos custos dos reagentes que para esta operação unitária são inferiores aos convencionais e à maior eficiência de remoção de partículas finas.

Existem vários tipos de operação de flotação, estes geralmente diferem entre si na forma como o ar está presente na água, isto é, na forma de produção de bolhas. A flotação por ar dissolvido (FAD) é o processo presente na ETA de Alcantarilha e assenta na compressão de ar com água sendo posteriormente libertado no flotador, à pressão atmosférica.

Devido à sua sensibilidade com variações da qualidade da água afluente, nomeadamente, à carga de partículas presentes na água, a otimização destes sistemas é alvo de diversos estudos, sendo bastante comum a referência à importância do desempenho do pré-tratamento que antecede a flotação.

Assim, procedeu-se ao estudo da otimização do flotador da ETA de Alcantarilha, inicialmente através de uma análise à qualidade da água bruta que chega à ETA, revelando uma água de qualidade, com características que não interagem negativamente com a flotação.

Estudaram-se também as condições de operação praticadas na ETA durante um período pré-estabelecido e foram realizados quatro ensaios de flotest, método que visa a identificação da melhor dose de reagentes, de modo a comparar as doses de reagentes que têm sido utilizadas com a dose ótima a que se chegou nos ensaios.

Posto isto, chegou-se à conclusão de que a dose que obteve melhores resultados foi 15 e 0,25 ppm de coagulante e floculante, respetivamente, mas que, considerando os resultados dos ensaios realizados, permite pensar que existe, ainda, margem para redução de ambas as doses mantendo uma boa "performance".

Por fim, os resultados do balanço de massa de alumínio concluíram que uma redução na dosagem de coagulante seria benéfica, demonstrando que as etapas de coagulação têm um enorme contributo para a circulação de alumínio na ETA.

Palavras chave: Abastecimento de água, Tratamento de água, Flotação, Flotação por ar dissolvido, Qualidade da água, Flotest, Balanço de massa

ABSTRACT

Access to drinking water is considered to be a matter of most importance for public health and for the development of society at local, regional and national level.

There are many benefits of access to clean water and basic sanitation, from a reduction in harmful health effects and associated treatment costs that outweigh the costs of interventions, even by boosting a country's economy and helping to reduce poverty.

In Portugal the public water supply sector for human consumption has evolved significantly, although there is still scope for progression, particularly with regard to technical operation.

There are several types of solid-liquid separation treatment. Flotation is a process of solid-liquid separation treatment which, compared to more traditional processes, such as decanting, has some advantages, particularly with regard to the space occupied by the organs, the costs of acquiring lower reagents and the removal of fine particles more efficiently. There are several types of flotation, these usually differ from each other in the way air is present in water, that is, in the form of bubble production.

Dissolved air flotation (DAF) is the process present in Alcantarilha Water Treatment Plant and is based on the compression of air with water being released later in the flotator at atmospheric pressure. Due to its sensitivity to variations in the quality of the affluent water, namely the load of particles presents in the water, the optimization of these systems is the subject of several studies, being quite common the reference to the importance of the performance of pre-treatment that precedes flotation.

Thus, the optimization of the Alcantarilha Water Treatment Plant's flotator was carried out, through, initially, an analysis of the quality of raw water that reaches the Water Treatment Plant, revealing a quality water with characteristics that do not impair flotation.

The operating conditions practiced in the Water Treatment Plant during a pre-established period were also studied and two flotest trials were performed, a method aimed at identifying the best dose of reagents, in order to compare the doses of reagents that have been used with the optimal dose reached in the trials.

Having said that, it was concluded that the dose that obtained the best results was 15 and 0.25 ppm of coagulant and flocculant, respectively, but that, due to the trials, there may be a margin of reduction of both doses maintaining good results.

Finally, the results of the aluminum mass balance concluded that a reduction in coagulant dosage would be beneficial, demonstrating that coagulation steps have a huge contribution to aluminum circulation in the Water Treatment Plant.

Keywords: Water supply, Water treatment, Flotation, Dissolved air flotation, Water quality, Flotest, Mass balance

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento do tema	1
1.2	Âmbito e Objetivos.....	2
1.3	Organização da Dissertação.....	2
2	REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1	História da flotação	5
2.2	A flotação e os seus fundamentos	6
2.3	Coagulação, floculação e reagentes	7
2.3.1	Coagulação.....	7
2.3.2	Floculação	11
2.4	Flotação em tratamento de águas para o consumo humano.....	12
2.5	Tipos de Flotação	14
2.5.1	Eletroflotação.....	14
2.5.2	Flotação por ar disperso.....	15
2.5.3	Flotação por ar dissolvido.....	16
2.6	Flotação por ar dissolvido de alta carga	18
2.7	Métodos de otimização	23
2.7.1	Flotest	24
3	CASO DE ESTUDO	25
3.1	Caracterização das Águas do Algarve.....	25

3.2	Caracterização da ETA de Alcantarilha.....	27
3.3	Motivações para a implementação do flotador	31
3.4	Caracterização do flotador da ETA de Alcantarilha.....	33
3.4.1	Câmaras de Flotação	33
3.4.2	Sistema de recirculação	35
3.4.3	Saturadores	36
3.4.4	Câmaras de Mistura Rápida e de Mistura Lenta	37
4	METODOLOGIA.....	41
4.1	Materiais e Métodos	41
4.1.1	Análise da qualidade da água bruta.....	41
4.1.2	Condições de operação e boas práticas recomendadas	42
4.1.3	Flotest.....	44
4.1.4	Balanço de Massa	49
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
5.1	Análise da qualidade da água bruta	53
5.2	Condições de operação e boas práticas recomendadas.....	63
5.3	Flotest.....	72
5.4	Balanço de Massa.....	76
6	CONCLUSÕES	79
7	DIFICULDADES ENCONTRADAS E RECOMENDAÇÕES PARA O FUTURO	81
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Capa de Stern e Capa Difusa de uma molécula.....	8
Figura 2-2. Efeito das interações interpartículas na estabilidade de um sistema coloidal.....	9
Figura 2-3. Tipos de tratamento recomendados consoante alguns parâmetros.....	13
Figura 2-4. Esquemas de tratamento do caudal em sistemas de FAD com saturadores.....	18
Figura 2-5. Localização da zona de contacto e da zona de separação num FAD.....	19
Figura 2-6. Representação do fluxo estratificado e dos seus sentidos (setas) num sistema FAD de alto rendimento.....	22
Figura 2-7. Diferença na presença de caminhos preferenciais entre ter o muro vertical e inclinado num sistema FAD.....	23
Figura 3-1. Localização das ETA e rede de distribuição da AdA.....	26
Figura 3-2. Fluxograma simplificado da fase líquida da ETA de Alcantarilha.....	28
Figura 3-3. Fluxograma simplificado da fase sólida da ETA de Alcantarilha.....	30
Figura 3-4. Câmaras de Flotação da ETA de Alcantarilha.....	34
Figura 3-5. Câmara de Flotação vazia, tubos coletores de água flotada (à esquerda) e pormenor da entrada de água saturada (à direita).....	34
Figura 3-6. Grupos Eletrobomba responsáveis pela recirculação de água no flotador.....	35
Figura 3-7. Sistema de saturação (à esquerda) e imagem aproximada de um dos saturadores (à direita).....	36
Figura 3-8. Unidades de alimentação de ar dos saturadores.....	37
Figura 3-9. Agitador da CMR (à esquerda) e localização dos dois estágios de floculação (à direita).....	39
Figura 4-1. Equipamento Flotest usado.....	45
Figura 4-2. Bancada dos ensaios flotest.....	46

Figura 4-3. Saturador utilizado nos ensaios flotest.....	47
Figura 4-4. Ensaio flotest a decorrer, dando para se observar a formação de flocos.....	48
Figura 4-5. Esquema de circuitos do balanço de massas de alumínio executado	50
Figura 5-1. Turvação na água bruta	53
Figura 5-2. Dureza total na água bruta.....	55
Figura 5-3. pH na água bruta.....	56
Figura 5-4. Alumínio total na água bruta.....	57
Figura 5-5. Carbono orgânico total na água bruta.....	58
Figura 5-6. Ferro total na água bruta.....	59
Figura 5-7. Manganês total na água bruta	60
Figura 5-8. Bactérias coliformes presentes na água bruta.....	62
Figura 5-9. Caudal instantâneo afluente ao flotador.....	67
Figura 5-10. Dose de coagulante administrada no pré-tratamento do flotador ao longo do tempo.....	68
Figura 5-11. Dose de floculante administrada no pré-tratamento do flotador ao longo do tempo.....	68
Figura 5-12. Turvação registada na água flotada.....	69
Figura 5-13. Valores de Turvação e de Dose de Coagulante registados	70
Figura 5-14. Valores de Turvação e de Dose de Floculante registados.....	70
Figura 5-15. Pressão de cada um dos saturadores aquando do seu funcionamento.....	71
Figura 5-16. Classificação Final de cada umas das combinações de dosagens de reagentes de ambos os ensaios	75
Figura 5-17. Balanço de massa de alumínio da fase líquida da ETA de Alcantarilha.....	76

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2-1. Número de infraestruturas com sistema FAD em diversos locais.....	14
Tabela 2-2. Velocidades ascensionais das bolhas para a temperaturas de 4 e 20 °C.....	21
Tabela 3-1. Dimensões unitárias das células de flotação.....	35
Tabela 3-2. Dimensões da câmara de mistura rápida.....	38
Tabela 3-3. Dimensões unitárias das câmaras de mistura lenta.....	38
Tabela 4-1. Data e dosagens de reagentes usadas em cada um dos ensaios Flotest.....	44
Tabela 4-2. Dados agregados para a execução do balanço de massas de alumínio.....	49
Tabela 5-1. Extremos, Quartis e Variância dos valores de turvação registados.....	54
Tabela 5-2. Extremos, Quartis e Variância dos valores de Dureza total registados.....	55
Tabela 5-3. Extremos, Quartis e Variância dos valores de pH registados.....	56
Tabela 5-4. Extremos, Quartis e Variância dos valores de Alumínio total registados.....	57
Tabela 5-5. Extremos, Quartis e Variância dos valores de COT registados.....	58
Tabela 5-6. Valores típicos de concentração de carbono orgânico total em diferentes massas de água.....	59
Tabela 5-7. Extremos, Quartis e Variância dos valores de Ferro Total registados.....	59
Tabela 5-8. Extremos, Quartis e Variância dos valores de Manganês Total registados.....	60
Tabela 5-9. Extremos, Quartis e Variância dos valores de Bactérias Coliformes registados.....	62
Tabela 5-10. Condições de operação do Flotador apresentadas no Manual de Operação e Manutenção.....	63
Tabela 5-11. Boas práticas recomendadas (Princípios Gerais).....	66
Tabela 5-12. Boas práticas recomendadas (Construção).....	66
Tabela 5-13. Boas práticas recomendadas (Condições operacionais).....	66
Tabela 5-14. Condições de operação onde se obtiveram melhores resultados na remoção de turvação e alumínio e respetivos valores.....	71
Tabela 5-15. Volumes a dosear para as concentrações objetivo nos ensaios de Flotest.....	72
Tabela 5-16. Resultados obtidos nas análises laboratoriais dos ensaios de flotest realizados em junho.....	73
Tabela 5-17. Classificação dos resultados obtidos no 1º Ensaio Flotest.....	74
Tabela 5-18. Classificação dos resultados obtidos no 2º Ensaio Flotest.....	74
Tabela 5-19. Eficiências de remoção de alumínio.....	77

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1- Fluxograma da ETA de Alcantarilha	90
Anexo 2- Ficha técnica do coagulante utilizado nos ensaios de flotest.....	91
Anexo 3- Ficha técnica do floculante utilizado nos ensaios de flotest (Página 1).....	92
Anexo 4- Ficha técnica do floculante utilizado nos ensaios de flotest (Página 2).....	93
Anexo 5- Tabela com as condições de operação onde se obtiveram melhores resultados de remoção de turvação e alumínio.....	94
Anexo 6- Taxas de recirculação das câmaras de flotação ao longo do tempo	95
Anexo 7- Resultados obtidos nas análises laboratoriais dos ensaios de flotest realizados em maio.....	96
Anexo 8- Classificação e balanço dos resultados obtidos no 1º Ensaio Flotest de maio	97
Anexo 9- Classificação e balanço dos resultados obtidos no 2º Ensaio Flotest de maio	98
Anexo 10- Classificação Final no ensaio Flotest de maio.....	99
Anexo 11 - Valores registados de Turvação na água bruta da ETA de Alcantarilha.....	100
Anexo 12 - Valores registados de Dureza Total na água bruta da ETA de Alcantarilha	105
Anexo 13 -Valores registados de pH na água bruta da ETA de Alcantarilha	106
Anexo 14 - Valores registados de Alumínio na água bruta da ETA de Alcantarilha.....	108
Anexo 15 - Valores registados de COT na água bruta da ETA de Alcantarilha	112
Anexo 16 - Valores registados de Ferro Total na água bruta da ETA de Alcantarilha.....	113
Anexo 17 - Valores registados de Manganês Total na água bruta da ETA de Alcantarilha....	115
Anexo 18 - Valores registados de Bactérias Coliformes na água bruta da ETA de Alcantarilha	117

SIGLAS

- AdA - Águas do Algarve
- AdP - Águas de Portugal
- CMR - Câmara de Mistura Rápida
- COT - Carbono Orgânico Total
- DAF - Dissolved Air Flotation
- EUA - Estados Unidos da América
- FAD - Flotação por Ar Dissolvido
- QF - Quantidade de Flocos Flotados
- TF - Tamanho dos Flocos
- VF - Velocidade de Flotação dos Flocos
- VMR - Valor Mínimo Recomendado

INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do tema

O acesso à água potável é considerado uma questão de máxima importância para a saúde pública e para o desenvolvimento da sociedade a nível local, regional, nacional e mundial (WHO, 2011). A presença de água potável e disponível no imediato é importante para qualquer que seja o uso da mesma, seja para beber, para uso doméstico, para produção de alimento ou mesmo para fins recreativos (WHO, 2022).

Os benefícios do acesso à água potável e ao saneamento básico tem-se demonstrado positivamente na economia de alguns países, podendo, em conjunto com uma gestão eficiente dos recursos hídricos, impulsionar a economia de um país e contribuir para a diminuição da pobreza (WHO, 2011, 2022).

Encontram-se investimentos deste tipo quer em grandes infraestruturas de abastecimento de água até sistemas de tratamento individuais de água para abastecimento doméstico (WHO, 2011, 2022).

Em Portugal o setor de abastecimento público de água para consumo humano tem evoluído significativamente, isto é evidenciado pelo facto de que em 1993 somente 50% da água era monitorizada e apresentava uma boa qualidade para abastecimento, tendo em 2008 atingido já o valor de 97%. Contudo, embora Portugal apresente água de boa qualidade na sua generalidade, ainda existe uma manifesta necessidade de melhoria, particularmente no que respeita à operação das instalações e às tecnologias utilizadas (Rosa *et al.*, 2009).

A flotação é um tipo de tratamento, de separação sólido-líquido, utilizado tanto para águas residuais como para águas para abastecimento público. Tem como base as diferentes densidades entre as partículas sólidas presentes na água e as bolhas de ar para se conseguir

fazer a separação, isto fazendo com que essas mesmas partículas se fixem às bolhas, fazendo com que os seus aglomerados (que têm uma densidade menor que o meio) aflorem à superfície e possam ser removidos através de pás raspadoras (Shammas & Bennett, 2010).

É um processo que é utilizado há muitos anos na indústria mineira. A primeira aplicação que teve no sector da água foi em tratamento de águas residuais para separação de sólidos suspensos, fibras e outros sólidos de baixa densidade. A flotação também foi e é usada como método de espessamento de lamas (Shammas & Bennett, 2010).

No caso de águas para abastecimento público, a flotação é particularmente eficiente quando a fonte de água apresenta blooms algais, presença considerável de partículas de baixa densidade, cor natural, baixa turvação, baixo carbono orgânico total (COT) e cianobactérias. (Edzwald, 2006; Haarhoff & Edzwald, 2013; Rosa *et al.*, 2009)

1.2 Âmbito e Objetivos

Esta dissertação surgiu no âmbito de uma oportunidade proporcionada pelas Águas do Algarve, do grupo Águas de Portugal.

O principal objetivo desta dissertação é um contributo para a otimização da etapa de flotação por ar dissolvido da ETA de Alcantarilha, tentando alcançar o melhor rendimento possível, com o menor custo possível.

1.3 Organização da Dissertação

Esta dissertação está organizada em 8 capítulos cujos conteúdos são:

- Capítulo 1 – Introdução, onde é descrito e enquadrado o tema da presente dissertação, o âmbito da mesma e o seu objetivo final;
- Capítulo 2 – Revisão de Literatura, onde foi compilada e apresentada informação teórica relevante para a temática. Começou por se abordar o conceito e os fundamentos da flotação, a sua história e origem. Também foram abordadas as etapas de pré-tratamento, coagulação e floculação, bem como a sua importância para a flotação e como a flotação é usada no abastecimento de água para consumo humano. Por fim, abordaram-se os diferentes tipos de mecanismos de flotação, a flotação por ar dissolvido de alta carga e métodos de otimização para esta etapa de tratamento;

- Capítulo 3 – Caso de estudo, onde foi descrita a empresa Águas do Algarve, a ETA de Alcantarilha e o Flotador, e seus sistemas constituintes do caso de estudo. Neste capítulo também foram apresentadas as motivações para a construção do flotador;
- Capítulo 4 – Metodologia, onde é descrito o procedimento e materiais dos ensaios de flotest e como foi realizado o balanço de massa. São também referidos os cálculos que irão ser apresentados nos resultados.
- Capítulo 5 – Resultados e discussão onde são apresentados os resultados da análise à qualidade da água bruta, das condições de operação e boas práticas recomendadas, os resultados dos ensaios flotest e o balanço de massa;
- Capítulo 6 – Conclusões, onde são expostas de forma sintética as ilações tiradas através dos resultados obtidos;
- Capítulo 7 – Dificuldades encontradas e recomendações para o futuro, onde são descritas as dificuldades presentes ao longo da dissertação e feitas recomendações para estudos futuros que corroborem e suportem os resultados obtidos na presente dissertação e explorem outras condições que tendencialmente permitam ainda uma maior otimização.
- Capítulo 8 – Referências Bibliográficas, onde é devidamente registada e apresentada toda a literatura consultada para a construção deste documento.

REVISÃO DE LITERATURA

2.1 História da flotação

O processo de flotação é utilizado já à vários séculos. Há registros de que à cerca de 2000 anos, na Grécia antiga a flotação era utilizada com o intuito de separar os minerais da ganga. Neste tempo, o processo consistia na distribuição de material obtido na exploração mineira num recipiente cheio de água, fazendo com que os minerais ficassem à superfície e a ganga se depositasse no fundo do recipiente (Gregory *et al.*, 1999).

No século XIX, mais precisamente no ano de 1860, William Haynes patenteou um processo onde óleo foi usado para separação de minérios. Haynes verificou que, ao combinar um minério em pó a um óleo, misturar com água e agitar, agregado ao óleo vinha à superfície da água o minério em questão (Ives, 1983).

Só por volta de 1910, cerca de meio século depois, é que o primeiro equipamento de flotação foi construído, por T.J. Hoover (Gregory *et al.*, 1999). Dois anos depois, em 1912, a "froth flotation" já fazia sucesso em países como os Estados Unidos da América (EUA) e a Austrália (Ives, 1983).

Em 1914, foi desenvolvido, por Callow, um método de flotação que consistia na introdução de ar na coluna de água através de difusores ou superfícies porosas. Este método ficaria conhecido por "foam flotation" (Palaniandy *et al.*, 2017). Tanto a "froth flotation", como a "foam flotation" são consideradas variantes da flotação por ar disperso, sendo bastante utilizadas na indústria dos minérios (Gregory *et al.*, 1999).

Em paralelo, por volta de 1904, quando dois irmãos, Francis e Stanley Elmore (Almond, 2000), demonstraram que através de eletrólise era possível promover a formação de bolhas de ar para o processo de flotação (Palaniandy *et al.*, 2017).

A flotação por ar dissolvido surgiu alguns anos mais tarde, sendo a patente do processo de flotação por pressão de ar dissolvido registada em 1924 por Peterson e Sveen, utilizada na indústria do papel. Este método baseava-se na produção de bolhas de ar através da libertação da pressão de água saturada com ar, e inicialmente, era sobretudo utilizado para separar

substâncias com menor densidade que a água, como óleos, fibras e gorduras. Só no final dos anos 60 e que este processo foi admitido no tratamento de águas, tanto residuais como para abastecimento. (Gregory *et al.*, 1999).

2.2 A flotação e os seus fundamentos

A flotação é uma operação unitária utilizada em tratamento de água residual e de água para abastecimento público. A flotação é um método de separação de duas fases podendo ser entre sólido-líquido e líquido-líquido (Teixeira & Rosa, 2001).

Esta operação tem como base a injeção de bolhas de gás (normalmente ar), sendo este meio de transporte para arrastamento de partículas em suspensão, hidrofóbicas ou promovendo essa característica, e que são fixadas pelas bolhas de ar e transportadas para a superfície do meio (Kyzas & Matis, 2018).

A flotação apresenta algumas vantagens em relação aos outros métodos de separação sólido-líquido (como é o caso da decantação) como, por exemplo, as menores dimensões do órgão e, conseqüentemente, menores custos de construção, menor dosagem de coagulantes e floculantes, a maior facilidade de remoção de partículas finas com reduzidas dimensões e densidades, e um tempo de retenção baixo (Crini & Lichtfouse, 2019; Teixeira & Rosa, 2001).

A flotação é mais eficaz que a decantação no tratamento de água para abastecimento quando os flocos originários têm uma densidade menor que a da água, apresentando assim dificuldade a decantar (Silva *et al.*, n.d.). Esta situação ocorre, normalmente, quando a água apresenta uma turvação baixa e uma cor elevada (Neto, 2016).

Outro cenário em que é favorável a utilização da flotação, ao invés da decantação, é quando a fonte da água se encontra eutrofizada e com algas. A remoção de patogénicos na flotação também é superior (Andreoli & Sabogal-Paz, 2019). Outro aspeto em que a flotação pode tornar-se mais benéfica é quando existe limitação de área disponível a utilizar para a implantação da ETA ou apenas da etapa de separação sólido-líquido. Uma vez que a flotação necessita uma área superficial consideravelmente menor comparativamente com a decantação (Neto, 2016).

Por outro lado, a flotação apresenta um custo de investimento inicial elevado, consumos energéticos de operação elevados, custos de manutenção consideráveis, grande

suscetibilidade à variação do efluente bruto e necessidade de pessoal especializado (Crini & Lichtfouse, 2019; Teixeira & Rosa, 2001).

2.3 Coagulação, floculação e reagentes

A grande maioria das operações unitárias de uma ETA tem o seu desempenho consideravelmente afetado pelas etapas de coagulação e floculação (Elder & Budd, 2010). Na coagulação e floculação tratamos especialmente a matéria coloidal (tamanho entre 0,001 e 1 μm) (Polo, 2021).

2.3.1 Coagulação

As partículas coloidais podem ser hidrofóbicas, com origem mineral (por exemplo argilas e metais) ou hidrofílicas, moléculas grandes ou agregados de pequenas (por exemplo polímeros sintéticos ou naturais como proteínas e polissacarídeos). Estas partículas contribuem para a cor aparente da água e a sua opalescência. Podem ser inorgânicas ou minerais, orgânicas ou mesmo microrganismos que se comportam como colóides (Polo, 2021).

As partículas não solúveis têm um tempo de sedimentação considerável e apresentam uma superfície livre por unidade de volume bastante elevada. Têm uma grande capacidade de adsorção e podem ter carga positiva ou negativa, no entanto, com o pH neutro da água geralmente apresentam cargas negativas. Estas cargas podem ser permanentes (estruturais) ou variar com o pH (Polo, 2021).

As cargas negativas de um colóide atraem as cargas positivas das moléculas de água. Assim, o colóide fica rodeado de cargas positivas das moléculas de água que tentam neutralizá-lo, formando assim a *capa de Stern*. Esta primeira capa não consegue neutralizar toda a carga do colóide, sendo que continuam a ser atraídas cargas positivas, formando assim uma nuvem de moléculas de água a volta do colóide, que se atraem e repelem entre si, formando a *capa difusa* (Polo, 2021).

A Figura 2-1. apresenta de forma ilustrativa a capa de stern e a capa difusa de uma molécula.

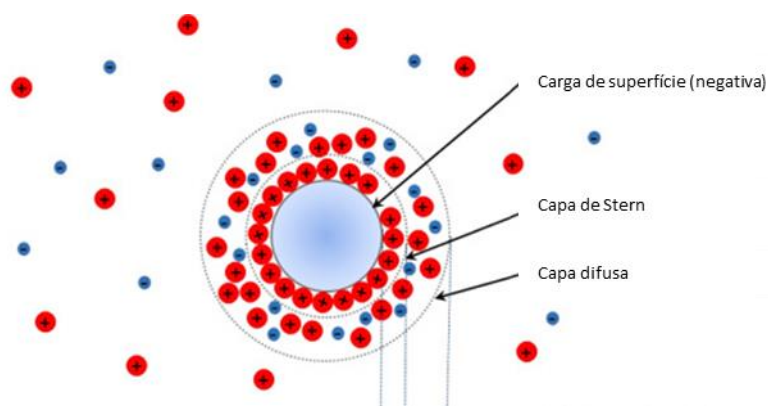


Figura 2-1. Capa de Stern e Capa Difusa de uma molécula

(Fonte: Pate & Safier, 2016)

O potencial Zeta é o potencial elétrico da superfície exterior da capa de Stern. Dá-nos uma medida de que carga elétrica pode ter essa partícula. É importante saber o potencial zeta das partículas, de modo a otimizar a coagulação ou escolher que tipo de coagulante pode funcionar melhor. Quanto maior for o potencial Zeta maior é a carga elétrica da partícula (Polo, 2021).

A coagulação é uma etapa fundamental usada nas ETA e ETAR como pré-tratamento, não só para tipos de tratamentos, mais tradicionais, como a filtração rápida, mas também para tratamentos mais recentes (Elder & Budd, 2010). Esta etapa de pré-tratamento é essencial pois afeta todas as etapas a jusante que envolvam a formação e remoção de partículas, o que faz com que o desempenho do tratamento da água numa ETA dependa consideravelmente do desempenho da coagulação. As etapas mais afetadas pela coagulação são a floculação, a FAD, a filtração e a decantação (Edzwalds & Haarhoff, 2011).

A estabilização, do ponto de vista estrutural e das interações entre partículas, dos contaminantes em soluções aquosas é devida à presença de cargas eletrostáticas na camada superficial das partículas (Shammas *et al.*, 2010). Quando duas partículas com cargas semelhantes se aproximam, as suas camadas superficiais começam a interagir, resultando numa força eletrostática repulsiva. Esta força é inversamente proporcional com a distância entre as duas partículas consideradas.

A estabilidade das partículas coloidais no limite depende das forças eletrostáticas repulsivas e das forças de atração. Estas forças de atração são devidas às forças de Van der Waals, sendo que todas as partículas coloidais, independentemente das suas características, as possuem (Shammas, 2005).

As forças de Van der Waals têm uma magnitude muito pequena e tende a diminuir rapidamente com o aumento da distância entre as partículas (Shammas *et al.*, 2010).

Para além das forças de Van der Waals, a estabilidade do sistema coloidal é comprometida devido ao movimento Browniano, isto é, ao movimento aleatório das partículas. O resultado destes movimentos é a transmissão de energia cinética às partículas coloidais. A força resultante do sistema obtém-se através da soma das forças eletrostáticas repulsivas com as forças atrativas de Van der Waals (Shammas, 2005).

Assim, quando a força resultante é repulsiva e é mais forte, que a energia as partículas não conseguem coagular e a dispersão torna-se estável (Figura 2-2. cenário A). Quando o inverso acontece, isto é, quando a força resultante é repulsiva, mas a energia cinética é superior, a dispersão torna-se instável (Figura 2-2. cenário B) e as partículas conseguem coagular (Shammas, 2005).

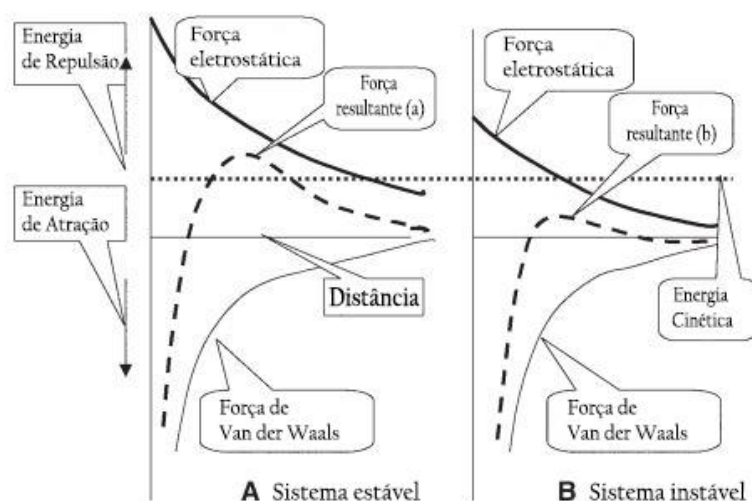


Figura 2-2. Efeito das interações interpartículas na estabilidade de um sistema coloidal

(Adaptado de: Shammas,2005)

O meio convencional para vencer a força eletrostática repulsiva das cargas e conseqüentemente provocar a coagulação de partículas com dimensões para precipitar é adicionando eletrólitos que tenham na sua constituição catiões bivalentes ou trivalentes (Shammas *et al.*, 2010).

Existem métodos diferentes de promover a coagulação das partículas coloidais:

1. Compressão da dupla camada:

Para efetuar este método, adiciona-se um eletrólito à água. Os iões que têm uma carga elétrica com sinal oposto à da superfície das partículas entram na camada difusa das mesmas. Se um número suficiente destes iões de carga contrária for adicionado, a camada

difusa é comprimida, fazendo com que haja uma redução na energia necessária para mover duas partículas com a mesma carga elétrica superficial e, conseqüentemente, possam estar mais próximas.

Este método não é viável para o caso do tratamento de água devido às grandes concentrações de sal necessárias (comparáveis com a água do mar) para que possa ocorrer e a taxa de agregação das partículas ser considerada lenta (Letterman & Yiacoumi, 2010).

2. Coagulação por neutralização de cargas superficiais:

Este método tem como princípio a redução da carga superficial das partículas presentes. Com esta redução, a espessura da camada difusa vai diminuindo fazendo com que a energia necessária para mover partículas em contacto seja minimizada (Letterman & Yiacoumi, 2010).

Este método pode ser efetuado através de duas maneiras, através de compostos coagulantes que têm uma carga oposta à carga superficial das partículas sendo adsorvidos pelas próprias partículas (Letterman & Yiacoumi, 2010).

Também pode ser feito através da deposição de uma partícula sobre outra de sinal oposto, por exemplo, uma partícula de maior dimensão (com carga superficial negativa alta) em contacto com outras partículas de menores dimensões e de cargas opostas (com cargas superficiais positivas baixas). Isto faz com que à medida que as cargas negativas das partículas de maiores dimensões vão sendo reduzidas através da deposição das partículas com carga positiva, a suspensão das partículas maiores é destabilizada (Letterman & Yiacoumi, 2010).

3. Criação de "pontes" entre partículas:

Acontece quando um polímero de elevado peso molecular é adsorvido por várias partículas em simultâneo, por via dos seus segmentos. Quando o polímero entra em contacto com uma partícula coloidal, parte do mesmo é adsorvido e o resto estende-se pela solução (Letterman & Yiacoumi, 2010).

Assim, se essa parte do polímero que se encontra na solução entrar em contacto com uma outra partícula, sendo adsorvida pela mesma, é formada uma ligação entre as duas partículas às quais o polímero foi adsorvido, formando assim uma ponte (Letterman & Yiacoumi, 2010).

É um processo que tem de ser muito controlado, isto porque se a adsorção dos polímeros for em excesso, pode conduzir para a estabilização da solução (Letterman & Yiacoumi, 2010). Este método pode ser combinado com os outros métodos referidos como forma de complementação dos mesmos (Polo, 2021).

4. Campos Externos:

Através do uso de campos externos à solução, como por exemplo campos magnéticos. Os campos magnéticos permitem introduzir ao sistema uma força adicional às partículas magnéticas (por exemplo, partículas que na sua composição contém ferro) fazendo com que as mesmas se aglomerem de maneira organizada (Letterman & Yiacoumi, 2010).

2.3.2 Floculação

A floculação ou mistura lenta é a etapa que se segue imediatamente depois da coagulação. Esta etapa permite fornecer todos os mecanismos físicos para a dispersão dos reagentes químicos e para o contacto das partículas.

O equipamento usado neste processo é semelhante ao usado na coagulação. Os objetivos de cada processo são diferentes. Na coagulação o objetivo é a destabilização das partículas coloidais de modo a poderem agregar-se. Na floculação o objetivo é a dispersão rápida e uniforme dos reagentes químicos de modo a promover o crescimento do floco.

Para tal, o tempo de retenção nesta etapa tem de ser reduzido, isto é, tem de ter um tempo de retenção relativamente curto porque se for longo o suficiente pode ser prejudicial devido à tendência de a dispersão ser mais efetiva quando ocorre rapidamente e num espaço (Elder & Budd, 2010).

Assim, existem três mecanismos de floculação:

1. Floculação pericinética ou de microescala:

Este mecanismo é dominante quando as partículas apresentam dimensões inferiores a 1 μm (Thomas *et al.*, 1999) e tem como "motor" o movimento Browniano, fazendo com que seja um processo aleatório.

Tem o seu início imediatamente após a destabilização das partículas coloidais e tem uma duração na ordem dos segundos, isto porque o movimento Browniano tem efeito para focos com dimensões limitadas (Bratby, 2008).

Esta limitação deve-se ao facto de que apesar da energia potencial existente entre as partículas coloidais possa ser superada pela energia cinética proveniente do movimento

Browniano, à medida que as partículas vão se agregando e originando flocos de dimensões progressivamente maiores, a energia potencial entre as partículas vai aumentando também, fazendo com que, eventualmente, a floculação pericinetica deixe de acontecer (Bratby, 2008).

Este mecanismo origina flocos com dimensões compreendidas entre os 1 e 100 μm (Polo, 2021).

2. Floculação ortocinética ou de macroescala:

A floculação ortocinética tem como “motor” o gradiente de velocidade introduzido na coluna de água. Este gradiente faz com que sejam estabelecidas velocidades relativas entre as partículas, promovendo assim o contacto entre as mesmas.

A quantidade de flocos formados depende tanto dos gradientes de velocidade aplicados, como do tempo da floculação, uma vez que estes dois parâmetros influenciam a taxa de agregação das partículas, bem como a taxa de destruição dos flocos formados (Bratby, 2008). Os gradientes de velocidade podem ser introduzidos através de dispositivos que produzam esforços cortantes, através de defletores ou agitação mecânica (Bratby, 2008; Polo, 2021).

3. Sedimentação Diferencial:

É o processo dominante quando existem partículas maiores que 10 μm e partículas menores, fazendo com que exista uma diferença entre as velocidades de sedimentação das mesmas, promovendo o contacto e a agregação (Polo, 2021; Thomas *et al.*, 1999).

2.4 Flotação em tratamento de águas para o consumo humano

A flotação é um processo de tratamento de água utilizado em ETA para remoção de algas e cor natural, sendo também eficiente na remoção de sólidos suspensos (Teixeira & Rosa, 2001). Assim, a flotação serve para remover as partículas, já existentes no afluente ou geradas através dos processos químicos da destabilização (coagulação/floculação), responsáveis pela turvação na água, sendo referida como um processo de clarificação (APDA, 2012).

A escolha entre o tratamento convencional com recurso à sedimentação e o tratamento através da flotação tem de ter em conta diversos fatores. Alguns desses fatores podem ser relacionados a questões de área disponível, como já referido anteriormente os tanques de

flotação geralmente ocupam uma menor área que os decantadores, ou fatores relacionados com a qualidade da água afluyente, como é o caso do carbono orgânico total (COT) da turvação e da cor (Valade *et al.*, 2009).

A flotação também se mostrou mais eficiente na remoção de matéria orgânica natural em comparação com a sedimentação, como é o caso da ETA de Rusko em Tempere na Finlândia (Matilainen *et al.*, 2002)

Na Figura 2-3. está representado um dígrama feito para o auxílio da escolha do tratamento com base na qualidade da água afluyente.

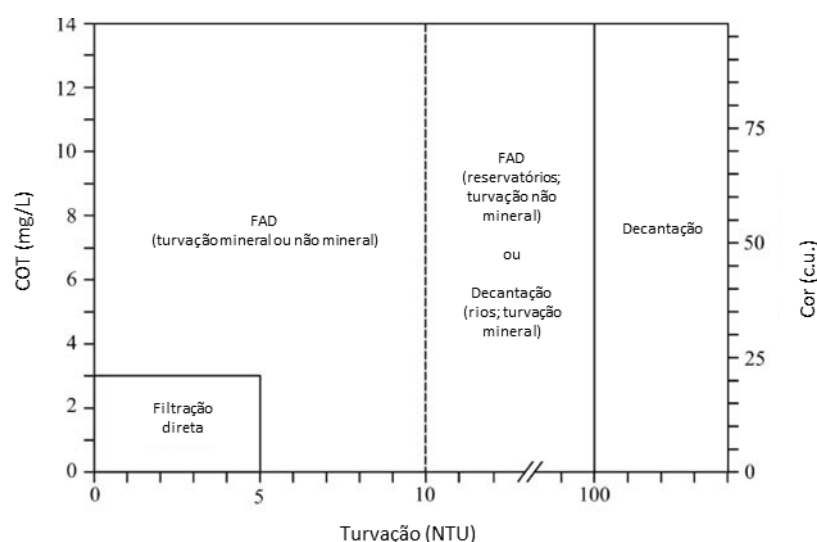


Figura 2-3. Tipos de tratamento recomendados consoante alguns parâmetros

(Adaptado de: Valade *et al.*, 2009)

Um tipo de flotação em específico que tem vindo a ser utilizada recorrentemente como alternativa à decantação no tratamento de água para abastecimento, é a flotação por ar dissolvido (FAD ou DAF de acordo com a terminologia anglo saxónica - Dissolved air flotation) (Li & Tsuge, 2006).

Os sistemas FAD são utilizados para tratamento de água para abastecimento há mais de 45 anos, tendo sido utilizado primeiro na Escandinávia e na África do Sul. A globalização desta tecnologia começou aproximadamente há 25 anos. É considerado um processo de tratamento mais eficiente que a decantação para remover partículas de baixa densidade no afluyente bruto ou originadas como resultado da utilização de reagentes (Edzwald, 2007).

Dito isto, a presença de sistemas FAD está espalhada por todo o mundo, sendo recorrente na Europa, Austrália, Estados Unidos da América, Canadá, América do Sul e Ásia (Crossley & Valade, 2006).

Para se ter noção da dispersão deste sistema a Tabela 2-1. apresenta o número de infraestruturas que diversos países ou conjunto de países em 2001 possuíam um sistema FAD.

Tabela 2-1. Número de infraestruturas com sistema FAD em diversos locais

(fonte: Schofield, 2001)

País/Conjunto de países	Nº de infraestruturas com FAD
Reino Unido	90
Finlândia	37
Austrália	26
África do Sul	26
Estados Unidos da América	20
Suécia	15
Noruega	5
Canadá	3
França	7
Países Baixos	5
Bélgica	3
Nova Zelândia	1

2.5 Tipos de Flotação

Os flotadores variam de acordo com o tipo de flotação para o qual são concebidos. Dito isto, existem três principais tipos de flotação, a eletrolítica (ou eletroflotação), por ar disperso e por ar dissolvido (Palaniandy *et al.*, 2017).

2.5.1 Eletroflotação

Na eletroflotação, a produção de bolhas baseia-se na passagem de corrente entre dois eléctrodos de forma a ser gerado oxigénio e hidrogénio em solução. Uma característica relevante acerca deste tipo de flotação é que as bolhas geradas são de dimensões reduzidas (Palaniandy *et al.*, 2017), entre 20 e 40 μm (Edzvalds & Haarhoff, 2011), em relação às dos outros tipos de flotação, favorecendo assim a remoção de partículas de menor densidade (10-20 m^3/h) (Palaniandy *et al.*, 2017).

Apesar das vantagens em relação às dimensões reduzidas das bolhas, este tipo de flotação não é usado no tratamento de água para o consumo humano. Tal facto deve-se, não só aos

elevados custos energéticos e operacionais associados para o tratamento de água potável com baixa condutividade, mas também às cargas hidráulicas reduzidas em comparação com a flotação por ar dissolvido (FAD), fazendo com que os tanques tenham de apresentar maiores dimensões.

Devido aos materiais usados para a construção dos elétrodos (aço, aço inoxidável, alumínio, entre outros) existe o risco de contaminação da água flotada por parte dos metais constituintes anteriormente referidos (Edzwalds & Haarhoff, 2011).

A eletroflotação é principalmente usada em ETAR de pequenas dimensões, com uma capacidade de tratamento da ordem dos 10 a 20 m³/h (Gregory & Edzwalds, 2010), sendo que também é utilizada no tratamento de dejetos animais, no tratamento de efluentes provenientes da indústria têxtil e de efluentes industriais com presença de metais pesados e emulsões (Edzwalds & Haarhoff, 2011).

2.5.2 Flotação por ar disperso

No caso da flotação por ar disperso existem dois métodos de geração de bolhas, obrigando o ar a passar através de orifícios feitos em discos cerâmicos de vidro, em difusores (também chamada de "foam flotation") (Kyzas *et al.*, 2021; Palaniandy *et al.*, 2017), ou através de um agitador (chamada de "froth flotation"). No entanto, este tipo de flotação foi considerado não apropriado para o tratamento de água para abastecimento (Palaniandy *et al.*, 2017).

As bolhas deste tipo de flotação costumam ter dimensões de 0,5 a 2 mm (Matis, 1995), sendo consideravelmente maiores em comparação com outros métodos de flotação (por exemplo a flotação eletrolítica já abordada). Isto faz com que seja muito utilizada em processamento mineral, pois estas bolhas de maiores dimensões são mais vantajosas para reterem certos minérios de densidades elevadas.

As dimensões das bolhas também são um dos motivos para este tipo de flotação não ser muito utilizado no tratamento de águas de abastecimento nem de águas residuais, pois apresentam uma menor eficiência no processo de flotação devido à menor taxa de colisões entre bolhas e partículas (consequência de uma menor área superficial das bolhas) (Edzwalds & Haarhoff, 2011)

Existem outros motivos para não se utilizar este método de flotação, como o facto de o arejamento mecânico feito através de turbinas provocar uma turbulência elevada fazendo com que os flocos de baixa densidade (característicos de águas para abastecimento e residuais) se desfaçam e o facto de terem de ser, em certos casos, usados reagentes químicos que atuam à

superfície para redução do tamanho da bolha que são proibidos no tratamento de águas para abastecimento (Edzwalds & Haarhoff, 2011).

2.5.3 Flotação por ar dissolvido

A flotação por ar dissolvido assenta na compressão de ar com água sendo libertado posteriormente no flotor à pressão atmosférica. Quando a pressão diminui, o ar que se encontra dissolvido em solução, é solto formando assim as bolhas com um diâmetro compreendido entre 10 e 120 μm (Kyzas *et al.*, 2021). As bolhas ao chocarem com as partículas presentes na água fixam-se nas mesmas e assim, aumentando a sua flutuabilidade, são arrastadas para a superfície da coluna de água (Al-Shamrani *et al.*, 2002).

Existem três métodos de saturação de água na flotação por ar dissolvido: FAD a vácuo, injetando diretamente o ar na água seguido de uma pressurização com recurso a bombas hidráulicas e a um saturador (Edzwalds & Haarhoff, 2011).

A FAD a vácuo é um processo onde o líquido a tratar é saturado com ar à pressão atmosférica. Neste processo as bolhas de ar são geradas através da aplicação de vácuo na câmara de flotação, libertando o ar na forma de pequenas bolhas (Eliassen & Schulhoff, 1944).

Este tipo de flotação tem a vantagem de fazer com que, quando o vácuo é aplicado, exista a nucleação de microbolhas na superfície de partículas hidrofóbicas, fazendo com que flitem. Apesar do mesmo ocorrer também com partículas hidrofílicas, estas bolhas não são tão estáveis como no caso anterior. Este facto faz com que este processo seja bastante seletivo (Corona-Arroyo *et al.*, 2018)

A grande desvantagem deste processo é o facto de estar limitada à capacidade de criação de vácuo do sistema e o equipamento bastante específico requerido para a criação de vácuo. Outra desvantagem é o facto de a libertação de ar ser "suave", fazendo com que o líquido de processo se mantenha num ponto de saturação elevada e conseqüentemente, reduzindo a quantidade de ar disponível para o processo de flotação (Ives, 1983).

Este tipo de flotação é maioritariamente utilizado na indústria do papel para recuperar fibras presentes na água de processo (Nguyen & Schulze, 2003).

A FAD também pode ser feita através da injeção direta de ar à água a ser tratada. Neste tipo de processo, pode haver uma pressurização do caudal total de água (saturação total) ou só a uma parte do caudal (saturação parcial). Este caudal de água saturada é então inserido na zona de contacto do flotor (Edzwalds & Haarhoff, 2011).

A saturação da água pode-se dar através de uma bomba centrífuga ou através da adição de ar com a água sujeita a uma carga hidráulica elevada. A água saturada ao chegar ao tanque do flutuador liberta esse mesmo ar sob a forma de bolhas, tal facto acontece devido à diminuição da pressão (Edzwalds & Haarhoff, 2011).

No processo de flotação por ar dissolvido com recurso a saturadores, o ar é dissolvido na água recorrendo à aplicação de elevadas pressões (de 300 a 700 kPa). Neste processo, a formação de bolhas é semelhante ao processo através de injeção direta de ar, isto é, a mistura de ar e água chega ao tanque do flutuador e devido à despressurização o ar então dissolvido na água é libertado sob a forma de microbolhas (Fanaie *et al.*, 2019).

Existem três possíveis esquemas, (Figura 2-6), relativamente ao modo como o caudal de água neste tipo de FAD é tratado, o primeiro é a pressurização do caudal total ("Full-Flow Pressure DAF"), o segundo a pressurização de parte do caudal ("Split-Flow Pressure DAF") e por fim a pressurização do caudal de água recirculada ("Recycle-Flow Pressure DAF"). Todos estes esquemas podem ser usados no tratamento de efluentes industriais sendo que o último é também usado no tratamento de água para o abastecimento das populações (Edzwalds & Haarhoff, 2011).

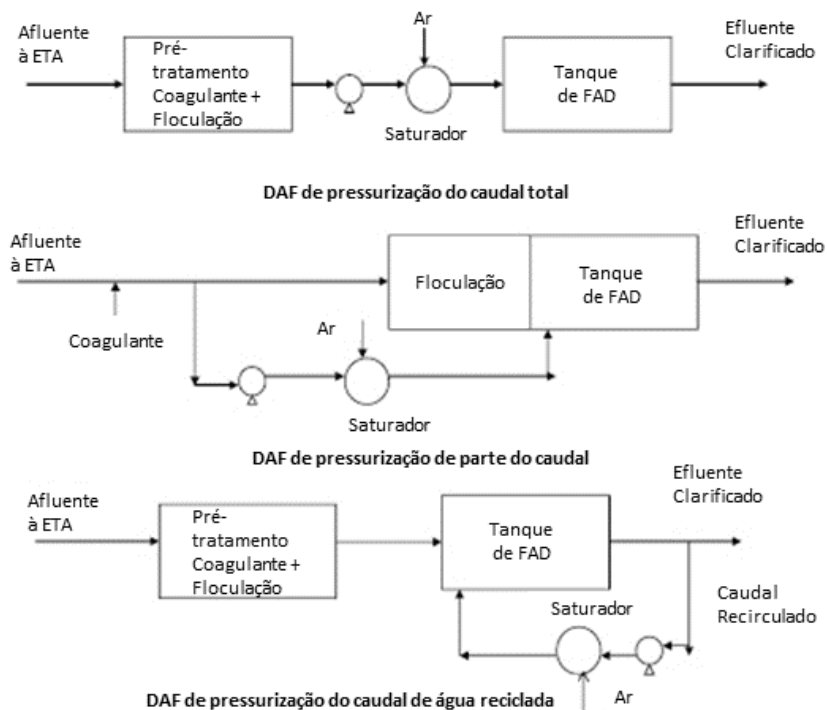


Figura 2-4. Esquemas de tratamento do caudal em sistemas de FAD com saturadores

(Adaptado de: Edzwalds & Haarhoff, 2011).

2.6 Flotação por ar dissolvido de alta carga

Na flotação por ar dissolvido, nos últimos anos, têm existido grandes esforços para otimizar este processo, focados principalmente no aumento das cargas hidráulicas utilizadas para projetar instalações de FAD para o tratamento de água de abastecimento. Assim, já é possível chegar a cargas hidráulicas entre os 20 e os 40 $\text{m}^3/(\text{m}^2.\text{h})$, tendo estes sistemas uma vantagem adicional em comparação com os sistemas tradicionais, o facto de apresentarem menores dimensões (Edzwald, 2007).

Até cerca de 1990 as instalações de FAD foram projetadas com tempos de retenção elevados no pré-tratamento, nomeadamente na flocculação, e com cargas hidráulicas mais baixas em comparação com a atualidade, cerca de 5 a 10 $\text{m}^3/(\text{m}^2.\text{h})$. Nos últimos 15 anos houve uma tendência de otimizar esses dois parâmetros, procurando diminuir o tempo de retenção na flocculação e aumentar a carga hidráulica do tratamento (Edzwald, 2007).

O tanque de flotação de um sistema FAD é constituído por duas componentes: A zona de contacto e a zona de separação (Shawwa & Smith, 2000), ambas representadas na Figura 2-7.

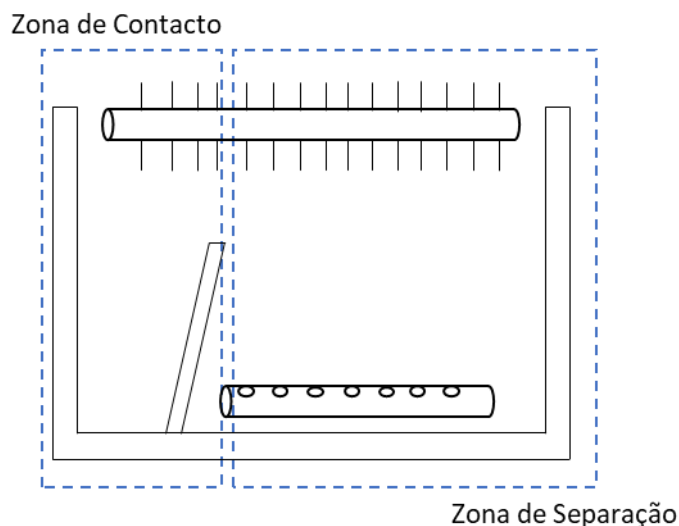


Figura 2-5. Localização da zona de contacto e da zona de separação num FAD

O objetivo da zona de contacto é promover a colisão e a fixação das partículas às bolhas (Shawwa & Smith, 2000). Nesta zona do tanque de flotação, a água saturada e a água proveniente do pré-tratamento misturam-se, fazendo com que haja a formação de agregados bolhas-partículas e, conseqüentemente, o afloramento dos mesmos à superfície de modo a serem removidos na zona de separação (Shawwa & Smith, 1998).

As bolhas formam-se por cavitação devido à perda de carga gerada pelo sistema de injeção, sendo que a partir dos núcleos que se formam as bolhas vão crescendo (teoria da Nucleação). O diâmetro das bolhas pode ser obtido através da tensão superficial da água e da pressão diferencial no injetor, segundo a Equação 2-1 (Palacios Jr, 2021):

$$d_{cb} = \frac{4\sigma}{\Delta P} \quad \text{Equação 2-1}$$

Onde:

σ - Tensão superficial da água

ΔP – Pressão diferencial no injetor.

Dito isto, conclui-se que quanto maior a pressão, menor vai ser o diâmetro das bolhas (Palacios Jr, 2021).

É importante referir que o crescimento das bolhas se dá principalmente na zona de contacto, onde devido ao movimento ascensional há a absorção do ar dissolvido na água e à

fusão de bolhas. Este crescimento, ainda assim, é muito reduzido desde que sai do bocal do sistema de injeção (Palacios Jr, 2021).

Como referido anteriormente, a segunda componente de um sistema FAD é a zona de separação. Esta zona tem como função fornecer as condições necessárias para que os agregados bolhas-partículas aflorem à superfície do tanque (Shawwa & Smith, 2000).

A água que transporta a suspensão de bolhas é conduzida da zona de contacto para a zona de separação, onde as bolhas que não se agregaram às partículas e aos agregados bolhas-partículas flutam. A camada flutuante visível na superfície do tanque é uma mistura de bolhas e agregados bolhas-partículas, sendo que com o tempo esta camada vai se concentrando, dando origem à lama que vai ser removida do tanque (Edzwald, 2007).

Na zona de separação a velocidade ascensional das bolhas e as colisões entre bolhas e partículas são parâmetros fundamentais. No cálculo da velocidade ascensional das bolhas livres considera-se um número de Reynolds ≤ 1 e é descrita pela lei de stokes com recurso a uma de duas equações: uma equação mais conservadora (Equação 2-2.) ou considerando um menor atrito (Equação 2-3.) (Palacios Jr, 2021).

$$V_b = \frac{g(\rho_w - \rho_b)d_b^2}{18\mu_w} \quad \text{Equação 2-2.}$$

$$V_b = \frac{g(\rho_w - \rho_b)d_b^2}{12\mu_w} \quad \text{Equação 2-3.}$$

Onde, em ambas as equações:

V_b - Velocidade ascensional das bolhas livres

g - Aceleração gravítica

ρ_w e ρ_b - densidade da água e das bolhas de ar

d_b - Diâmetro das bolhas

μ_w - Viscosidade da água

Para a zona de separação, uma estimativa considerada fiável para o diâmetro da bolha é de 100 μm , podem atingir velocidades entre 10 e 20 m/h consoante a temperatura (Tabela 2-2.) (Palacios Jr, 2021).

Tabela 2-2. Velocidades ascensionais das bolhas para a temperaturas de 4 e 20 °C

(Fonte: Edzwald, 2007)

Diâmetro das bolhas (μm)	V_b a 4 °C (m/h)	V_b a 20 °C (m/h)
10	0,1	0,2
20	0,5	0,8
60	4,5	7,0
100	12,5	19,5

Para o dimensionamento da zona de separação de um sistema FAD tradicional é usada a teoria de Hazen, que estipula que a velocidade ascensional das bolhas e dos agregados bolhas-partículas, considerando o fluxo vertical e ignorando o fluxo horizontal, deve ser igual ou superior à carga hidráulica da zona de separação para flotação (Palacios Jr, 2021). Assim, estes sistemas foram inicialmente projetados para cargas hidráulicas entre 5 e 10 $\text{m}^3/(\text{m}^2.\text{h})$, sendo este valor aumentado para 15 $\text{m}^3/(\text{m}^2.\text{h})$ nos anos 90 (Edzwald, 2007).

Para que um sistema FAD de alto rendimento operar com cargas hidráulicas entre 20 e 40 $\text{m}^3/(\text{m}^2.\text{h})$, tenha um bom desempenho é fundamental a componente hidráulica do fluxo de água na zona de separação. A teoria de Hazen assume que a área de clarificação e a área da planta do tanque são iguais, mas tal facto não acontece (Edzwald, 2007).

Considera-se um fluxo ao longo da zona de separação e que não cumpre o fluxo pistão do caso ideal. Este fluxo através da zona de separação é influenciado pela velocidade da água em cima do defletor (velocidade cross-flow), da carga hidráulica, da proporção comprimento-largura e de como se extrair a água na saída do flotação (Palacios Jr, 2021).

Este tipo de sistemas FAD apresentam um fluxo estratificado (Figura 2-8.), no qual se move horizontalmente perto da superfície da zona de separação, seguida de um fluxo horizontal em sentido inverso em uma camada imediatamente abaixo da superfície e, por fim, um fluxo descendente encaminhado para a saída no fundo do tanque (Edzwald, 2007).

Assim, uma zona de separação que recebe uma carga hidráulica de 30 $\text{m}^3/(\text{m}^2.\text{h})$, comporta-se de forma estratificada, trabalhando a 10 $\text{m}^3/(\text{m}^2.\text{h})$, valor que é inferior à velocidade ascensional esperada das partículas, fazendo com que a flotação ocorra de maneira eficiente (Palacios Jr, 2021).

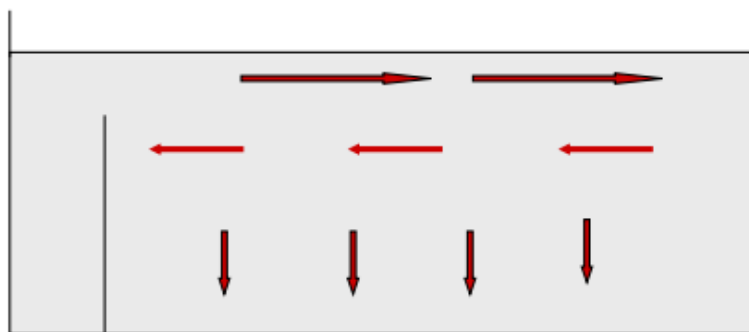


Figura 2-6. Representação do fluxo estratificado e dos seus sentidos (setas) num sistema FAD de alto rendimento

(fonte: Edzwald, 2007)

Um fator determinante para o funcionamento do fluxo estratificado é a altura do muro de separação entre a zona de contacto e a zona de separação. Este deve apresentar uma inclinação entre os 10 e os 15 ° (sendo a inclinação considerada ideal 12°) e a altura do mesmo deve garantir que haja no mínimo de 0,5 metros desde a parte superior do muro até à lâmina de água. Estas condições são fundamentais para minimizar a presença de caminhos preferenciais dentro da zona de separação (Figura 2-9.), promovendo a homogeneidade dessa mesma zona e uma melhor performance (Palacios Jr, 2021).

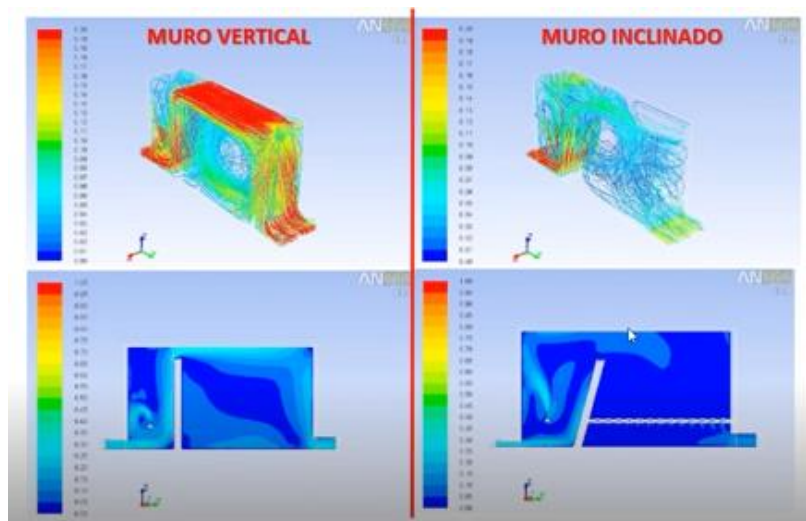


Figura 2-7. Diferença na presença de caminhos preferenciais entre ter o muro vertical e inclinado num sistema FAD

(Fonte: Palacios Jr, 2021)

2.7 Métodos de otimização

A otimização dos sistemas FAD é tema de diversos estudos, tanto relacionados com a otimização laboratorial das condições de operação do processo e comparação com o tratamento convencional, a decantação como com estudos de sistemas FAD já instalados em ETA (Teixeira & Rosa, 2001).

Geralmente, os estudos referidos afirmam que o desempenho do pré-tratamento, coagulação seguida de floculação, influencia consideravelmente a eficiência do processo do sistema FAD (Haarhoff, 2008; Teixeira & Rosa, 2001). Tal facto deve-se à dependência que a flotação apresenta em relação à carga de partículas presente na água, bem como ao tamanho das bolhas injetadas (Edzwald *et al.*, 1992).

A otimização do pré-tratamento passa por tentar melhorar as condições operatórias desses processos, tais como o tempo de floculação, o tamanho do floco, os gradientes de velocidade tanto da coagulação como da floculação e o tipo e dosagem dos reagentes (Teixeira & Rosa, 2001).

Inicialmente o pré-tratamento utilizado antecedendo os sistemas FAD apresentavam as suas condições operatórias semelhantes às utilizadas nos sistemas de decantação, com longos tempos de floculação para se formarem flocos de maiores dimensões. Com o passar do tempo, foi-se observando que a flotação não precisaria de flocos com essas dimensões e assim o tempo de floculação foi sendo gradualmente reduzido.

Assim, no início da década de 1990, o tempo de floculação de sistemas FAD já se encontravam inferiores a 5 minutos, valor muito inferior comparando com os 20 minutos utilizados nos sistemas de decantação usados desde 1970 (Haarhoff, 2008).

Em relação à otimização das condições operatórias do FAD, é geralmente considerada a razão de recirculação, a pressão de saturação do ar e a concentração das bolhas, tanto mássica como volumétrica (Palacios Jr, 2021; Teixeira & Rosa, 2001).

2.7.1 Flotest

O flotest é um teste semelhante ao jar-test para simular o sistema FAD, estando adaptado para receber água saturada proveniente de uma câmara de saturação (Santiago, 2008).

Os flotest há muito tempo que são utilizados para otimizar o desempenho do pré-tratamento da flotação, com aplicações, nomeadamente em ETA. Apesar de tudo, estes ensaios apresentam algumas limitações, visto que o resultado que se obtém pode não corresponder ao resultado obtido no processo em si. Isto acontece, principalmente devido à descontinuidade do ensaio, isto é, as mudanças na estabilidade das partículas provocadas pela mudança no conjunto dos reagentes não são consideradas (Wiese *et al.*, 2011).

Assim, um dos grandes desafios sempre que este tipo de ensaio é realizado é escolher a forma de avaliar essa mesma estabilidade. Se a célula de flotação do ensaio for operada com uma altura de lâmina líquida constante, a água recuperada para cada concentrado pode ser medida e usada para se avaliar as variações na estabilidade das partículas durante o ensaio (Wiese *et al.*, 2011).

Os flotest podem ser úteis para encontrar as condições de coagulação adequadas, bem como as necessidades de oxigénio ideais para a saturação da água, como é o caso do estudo realizado por Raeli & Marchetto, 2001. Neste estudo conseguiram obter um valor de 4 g de ar/m³, valor muito abaixo dos 8,4 esperados e uma dosagem ótima de 40 mg de alumínio /L, sendo que foram testadas doses de 10 a 55 mg de alumínio/L (Raeli & Marchetto, 2001).

CASO DE ESTUDO

3.1 Caracterização das Águas do Algarve

A empresa Águas do Algarve (AdA) do grupo Águas de Portugal (AdP) tem a concessão do Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água do Algarve, sendo responsável pelo serviço em alta, isto é, pela captação, tratamento e fornecimento de água à população dos 16 municípios algarvios durante todo o ano.

Assim, e para conseguir prestar o serviço com qualidade a AdA coordena e dirige 4 ETA onde duas se encontram no Barlavento, a ETA de Alcantarilha e a ETA das Fontainhas com uma capacidade de tratamento de aproximadamente 3 e 0,3 m³/s respetivamente, e duas no Sotavento Algarvio, sendo estas a ETA de Tavira e a ETA de Beliche e que apresentam uma capacidade de tratamento de cerca de 2,2 e 0,15 m³/s respetivamente.

Aliada às ETA mencionadas, a AdA possui também uma vasta rede de distribuição, com um comprimento de aproximadamente 491 km e 34 estações elevatórias. A Figura 3.1. mostra a localização das ETA e a extensão da rede de distribuição da AdA no território algarvio.



Figura 3-1. Localização das ETA e rede de distribuição da AdA

(Adaptado de: Águas do Algarve, 2019)

Como já apontado, as ETA de Alcantarilha e Távira apresentam uma capacidade de tratamento e consequentemente dimensão maiores que as restantes. Assim, sendo o Algarve alvo de grandes flutuações sazonais de população e de maneira preventiva caso as duas maiores ETA tenham algum problema, as ETA das Fontainhas e de Beliche, sazonalmente, reforçam o abastecimento de água de modo a suprir parte do mesmo.

De modo a demonstrar mais concretamente a complementaridade apresentada no parágrafo anterior observemos o caso Alcantarilha-Fontainhas. A segunda tem uma capacidade de fornecimento aproximadamente de 10% em relação à primeira. Contudo, a ETA das Fontainhas permite complementar o abastecimento de água feito pela ETA de Alcantarilha em época alta. Tal, deve-se ao facto de que a área de fornecimento da ETA das Fontainhas, em época alta, apresenta um consumo de aproximadamente 500L/s, valor superior ao equivalente em época baixa (entre 180 e 200 L/s). Sendo a capacidade de abastecimento da ETA de Alcantarilha para essa área de 200 L/s, torna-se indispensável o complemento fornecido pela ETA das Fontainhas em época alta.

3.2 Caracterização da ETA de Alcantarilha

A instalação em estudo é a ETA de Alcantarilha, situada no Município de Silves, distrito de Faro, no Algarve e explorada pela empresa Águas do Algarve pertencente ao Grupo Águas de Portugal.

Construída entre 1998 e 1999, esta ETA tem uma capacidade de tratamento de cerca de 259 000 m³/dia (aproximadamente 620 000 habitantes equivalentes) e é responsável pela distribuição em alta aos concelhos de Albufeira, Aljezur, Lagoa, Lagos, Monchique, Portimão, parte de Loulé, Silves e Vila do Bispo (Águas do Algarve, 2022).

A ETA trata água proveniente da albufeira de Odelouca, no município de Monchique, e água subterrânea proveniente de captações feitas ao aquífero de Silves. As proporções de água superficial e de água subterrânea afluentes à ETA variam consoante a disponibilidade, sendo que a mistura destas águas de origens diferentes dá-se com o intuito de uma melhor gestão dos recursos hídricos e também de mineralizar a água superficial.

Como é possível observar no fluxograma da ETA e Alcantarilha (Anexo 1), a ETA pode ser dividida em fase líquida (tratamento de água) e fase sólida (tratamento de lamas).

A Figura 3-2. apresenta uma versão simplificada do fluxograma da ETA de Alcantarilha, representando apenas a fase líquida.

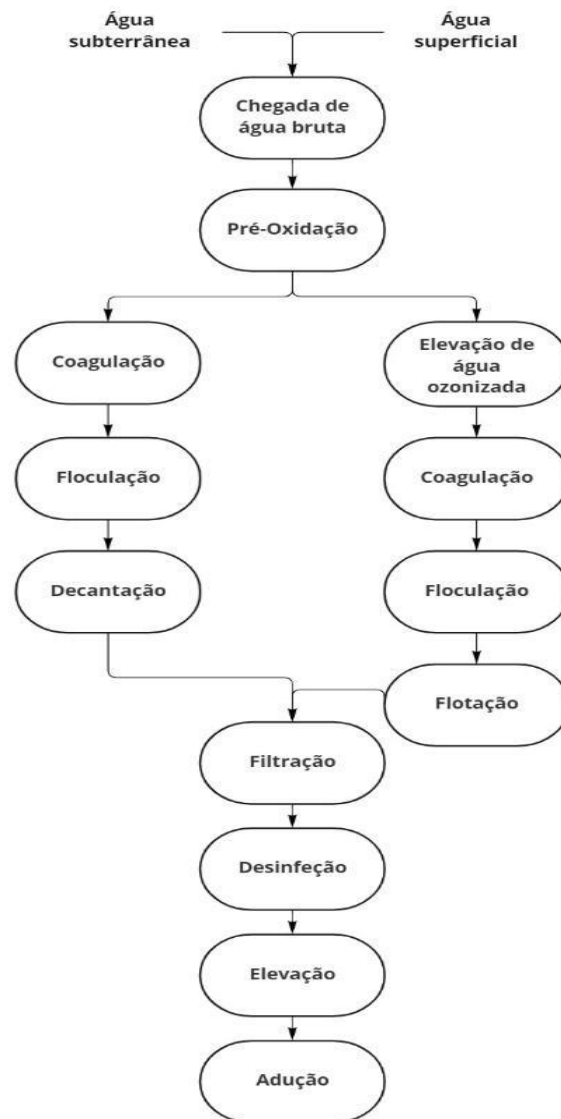


Figura 3-2. Fluxograma simplificado da fase líquida da ETA de Alcantarilha

Como é possível observar, a fase líquida da ETA de Alcantarilha é constituída por:

- Pré-Oxidação ou Ozonização, com recurso a dois reservatórios de oxigénio líquido, três geradores de ozono (1+2) com uma capacidade de produção de 12kg/h e dois destruidores térmicos (etapa de alto consumo energético).
- Duas câmaras de contacto com uma capacidade de 1500L/s cada, e de onde a água é conduzida para um de dois tipos de tratamento:
 - Coagulação-Floculação-Decantação, feito através de escoamento gravítico;

- Coagulação-Floculação-Flotação, sendo a água elevada 1,2 a 1,5 metros, desde a câmara de contacto até à câmara de mistura rápida (CMR).
- Filtração, com 14 filtros de areia em paralelo, bicompartimentados com um período de funcionamento entre 16 e 28 horas entre cada lavagem.
- Desinfecção com cloro. É feita a extração do cloro na fração líquida presente na garrafa, o cloro líquido é evaporado através de água quente e posteriormente, já na fase gasosa, misturado com água e injetado na rede. A extração do cloro dá-se na fase líquida, de modo a maximizar a quantidade de cloro extraído, isto porque, a extração diretamente na fase gasosa é limitada a 10kg/h de cloro extraído.

É de salientar que a adução está presente no fluxograma da linha de tratamento da ETA de Alcantarilha devido ao facto de ser nas instalações da ETA, nomeadamente no gabinete de supervisão onde se dá o controlo de toda a adução do Barlavento, bem como a gestão dos níveis de água de cada um dos seus reservatórios.

Em relação à linha de tratamento da fase sólida, esta é apresentada de forma simplificada na Figura 3-3.:

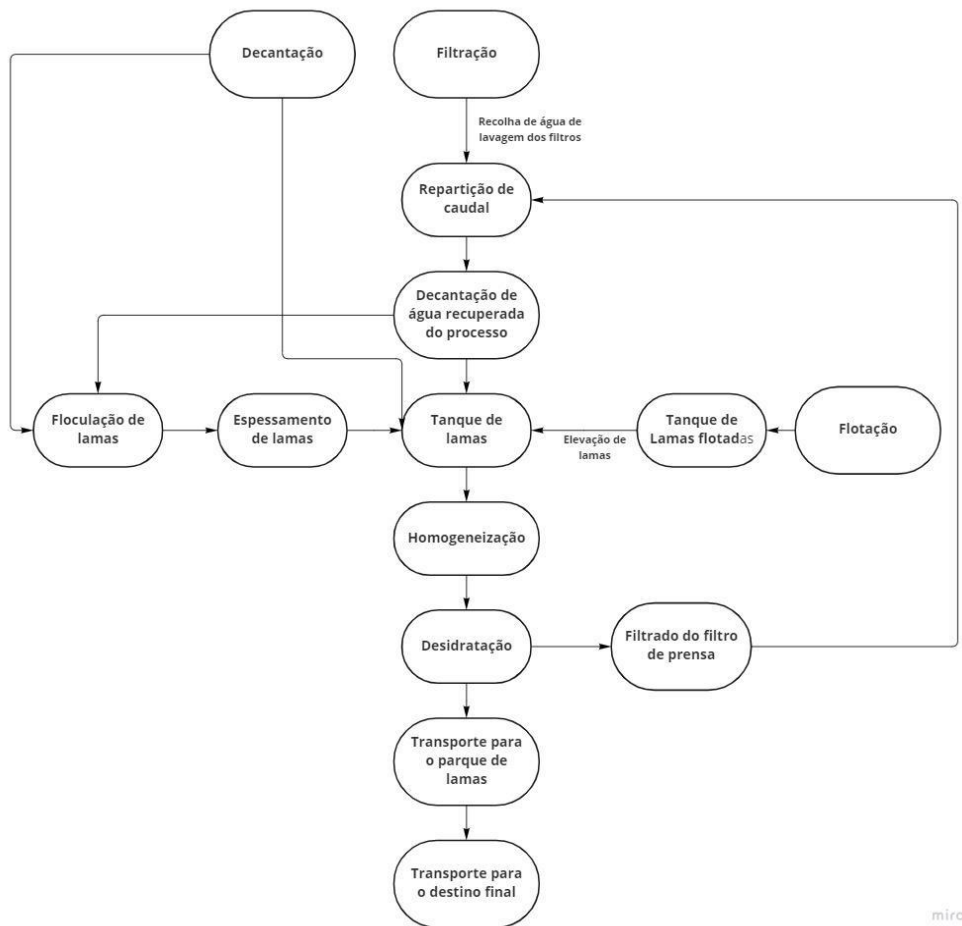


Figura 3-3. Fluxograma simplificado da fase sólida da ETA de Alcantarilha

Observando a Figura 3-3. é possível constatar que existem 3 origens nas lamas que são aglomeradas no tanque de lamas principal.

As águas de lavagem dos filtros são encaminhadas para um de dois decantadores circulares com o objetivo, face à sua baixa concentração de sólidos, aumentar essa mesma concentração. Assim, as lamas resultantes dessa decantação são encaminhadas para o tanque de lamas e os seus sobrenadantes são encaminhados para uma etapa de flocculação onde se juntam com os sobrenadantes da decantação da linha da fase líquida.

Nesta etapa de flocculação, onde é adicionado polieletrólito, há a formação de flocos dos sólidos em suspensão presentes nos sobrenadantes provenientes das duas etapas de decantação descritas, de modo a apresentarem uma concentração de sólidos maior, podendo assim ser reencaminhados para um espessador gravítico. As lamas resultantes da etapa de espessamento são, também, enviadas para o tanque de lamas.

Por fim, as lamas originárias da flotação são conduzidas para um tanque onde são elevadas, com recurso a uma estação elevatória, e reencaminhas para o tanque de lamas principal.

Como lamas com origens e concentrações diferentes são aglomeradas no mesmo tanque, existe a necessidade de homogeneizar, de modo a garantir a igualdade qualitativa e quantitativa da lama. Este processo dá-se num tanque imediatamente após o tanque de lamas principal. Este processo é feito através de agitadores submersíveis.

Feita a homogeneização, a lama é desidratada num de dois filtros de prensa. Estes filtros são constituídos por um conjunto de placas verticais revestidos por telas filtrantes e entre as quais a lama é injetada sob pressão. Assim, o filtrado é recolhido antes das placas se separarem e os bolos caem e são recolhidos aquando dessa separação (Ramos, 2011), sendo que este tipo de desidratação é caracterizado por ser um processo descontínuo, onde a água presente nas lamas é submetida a grandes pressões (Turovskiy & Mathai, 2006)

O filtrado recolhido da desidratação é levado para um repartidor de caudais antecedente aos decantadores que recebem água de lavagem dos filtros da linha da fase líquida.

3.3 Motivações para a implementação do flotador

A presença de um flotador na ETA de Alcantarilha é recente. Inicialmente, a ETA foi construída seguindo uma linha de tratamento de água convencional, isto é, com a sequência coagulação-floculação-decantação.

A necessidade de complementar a linha de tratamento com outra etapa de separação sólido-líquido surgiu quando houve uma mudança na qualidade da água bruta, resultante da mudança da fonte de captação da mesma.

Assim, e ao passar de um fornecimento de água bruta de menor qualidade, isto é, presença de mais sólidos e turvação, para um cuja turvação da mesma é maioritariamente inferior a 1,5 NTU e um fluxo mássico recorrentemente inferior a 1,0 kg MS/m².h, os decantadores da linha de tratamento começaram a apresentar problemas, nomeadamente dificuldade na decantação de sólidos devido à elevada carga hidráulica (Trimétrica, 2015)

Assim, uma maior quantidade de sólidos é encaminhada para os filtros de areia, fazendo com que estes tenham um intervalo entre cada lavagem menor devido a uma maior colmatação e, conseqüentemente, aumentando o volume diário de lavagem dos mesmos.

Portanto, foram abordadas no estudo prévio realizado pela Trimétrica, três opções de modo a melhorar o tratamento da água bruta dadas as circunstâncias já mencionadas. Para tal, foram consideradas apenas soluções de alta carga que cumprissem dois critérios:

- Apresentar uma área de implantação compatível com o espaço disponível na ETA;
- Ter um perfil hidráulico compatível com o da ETA na altura, isto é, evitar-se a bombagem intermédia de água ozonizada.

Tendo em conta estes critérios, foram consideradas e analisadas seguintes soluções:

1. Implementação de uma 4ª linha de tratamento, em paralelo e semelhante às restantes:

Esta solução foi pensada partindo do princípio de que ao otimizar-se as etapas de coagulação/Floculação e em conjunto com a recirculação externa, poder-se-ia aumentar em 25% a capacidade de cada linha de tratamento.

2. Flotação por ar dissolvido de alta carga:

Sendo uma tecnologia particularmente adequada para águas com uma turvação relativamente reduzida (inferior a 30 NTU), baixa alcalinidade e cor elevada, esta solução foi colocada. É uma solução que permite aplicar, como já referido em capítulos anteriores, cargas hidráulicas elevadas e assegurar eficiências altas na remoção de algas, giardia e cryptosporidium.

A juntar a isto, outra vantagem desta solução seria a concentração da lama originária que ronda os 2,5 a 4%. Para além disso, já foi provado que a flotação por ar dissolvido de alta carga consegue obter resultados ao nível da performance idênticos aos da tecnologia tradicional FAD.

3. "Ballasted Flocculation":

Este processo é bastante semelhante ao esquema tradicional de tratamento, coagulação-floculação-decantação. A destabilização da matéria em suspensão é feita através de um coagulante e a agregação das partículas através de um polímero floculante, sendo estas depois removidas ao decantarem.

A maior evolução deste processo é a adição de partículas de micro-areia que operam como núcleos para a formação de flocos de alta densidade. Assim, estes flocos formados têm um núcleo com uma densidade relativamente elevada, sendo mais facilmente removidos por sedimentação. Neste processo a micro-areia é importante por variadas razões:

- O operarem como núcleo para a formação de flocos devido à elevada área superficial específica em relação ao volume;
- Promove a formação de flocos estáveis de grandes dimensões;

- A densidade da micro-areia é de cerca de 2,6 kg/l, servindo de ancora para a formação de flocos de alta densidade;
- É quimicamente inerte, não reagindo com os reagentes utilizados permitindo assim a eficaz remoção da micro-areia das lamas químicas e sua reutilização;

Portanto, a “Ballasted Flocculation” é um processo altamente eficiente no tratamento de água, considerado estável em relação a variações de caudal e qualidade da água.

Outro aspeto relevante é que este processo pode funcionar com cargas hidráulicas elevadas (entre 36 e 73 m³/(m².h)).

A grande desvantagem desta opção está relacionada com a reduzida concentração de lamas decantadas que origina, sendo necessária uma etapa de espessamento como etapa complementar, imediatamente antes da desidratação.

Assim, no final do estudo e das análises feitas às três opções apresentadas, a solução escolhida foi a Flotação por ar dissolvido de alta carga. Esta escolha, apesar de não ser a melhor do ponto de vista económico, deveu-se a:

- Ser uma opção especificamente adequada para a clarificação de água bruta com as características da que é captada na albufeira da barragem de Odelouca;
- Produzir lamas com uma concentração mínima de 2,5%, fazendo com que seja possível uma desidratação direta, isto é, dispensar qualquer etapa intermédia de espessamento;
- A existência de duas linhas de tratamento diferentes, conferindo uma maior flexibilidade à ETA em relação à qualidade da água bruta.

3.4 Caracterização do flotador da ETA de Alcantarilha

O flotador da ETA de Alcantarilha é, como anteriormente referido, um FAD de alta carga. O flotador, está localizado num edifício próprio, designado de Edifício da flotação, sendo que no mesmo se encontram as duas linhas do pré-tratamento da flotação, a coagulação e floculação.

3.4.1 Câmaras de Flotação

O flotador é constituído por duas câmaras de flotação em paralelo, pelo sistema de fornecimento de ar comprimido e pelo sistema de recirculação interna de água, e foi projetado para um caudal máximo de 4594 m³/h. Estas câmaras de flotação estão ambas apresentadas nas Figuras 3-4. e 3-5.



Figura 3-4. Câmaras de Flotação da ETA de Alcantarilha

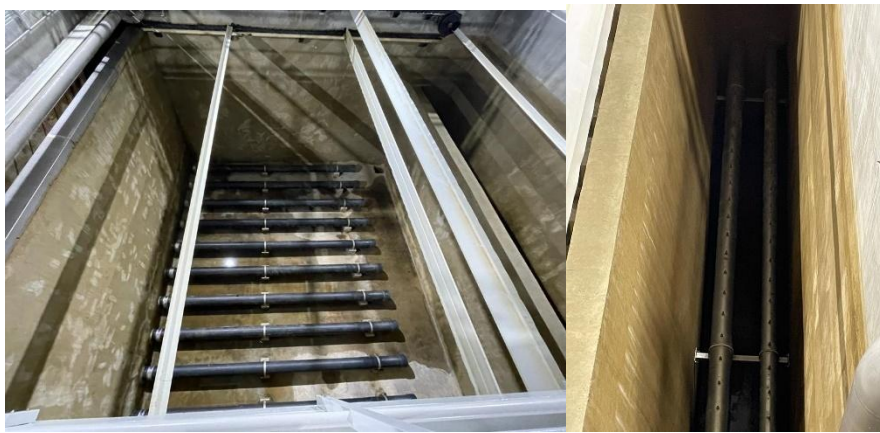


Figura 3-5. Câmara de Flotação vazia, tubos coletores de água flotada (à esquerda) e pormenor da entrada de água saturada (à direita)

Para o dimensionamento das câmaras de flotação foram seguidos determinados intervalos de valores para os seguintes parâmetros:

- Taxa de recirculação entre 8 e 15%;
- Tempo de retenção de 5 a 15 minutos;
- Carga hidráulica entre 15 e 40 $\text{m}^3/(\text{m}^2.\text{h})$;
- Pressão do sistema de saturação entre 4,8 e 8 bar.

Assim, considerando o caudal de $4593,6 \text{ m}^3/\text{h}$ e uma carga hidráulica de $25 \text{ m}^3/(\text{m}^2.\text{h})$, chegou-se a uma área total de flotação necessária de $183,74 \text{ m}^2$.

Posto isto, a opção escolhida foi a construção de duas câmaras de flotação com as dimensões apresentadas na Tabela 3-1.:

Tabela 3-1. Dimensões unitárias das células de flotação

Dimensão	Valor	Unidade
Comprimento	10	m
Largura	9,5	m
Área	95	m ²

Com estas dimensões, cada câmara de flotação apresenta uma carga hidráulica máxima de cerca de 24,2 m³/ m².h e, considerando uma altura de lâmina líquida de 5,4 metros, um volume unitário de 513 m³, o que equivale a um tempo de retenção de 13,4 minutos.

3.4.2 Sistema de recirculação

Em relação ao sistema de recirculação interna, o lotador está equipado com 3 grupos eletrobomba de eixo vertical e caudal variável, apresentados na Figura 3-6. De salientar que estes funcionam em regime de (2+1) e apresentam um valor máximo por bomba de 216 m³/h a 72 m.c.a e uma conduta elevatória em aço inox AISI 304 com um DN300 que alimenta os saturadores.



Figura 3-6. Grupos Eletrobomba responsáveis pela recirculação de água no flotador

Considerando o caudal máximo de cada bomba e que normalmente estão em funcionamento duas, podemos chegar a um caudal máximo de recirculação de 432 m³/h, correspondendo a cerca de 9,4% do caudal máximo de dimensionamento, estando assim dentro do intervalo de 8 a 15% considerado.

3.4.3 Saturadores

O sistema de saturação alimentado pelos grupos eletrobomba da recirculação é constituído por 2 saturadores no regime 1+1, cujos preenchimentos são feitos de anéis em polipropileno, de modo a aumentar a eficiência na dissolução do ar.

Cada um dos saturadores, representados na Figura 3-7., apresenta uma carga hidráulica máxima de $2400 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$, podendo assim chegar-se a uma área unitária de $4,32 \text{ m}^2$ (Área = $432 \times 24/2400$). Tendo em conta a área dos saturadores, o diâmetro interior correspondido é cerca de 2,34 metros, sendo que se optou por um diâmetro de 2,4 metros, de modo que a carga hidráulica seja ligeiramente inferior à máxima permitida.



Figura 3-7. Sistema de saturação (à esquerda) e imagem aproximada de um dos saturadores (à direita)

Cada saturador possui um volume aproximado de 20 m^3 e uma altura de enchimento de 1,6 metros, de modo a garantir um tempo de retenção mínimo de 1 minuto.

A alimentação de ar dos saturadores é feita através de 2 unidades, apresentadas na Figura 3-8, também em regime de 1+1, cada uma delas constituídas por um compressor do tipo parafuso rotativo instalado sobre um reservatório de ar com $0,9 \text{ m}^3$ de volume e um sistema completo de tratamento de ar.



Figura 3-8. Unidades de alimentação de ar dos saturadores

3.4.4 Câmaras de Mistura Rápida e de Mistura Lenta

Como já referido anteriormente, antecede ao flotador um pré-tratamento constituído por coagulação e floculação, fundamental para o bom funcionamento do mesmo. É de salientar que cada câmara de flotação é antecedida por uma câmara de floculação. Apesar disso, existe apenas uma câmara de mistura rápida (CMR) que divide o caudal em partes iguais para as câmaras de floculação aquando das duas linhas de flotação estão em funcionamento simultâneo.

Desta forma, para o dimensionamento da câmara de mistura foram considerados os seguintes parâmetros:

- Tempo de retenção igual ou inferior a 30 segundos;
- Gradiente de velocidade de 500 s⁻¹;
- Viscosidade dinâmica da água a 15 °C de 0,001139 Pa.s.

As dimensões da câmara de mistura rápida estão apresentadas na Tabela 3-2. De notar que o volume foi obtido através do caudal máximo de dimensionamento e um tempo de retenção de 30 segundos.

Tabela 3-2. Dimensões da câmara de mistura rápida

Dimensão	Valor	Unidade
Comprimento	2,60	m
Largura	2,60	m
Área	6,76	m ²
Volume	38,28	m ³
Lâmina líquida	5,65	m

Após a câmara de mistura rápida estão as duas câmaras de mistura lenta construídas de modo a apresentarem dois estágios de floculação. Estas foram dimensionadas seguindo os seguintes valores:

- Tempo de retenção de 10 a 15 minutos;
- Gradiente de velocidade do 1º estágio entre 80 e 120 s⁻¹;
- Gradiente de velocidade do 2º estágio entre 30 e 60 s⁻¹.

As dimensões unitárias de cada uma das câmaras de mistura lenta estão apresentadas na Tabela 3-3. De assinalar que o volume foi obtido através do caudal de ponta e um tempo de retenção mínimo de 10 minutos.

Tabela 3-3. Dimensões unitárias das câmaras de mistura lenta

Dimensão	Valor	Unidade
Comprimento	4,35	m
Largura	4,60	m
Área	20,01	m ²
Volume	108,25	m ³
Lâmina líquida	5,41	m

Tanto a localização da CMR como da câmara de floculação com os seus dois estágios estão apresentados na Figura 3-9.

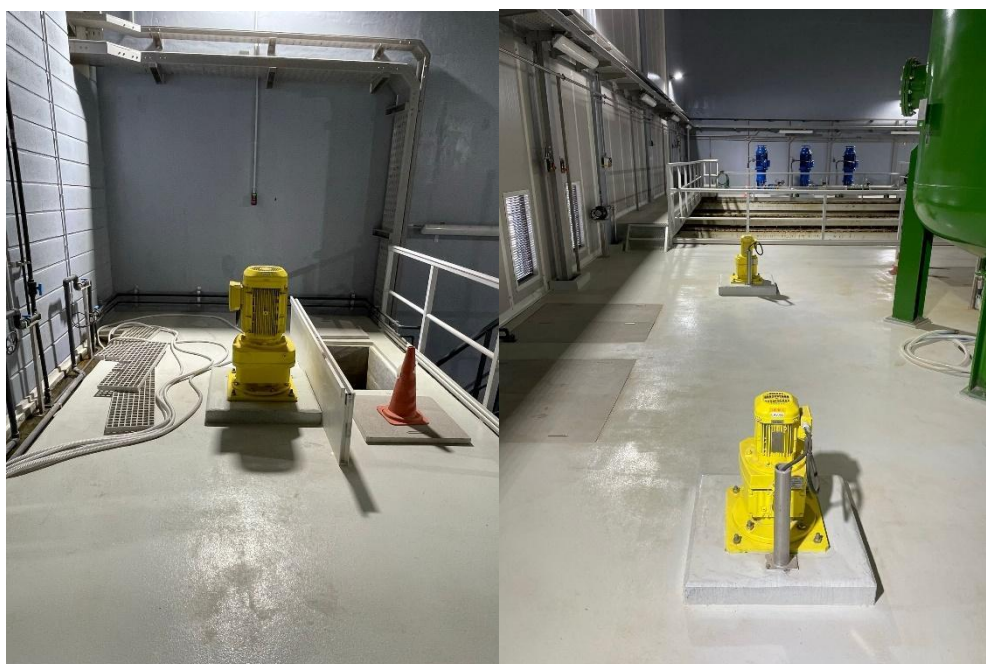


Figura 3-9. Agitador da CMR (à esquerda) e localização dos dois estágios de floculação (à direita)

METODOLOGIA

Para se proceder ao estudo da otimização do Flotador da ETA de Alcantarilha começou por se fazer uma análise à água bruta com o intuito de perceber as características e as flutuações das mesmas ao longo do tempo.

Depois, do ponto de vista metodológico foram compiladas as condições de operação que têm sido postas em prática na ETA bem como as recomendadas pela empresa prestadora de serviços e construtora do Flotador, para poder ter uma base que permitisse avaliar e aferir as condições de operação ideais para o órgão em questão.

Para validação foram realizados quatro ensaios Flotest com o propósito de tentar chegar a uma dosagem ótima tanto de coagulante tanto de floculante.

Por fim, foi realizado um balanço de massas simples de alumínio à linha da fase líquida com o objetivo de tentar identificar e corrigir a administração do mesmo na linha de tratamento de água.

4.1 Materiais e Métodos

4.1.1 Análise da qualidade da água bruta

Os dados relativos a alguns parâmetros de qualidade da água bruta para o período de 01/07/2021 até 30/03/2022, foram recolhidos e organizados de modo a tentar avaliar e caracterizar a variação da qualidade da água em períodos do ano considerados quentes, nomeadamente nos meses de julho, agosto e setembro, e em períodos ditos frios, tais como dezembro, janeiro e fevereiro.

Com os dados disponíveis extraídos do sistema informático onde se encontram registados, prosseguiu-se com uma análise de cada um dos parâmetros pedidos, elaborando os respetivos gráficos, para maior facilidade na observação nas variações sazonais registadas.

Os parâmetros analisados foram: Turvação, Dureza Total, pH, Alumínio Total, COT, Ferro Total, Manganês Total, Bactérias Coliformes, Enterovirus, Rotavirus, Salmonella, Virus Hepatite A, Leptospira, Giardia Yersinas, toxoplasma gondii, Enterococos e Escherichia coli.

4.1.2 Condições de operação e boas práticas recomendadas

Depois de analisada a qualidade da água bruta que chega à ETAR, procedeu-se à avaliação das condições de operação em uso no flotador o que foi efectuado através dos dados dos parâmetros operacionais do flotador, e a respetiva análise visual dos mesmos.

Com recurso a gráficos e tabelas, foi feita a análise com o objetivo de determinar quais as dosagens de reagentes que obtiveram melhores resultados de remoção de turvação e menor concentração de alumínio na água flotada. Esta análise consistiu na seleção dos conjuntos de dados onde a concentração de alumínio foi menor que 300 ug Al/L na água flotada e consequente verificação das condições de operação mais comuns que obtiveram esses resultados.

Em paralelo, foram reunidas e sistematizadas as condições de operação e boas práticas recomendadas pela Acciona, empresa construtora e prestadora de serviços do flotador, com o intuito de comparar com as condições ditas "ótimas" baseadas nos dados de operação do flotador, de modo a verificar pontos em comum e pontos a melhorar. Foram necessárias algumas visitas à ETA com o propósito de acompanhar e discutir, com os Eng.ºs da Acciona e com os Eng.ºs da Águas do Algarve, observando a realidade do flotador na ETA de Alcantarilha por forma a tirar algumas conclusões.

Algumas recomendações dadas pela Acciona resultaram de duas formações dadas pela empresa.

A primeira, com o título "Fundamentos y Diseño de Procesos de Flotation" e apresentada pelo Eng.º Enrique Palacios Jr, teve como principais focos os fundamentos da flotação e o funcionamento de um FAD de alta carga. Assim, nesta formação foram explicados os constituintes do flotador de alta carga, a zona de contacto e a zona de separação, bem como a importância do tamanho das bolhas, das concentrações mássicas e volumétricas e como estas zonas do flotador são dimensionadas.

Nesta primeira formação também foi explicado o conceito de fluxo estratificado, presente nos FAD de alta carga e a razão que permite ter uma carga hidráulica de cerca de 30 m³/(m².s). Esta apresentação também abordou as importâncias de outros constituintes do

sistema de flotação, desde o sistema de saturação de ar (entre o tipo de enchimento preferencial, o nível de lâmina líquida no saturador e a pressão a que este deve trabalhar) até à inclinação ideal do muro de separação entre as duas zonas e os efeitos que essa mesma inclinação tem no fluxo da água dentro do órgão.

Já a segunda formação, com o título "Conceptos teóricos de Coagulación-Floculación. Principales reactivos y sus funciones" e com o formador Eng.º Enrique Ferrero Polo, e teve como principal temática a importância do bom funcionamento das etapas de pré-tratamento, coagulação e floculação, para o rendimento da flotação. Esta apresentação começou pelo conceito de coagulação e os diferentes tipos de mecanismos utilizados nesta etapa, como por exemplo a coagulação primária. O tema coagulação acabou com a apresentação de diferentes tipos de agentes coagulantes inorgânicos, orgânicos e mistos, explicando as suas vantagens e desvantagens bem como as suas aplicações.

A floculação teve uma abordagem semelhante à coagulação, foram explicados os conceitos de floculação pericinética e ortocinética e divididos os agentes floculantes por natureza, carga, estado, estrutura química e peso molecular. Também foram referenciados os floculantes sintéticos aniônicos e catiónicos.

A formação terminou com a exposição de boas práticas recomendadas para a operação do flotador, a responsabilidade dos operadores e com que frequência as manutenções aos equipamentos constituintes do flotador devem acontecer.

Considerando o conteúdo destas formações, foram reunidas as recomendações dadas pela Acciona, de modo a complementar a informação e conclusões discutidas pessoalmente com os Eng.ºs, sendo que também serviram de grande apoio teórico para o Capítulo 2 – Revisão de literatura.

Por fim, foram elaboradas tabelas resumo com as condições de operação consideradas ótimas tendo em conta tanto o recomendado pela Acciona como pela experiência adquirida na operação do flotador por parte da AdA.

4.1.3 Flotest

Para a otimização das dosagens de reagente no flotor, foram realizados quatro ensaios flotest na ETA de Alcantarilha. Estes ensaios foram realizados em dois dias, dois ensaios por dia cada um com diferentes dosagens de reagentes administrados. Essas mesmas doses estão apresentadas na Tabela 4-1.

Tabela 4-1. Data e dosagens de reagentes usadas em cada um dos ensaios Flotest

Dia	Ensaio	Dose de Coagulante (mg/L)	Dose Floculante (mg/L)
18/05/2022	1º	5	0,150
			0,200
			0,250
			0,300
18/05/2022	2º	10	0,150
			0,200
			0,250
			0,300
15/06/2022	1º	5	0,150
			0,200
			0,225
			0,250
15/06/2022	2º	10	0,150
			0,200
			0,225
			0,250

Cálculos prévios à realização dos ensaios

Antes da realização dos ensaios, tiveram de ser calculados os volumes de reagentes a dosear. Este cálculo foi feito através da Equação 4-1:

$$Vr = \frac{\frac{D_r \times V}{1000}}{C_r \times 10^6} \quad \text{Equação 4-1}$$

Onde:

- Vr – Volume de reagente a dosear, em μL ;
- D_r – Dose de reagente, em mg/L ;
- V – Volume da amostra, em L ;

- C_r – Concentração do reagente, g/L

Materiais Utilizados

Para a realização de cada um destes ensaios os materiais necessários foram:

- 3 garrafões de 5L
- 1 equipamento de flotest equipado com 4 pás rotatórias e 4 mangueiras da marca PLATYPUS JAR TESTER (Figura 4-1)
- 4 copos com capacidade de 2 L
- Material de uso corrente em laboratório
- Recipientes de recolha de amostras
- Coagulante RIFLOC PLUS 10 (Ficha técnica presente no Anexo 2)
- Floculante Quimifloc PWG A4 (Ficha técnica presente nos Anexos 3 e 4)
- Saturador com capacidade de 1,8 L da marca PLATYPUS JAR TESTER
- Compressor da marca PLATYPUS JAR TESTER



Figura 4-1. Equipamento Flotest usado

O material utilizado nos ensaios encontra-se todo apresentado na Figura 4-2.



Figura 4-2. Bancada dos ensaios flotest

Método

Antes da realização dos ensaios flotest foi sempre necessário verificar e preparar o saturador previamente. Assim, o protocolo para operacionalizar o saturador (Figura 4-3) foi o seguinte:

1. Efetuaram-se as ligações entre a saída do saturador, o coletor e o equipamento de Flotest. Verificou-se se a válvula de saída se encontrava fechada;
2. Abriu-se a válvula de purga/pressurização, rodando no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio;
3. Colocou-se o regulador de pressão na posição de mínimo, rodando no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio até atingir o seu limite;
4. Abriu-se a válvula de entrada de água e de seguida encheu-se o saturador com água filtrada até atingir a marca de 0 ml, obtendo-se assim, um volume de 1,8 litros de água;
5. Fecharam-se as válvulas de entrada de água e de purga, sendo que a válvula de saída de água manteve-se igualmente fechada;
6. Efetuaram-se as ligações entre o saturador e o compressor de ar comprimido. Não excedendo os 7 bar/102 psi na linha de ar comprimido;
7. Ajustou-se a pressão no saturador utilizando o regulador de ar comprimido;
8. Por fim, quando o manómetro registou uma pressão constante, abriu-se a válvula de pressurização, meia-volta desde a posição de totalmente fechada, de forma a iniciar-se a saturação. A válvula manteve-se aberta durante o ensaio para garantir que a água se mantinha totalmente saturada.



Figura 4-3. Saturador utilizado nos ensaios flotest

Tendo o saturador totalmente operacional e pronto, o protocolo seguido para realização do flotest foi o seguido pela AdA. Posto isto, o procedimento dos ensaios foi:

- 1º. Perfaz-se 1500 mL em cada um dos 4 copos do equipamento de flotest;
- 2º. Adiciona-se a dosagem de coagulante estabelecida, com recurso a micropipetas, a cada um dos copos;
- 3º. Coloca-se em rotação durante 1 minuto a 200 rpm;
- 4º. Adiciona-se a dosagem de floculante estabelecida, com recurso a micropipetas, a cada um dos copos;
- 5º. Diminui-se a rotação para 90 rpm durante 10 minutos (Figura 4-4);
- 6º. Volta a ser reduzida a rotação para 60 rpm durante 10 min
- 7º. Adiciona-se água saturada, cerca de 10% do volume inicial da amostra (aproximadamente 150 mL);
- 8º. Deixa-se em repouso durante 15 minutos;
- 9º. Recolhem-se as amostras.

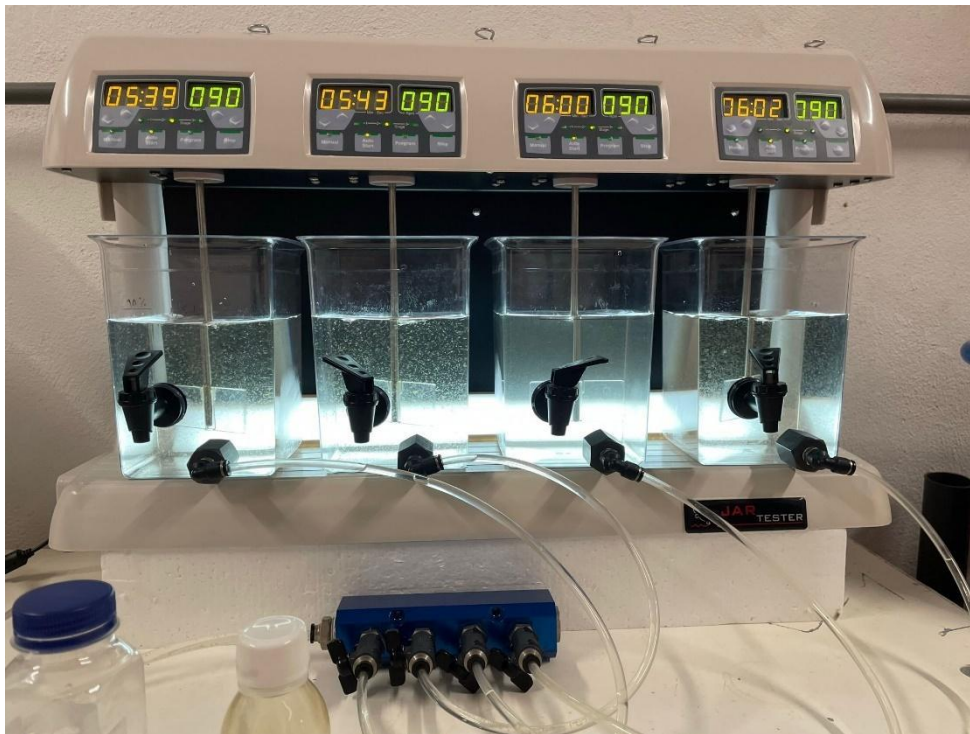


Figura 4-4. Ensaio flotest a decorrer, dando para se observar a formação de flocos

Depois de recolhidas as amostras, estas foram conduzidas para o laboratório da ETA para serem determinados os parâmetros pré-estabelecidos: temperatura, turvação, pH, condutividade, alcalinidade e alumínio total.

Enquanto os ensaios decorriam segundo o protocolo acima descrito, foram também feitas análises visuais aos flocos formados em cada um dos copos. Assim, nesta avaliação foram classificados de 1 até o nº de copos, em que 1 é o pior resultado, a velocidade de flotação dos flocos (VF), o tamanho dos flocos (TF) e a quantidade de flocos flotados (QF).

Tratamento dos dados obtidos

Realizados os ensaios e obtidos os dados resultantes das análises laboratoriais anteriormente referidas, foram construídas duas tabelas, sendo a primeira a aglomeração e organização desses mesmos dados e a segunda a classificação dos mesmos.

Essa classificação foi feita numericamente, de 1 até ao número de copos utilizados nos ensaios, sendo 1 o pior valor e o número de copos o melhor valor.

Assim, no final da classificação, para cada um dos copos foi feita a soma dos valores atribuídos a cada um dos seus parâmetros, de modo que o copo que obtivesse um valor, resultante dessa soma, maior, fosse o copo que obteve um melhor resultado.

4.1.4 Balanço de Massa

Em paralelo ao trabalho feito diretamente sobre o FAD da ETA de Alcantarilha, foi também realizado um balanço de massa simples com o intuito de se aferir acerca da injeção e circulação de alumínio na linha da fase líquida.

Para se efetuar o balanço de massa foram agregados os dados referentes aos caudais e às concentrações de alumínio nas diferentes etapas de tratamento da fase líquida.

Posto isto, é possível observar estes mesmos dados (Tabela 4-2) e o seu esquema de circuitos (Figura 4-5).

Tabela 4-2. Dados agregados para a execução do balanço de massas de alumínio

Etapa	Caudal (L/s)	Alumínio ($\mu\text{g/L}$)
Água Bruta	1184	60
Água Superficial	1095	-
Água Subterrânea	89	-
Água Ozonizada	1290	-
Água Decantada	759	360
Água Flotada	523	400
Água Filtrada	1290	33
Águas Recuperadas	106	800

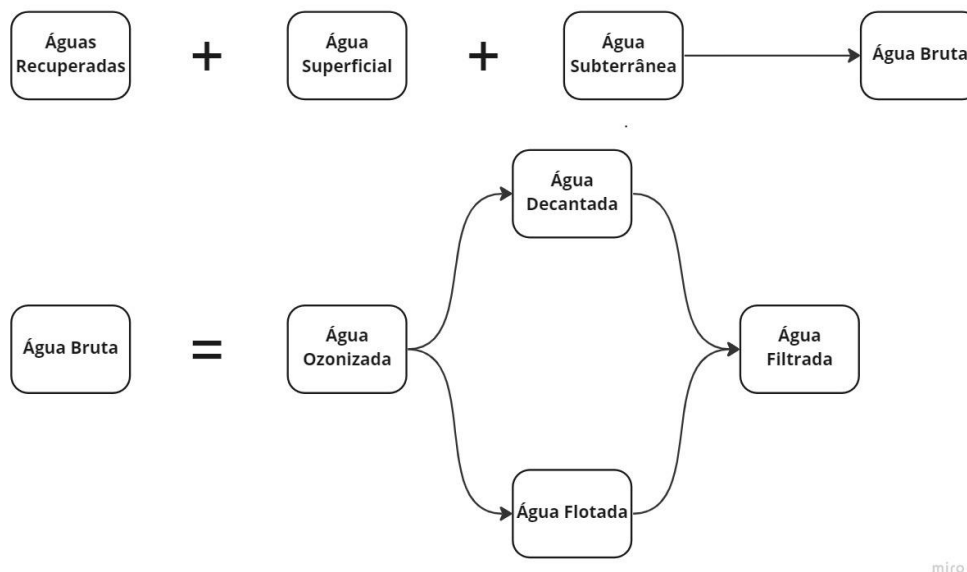


Figura 4-5. Esquema de circuitos do balanço de massas de alumínio executado

Os dados utilizados efetivamente nos cálculos foram:

- Caudal e concentração de alumínio na água bruta;
- Dose de alumínio administrada nas etapas de coagulação, tanto a precedente à decantação como a precedente à flotação, 30 e 20 mg/L respectivamente;
- Concentração de alumínio presente na água decantada;
- Concentração de alumínio presente na água flotada;
- Concentração de alumínio presente na água filtrada;
- Caudal e concentração de alumínio presente nas águas recuperadas reencaminhadas para a cabeça da ETA.

Com as concentrações de alumínio, expressas em $\mu\text{g/L}$, foi calculada a massa de alumínio, em mg/s , correspondente seguindo a seguinte Equação:

$$M = \frac{[\text{alumínio}]}{1000} \times Q \quad \text{Equação 4-2.}$$

Onde:

M – Massa de alumínio, em mg/s

$[\text{alumínio}]$ – Concentração de alumínio, em $\mu\text{g/L}$

Q – Caudal da etapa de tratamento em questão, em L/s

Para o cálculo da massa administrada na dosagem de coagulante, antes de se aplicar a Equação 4-2, foi necessário multiplicar o valor da dosagem em mg/L por 0,09, valor correspondente aos 9% de alumínio constituinte do coagulante conforme ficha no Anexo 2

RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise da qualidade da água bruta

A qualidade da água bruta que chega a uma ETA condiciona a eficiência de cada uma das etapas do seu tratamento. Os dados em bruto são apresentados nos anexos 11 a 18, optando se por apresentar para os diversos parâmetros aqui, os seus valores médios e extremos registados no período entre julho de 2021 e março de 2022 e os gráficos dos valores registados para uma leitura mais imediata.

O primeiro parâmetro analisado, pela sua grande influência na performance das etapas de tratamento, especialmente na flotação, foi a Turvação. A variação deste parâmetro ao longo do tempo está apresentada na Figura 5-1 e na Tabela 5-1 estão apresentados o valor mínimo, médio e máximo desta serie de dados, bem como os respetivos quartis e variância.

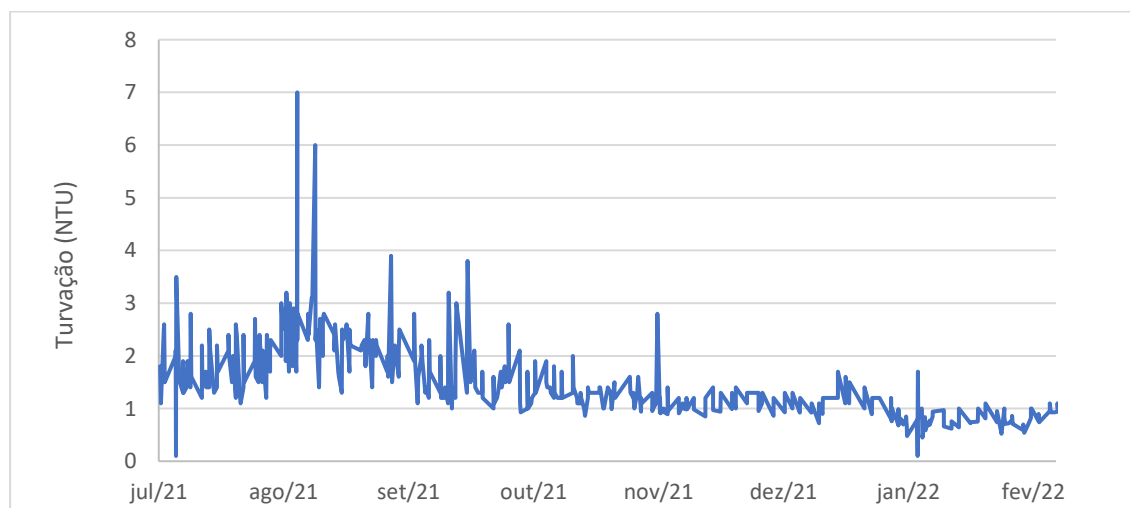


Figura 5-1. Turvação na água bruta

Tabela 5-1. Extremos, Quartis e Variância dos valores de turvação registados

Parâmetro	Valor
Mínimo	0,10
Média	1,49
1º quartil	0,97
3º quartil	2,00
Máximo	7,00
Variância	0,56

É possível observar na Figura 5-1 que houve uma maior variação nos valores de turvação no período do Verão em comparação com o período do Inverno, isto pode ser explicado pelos níveis de água mais baixos na barragem de Odelouca nesse período do ano, fazendo com que a captação de água seja num nível inferior e consequentemente menor qualidade da mesma.

Também é observável, na Tabela 5-1 que cerca de 50% dos valores registados, se encontra entre as 0,97 e as 2 NTU, sendo mesmo 75% dos valores inferiores a 2 NTU, valores considerados baixos. Outro facto que corrobora a ideia de que a turvação da água bruta apresenta de facto valores baixos é o seu valor médio ser cerca de 1,5 NTU, apresentando uma variância de 0,56 NTU, valor muito próximo do valor paramétrico presente no Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro para águas destinadas a consumo humano com origem em águas superficiais, 1 NTU.

Estes valores baixos de turvação são um indício do problema, referido no subcapítulo 3.3, sobre o normal funcionamento dos decantadores da ETA e as dificuldades da matéria em decantar.

A Figura 5-2 apresenta os valores de dureza total registados entre julho de 2021 e março de 2022.

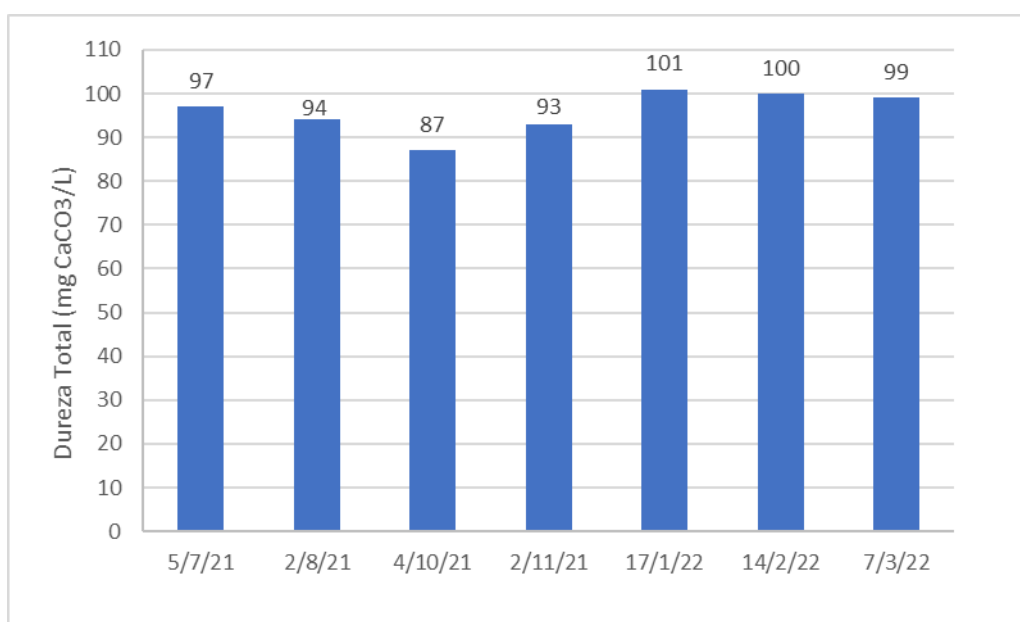


Figura 5-2. Dureza total na água bruta

Como é observável na Figura 5-2, a dureza total é determinada apenas uma vez por mês, sendo que nos meses de setembro e dezembro de 2021 não foram feitas quaisquer determinações. Posto isto, na Tabela 5-2, estão apresentados alguns valores importantes e relevantes desta série de dados.

Tabela 5-2. Extremos, Quartis e Variância dos valores de Dureza total registados

Parâmetro	Valor
Mínimo	87,0
Média	95,9
1º Quartil	93,0
3º Quartil	100,0
Máximo	101,0
Variância	20,7

Como observável na Tabela 5-2, os valores de dureza não apresentaram uma grande variância, cerca de 20,7, apresentando um valor mínimo de 87 e um valor máximo de 101 mg CaCO₃/L. O valor médio é de 95,9 mg CaCO₃/L.

Os valores registados encontram-se bastante abaixo do valor mínimo desejável referido no Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro de 150 mg CaCO₃/L, sendo que, devido à quantidade diminuta de valores registados, pode não ser representativo da realidade.

Devido à quantidade de dados registados neste parâmetro não é possível aferir acerca de algum tipo de comportamento sazonal.

Outro parâmetro de qualidade da água analisado é o pH (Figura 5-3).

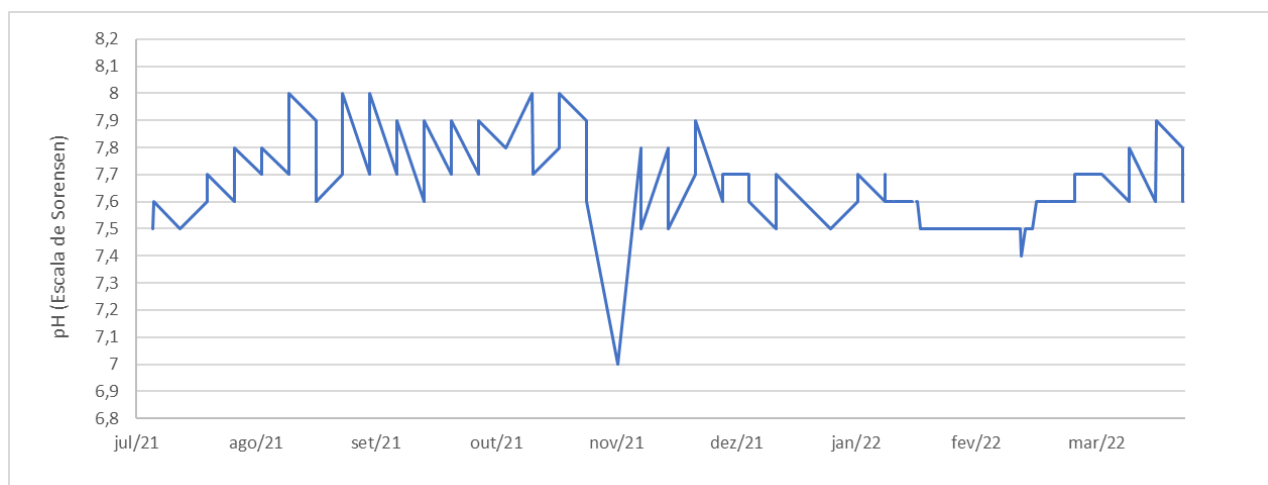


Figura 5-3. pH na água bruta

Da Figura 5-3 é possível concluir que todos os valores de pH se encontraram no intervalo [7-8] da escala de Sorensen pelo que os valores registados se encontram dentro do intervalo considerado no Valor mínimo recomendado (VMR) do Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto de [6,5-8,5] para águas de qualidade A1. Na tabela 5-3 são apresentados os quartis, os extremos e o valor médio da serie de dados, bem como a sua variância.

Tabela 5-3. Extremos, Quartis e Variância dos valores de pH registados

Parâmetro	Valor
Mínimo	7,00
Média	7,63
1º Quartil	7,50
3º Quartil	7,70
Máximo	8,00
Variância	0,03

É observável que apesar do valor mínimo registado ter sido 7, cerca de 50% dos valores de pH registados estão compreendidos entre 7,5 e 7,7, apresentando um valor máximo de 8.

Tal facto pode explicar então o valor baixo da variância que a serie de dados apresenta, 0,04.

Apesar da diferença do valor mínimo para o primeiro quartil ser de 0,5, é possível notar que a diferença entre o primeiro quartil e o valor máximo é de 0,3, valor inferior, demonstrando uma maior concentração de valores mais perto do valor máximo registado do que do valor mínimo.

Na Figura 5-4 são apresentados, os valores de alumínio total registados na água bruta e na Tabela 5-4 estão apresentados alguns valores relevantes acerca da serie de dados.

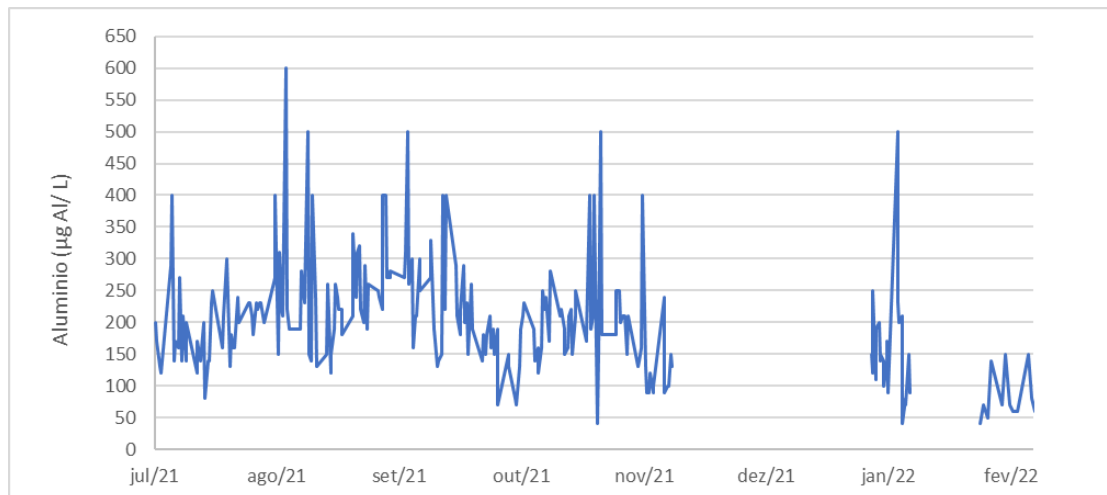


Figura 5-4. Alumínio total na água bruta

Tabela 5-4. Extremos, Quartis e Variância dos valores de Alumínio total registados

Parâmetro	Valor
Mínimo	40,00
Média	198,80
1º quartil	140,00
3º quartil	240,00
Máximo	600,00
Variância	7442,17

Conforme patente na Figura 5-4, nota-se a falta de dados num período considerável, entre 17/11/2021 e 10/01/2022 e entre 21/01/2022 e 08/02/2022, podendo esta ausência de dados ter como causa algum eventual problema a nível laboratorial.

É possível visualizar que existe uma grande variação dos valores registados de alumínio, facto constatado pelo valor elevado da variância (Tabela 5-4), sendo que na sua generalidade são mais elevados nos meses do verão, o que vai contra o cenário comum onde devido às escorrências superficiais e subsuperficiais associadas à água da chuva, os valores de alumínio total tendem a ser superiores na altura do inverno.

O valor médio desta serie de dados é de 198,8 µg Al/L, valor muito próximo ao valor paramétrico de 200 µg Al/L referido no Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro. Apesar

disto numa percentagem considerável do tempo, cerca de 25%, foram registados valores acima dos 240 µg Al/L.

O carbono orgânico é o principal constituinte da matéria orgânica (Schoepfer *et al.*, 2015), podendo ser um indicador da quantidade total de substâncias orgânicas presentes na água (Florescu *et al.*, 2011).

Os valores de carbono orgânico total (COT) apresentam-se na Figura 5-5 e alguns valores importantes para uma análise mais completa na Tabela 5-5.

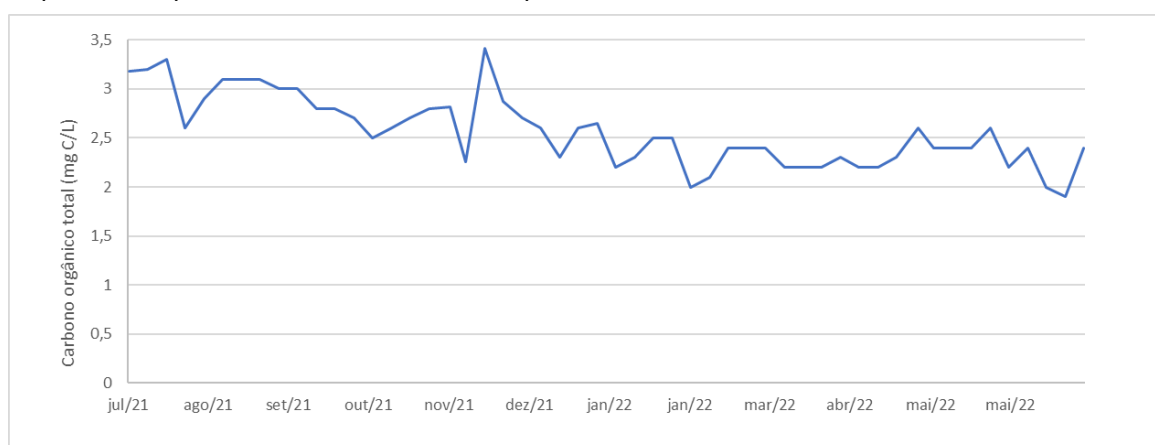


Figura 5-5. Carbono orgânico total na água bruta

Tabela 5-5. Extremos, Quartis e Variância dos valores de COT registados

Parâmetro	Valor
Mínimo	1,90
Média	2,56
1º quartil	2,30
3º quartil	2,80
Máximo	3,41
Variância	0,11

Pode verificar-se que os valores de COT estiveram todos entre o intervalo [1,90; 3,41] mg C/L apresentando um valor médio de 2,56 mg C/L.

Estes valores encontram-se dentro da gama de valores apresentados na literatura tanto para águas de origem superficial, entre 1 e 20 mg C/L em rios, como para água de origem subterrânea, entre 0,5 e 10 mg C/L sendo que a maioria apresenta valores inferiores a 2 mg C/L (Edzwalds & Haarhoff, 2011; Elder & Budd, 2010). Estes valores considerados típicos para diferentes tipos de massas de água estão apresentados na Tabela 5-6.

Tabela 5-6. Valores típicos de concentração de carbono orgânico total em diferentes massas de água

(Adaptado de: Edzwalds & Haarhoff, 2011)

Corpo de água	Gama (mg C/L)	Comentários
Lençóis freáticos	0,5-10	A maioria apresenta valores menores a 2 mg C/L
Rios	1,5-20	Tipicamente 5 mg C/L ou menos
Lagos Oligotróficos	1,0-3,0	valor médio 2,2
Lagos Mesotróficos	2,0-4,0	Valor médio 3,0
Lagos Eutotróficos	3,0-30	Valor médio 12,0

Relativamente a substâncias inorgânicas, os valores referentes a Ferro total e Manganês total estão representados nas Figuras 5-6 e 5-7 e nas Tabelas 5-7 e 5-8, respetivamente.

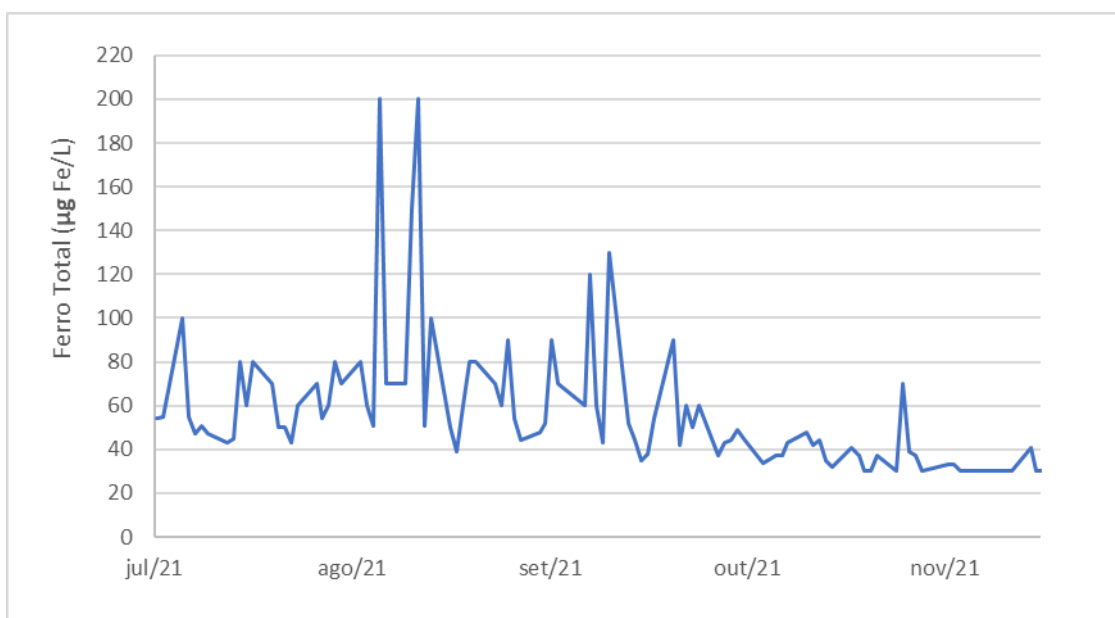


Figura 5-6. Ferro total na água bruta

Tabela 5-7. Extremos, Quartis e Variância dos valores de Ferro Total registados

Parâmetro	Valor
Mínimo	30,00
Média	56,79
1º quartil	37,00
3º quartil	65,00
Máximo	200,00
Variância	940,75

Na Figura 5-6 é possível notar que a grande maioria dos resultados se encontra abaixo dos 130 $\mu\text{g Fe/L}$ sendo que existem dois picos de 200 $\mu\text{g Fe/L}$ nos dias 5 e 11 de agosto de 2021, sendo estes valores os mais elevados registrados, como observável na Tabela 5-7. Assim, neste período avaliado, todos os valores se encontraram abaixo do valor paramétrico indicado pelo Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro, sendo que em apenas duas ocasiões o valor de ferro total registrado foi idêntico a esse mesmo valor, 200 $\mu\text{g Fe/L}$.

Posto isto, os valores de Ferro total apresentam uma grande variância, sendo que apesar do valor máximo registrado ser 200, cerca de 75% dos valores se encontram abaixo de 65 $\mu\text{g Fe/L}$

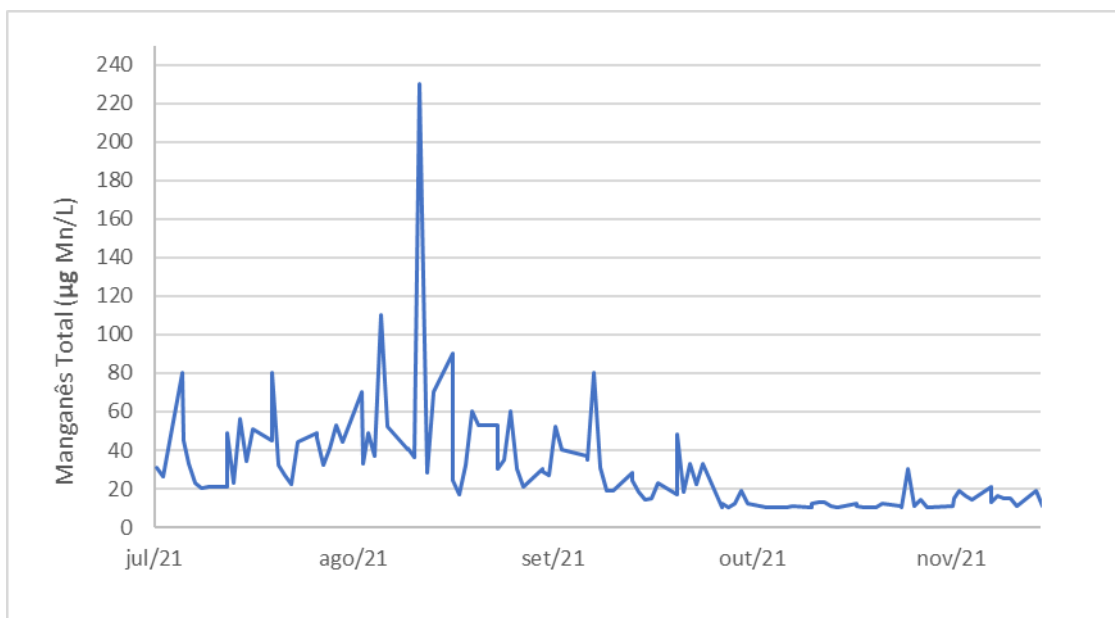


Figura 5-7. Manganês total na água bruta

Tabela 5-8. Extremos, Quartis e Variância dos valores de Manganês Total registrados

Parâmetro	Valor
Mínimo	10,00
Média	30,88
1º quartil	13,00
3º quartil	40,00
Máximo	230,00
Variância	733,95

Já em relação ao manganês, é observável que a grande maioria dos valores se encontra abaixo dos 100 µg Mn/L, o equivalente a 0,10 mg Mn/L, e que apresenta um pico no dia 11/08/2021 de 0,23 mg Mn/L.

Estas concentrações de manganês fazem com que na sua globalidade, e única e exclusivamente em relação a este parâmetro, a água bruta que chega à ETA possa ser classificada, segundo o Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto, como uma água A2, sendo que na ocorrência de valores superiores a 0,1 mg Mn/L esta classificação passe a ser A3.

Em relação ao valor paramétrico presente no Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro, de 50 µg Mn/L, sendo que, apesar de 75% dos valores registados serem inferiores a 40 µg Mn/L, cerca de 14,7% dos dados registados são superiores ao valor paramétrico, não respeitando assim essa imposição.

Em concordância com o Ferro total e o Manganês total, que apresentaram valores, na maior parte do tempo, dentro dos limites da legislação, o Níquel total no período entre 01/07/2021 e 28/03/2022 foi apenas determinado duas vezes, a 05/07/2021 e a 17/01/2022, apresentando valores não detetáveis abaixo de 4 µg Ni/L

Assim podemos afirmar que a água bruta que chega à ETA de Alcantarilha apresenta concentrações de substâncias inorgânicas reduzidas.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto, uma água de qualidade A1 apresenta um VMR de 50 N/100 mL de coliformes totais, uma água de qualidade A2 apresenta um VMR de 5000 N/100 mL e uma água de qualidade A3 apresenta um VMR de 50000 N/100 mL.

Na Figura 5-8 e na Tabela 5-9 estão presentes os resultados obtidos das determinações feitas de bactérias coliformes.

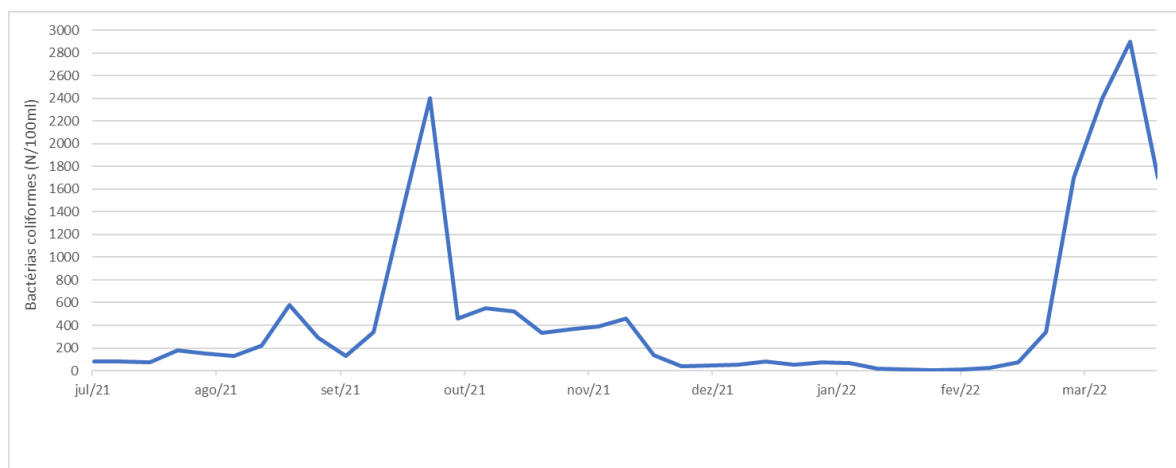


Figura 5-8. Bactérias coliformes presentes na água bruta

Tabela 5-9. Extremos, Quartis e Variância dos valores de Bactérias Coliformes registados

Parâmetro	Valor
Mínimo	6,00
Média	483,69
1º quartil	64,00
3º quartil	460,00
Máximo	2900,00
Variância	547314,59

Todos os valores apresentados são inferiores a 5000 N/100 mL sendo assim a água, e segundo unicamente este parâmetro, é de classe A2.

Também foram registados valores inferiores ao VMR da classe A1, contudo estes representaram apenas 17% do total de valores registados, sendo assim casos com reduzida frequência.

Da Tabela 5-9 é possível observar o peso dos valores mais elevados da serie de dados, fazendo com que apesar de 75% dos valores registados serem inferiores a 460 N/100 mL, a média de todos os valores é superior, 483,69. Tal facto deve-se à presença de valores consideravelmente superiores a 460 N/100 mL, como é o caso do valor máximo de 2900 N/100 mL

Por fim, a água bruta não apresentou quaisquer registos de Enterovirus, Rotavirus, Salmonella, Virus Hepatite A nem E, Leptospira, Giardia Yersinas nem de toxoplasma gondii.

Tanto das bactérias Enterococos tanto de Escherichia coli foram registados apenas casos pontuais

Assim, pode-se concluir que não existe presença microbiana considerável na água bruta que chega à ETA de Alcantarilha.

5.2 Condições de operação e boas práticas recomendadas

- **Manual de operações**

O Manual de Operação e Manutenção é um guia de apoio à tomada de decisão em operação que os funcionários da ETA de Alcantarilha podem consultar de modo a procurar uma solução para determinados problemas.

Este documento também apresenta as condições de operação para o flotador ditas recomendadas aquando da sua construção. Estas mesmas condições estão apresentadas na Tabela 5-10.

Tabela 5-10. Condições de operação do Flotador apresentadas no Manual de Operação e Manutenção

Parâmetro	Valores
Caudal	de 575 a 625 L/s por câmara de flotação
Dose de Coagulante	15 ppm
Dose de Floculante	0,15 ppm
Dose de CAP	0 ppm
Agitadores:	
- Mistura Rápida	35 Hz
- 1ª etapa flocculação	28 Hz
- 2ª etapa flocculação	26 Hz
Saturadores:	
(1+1)	um a funcionar outro de reserva
Nível	20%
Pressão	5,8 bar
Tempo de retenção:	
- Câmara de Mistura rápida	30 a 95 segundos
- Flocculação	11,5 a 18 minutos
- Flotação	13,7 a 21,4 minutos

É de salientar que o flotador foi concebido para funcionar a um caudal máximo de 1250 L/s, sendo divididos equitativamente pelas duas câmaras de flotação (iguais e em paralelo), dando um caudal máximo de 625 L/s por câmara.

É referido que a construção de duas linhas em paralelo, cada uma constituída por 2 câmaras de floclulação (1º estágio), 2 câmaras de floclulação (2º estágio) e 2 câmaras de flotação, se justifica de maneira a haver uma maior fiabilidade e flexibilidade relativa à instalação e operação da flotação.

Também é afirmado que na CMR são doseados permanganato de potássio e carvão ativado em pó, algo que, apesar de haver essa possibilidade e condições físicas e mecânicas para tal, não se verifica na realidade.

Ainda em relação à dosagem de reagentes, este documento aborda as possibilidades do floclulante ser doseado tanto no início do 1º estágio de floclulação como no início do 2º estágio. No primeiro cenário, o doseamento teria de ser efetuado num único ponto à superfície e à entrada das câmaras. Já no segundo cenário, o caudal de floclulante teria de ser repartido para cada uma das linhas e doseado em profundidade no interior das câmaras.

- **Boas práticas recomendadas**

A Acciona, como empresa construtora e prestadora de serviços relacionados com o flotador, também apresentou boas práticas tanto em relação à operação do flotador, como em relação à manutenção e funcionamento dos equipamentos eletromecânicos que auxiliam nessa etapa de tratamento. A seguir, estão descritas algumas dessas boas práticas apresentadas.

Assim, para se obter o máximo rendimento do FAD de alta carga é aconselhado garantir ao máximo que o caudal afluente ao flotador, bem como as características da água ozonizada sejam estáveis e o funcionamento desta etapa em continuidade, isto é, não haver grandes períodos de paragem do órgão.

Em relação à construção do flotador e do sistema de saturação, é recomendado que o saturador apresente um enchimento plástico, de modo a maximizar a saturação da água e assim obter um maior rendimento do saturador. Também é aconselhado que o número de saturadores seja igual ao número de compressores e também igual ao número de FAD instalados, para que haja uma maior liberdade em termos operacionais. Por fim, que a parede

de separação entre a zona de contacto e a zona de separação apresente uma inclinação de 12 graus, considerada ótima pela literatura, como referido anteriormente.

Em termos operacionais, focando no pré-tratamento, é sugerido o doseamento de polielérolito ocorrer depois de 3 a 5 minutos do doseamento do coagulante, para que este possa atuar. Também é afirmado que as dimensões ótimas dos flocos são entre 25 e 50 μm .

Outras condições de operação também são visadas, são sugeridos tempos de retenção entre 1,5 e 2,5 minutos para a zona de contacto e afirmado que tempos de retenção inferiores a 1 minuto nessa zona da câmara de flotação não são aconselháveis, isto porque, o crescimento dos flocos fica comprometido. Em relação ao saturador, não é indicado que este fique vazio e que trabalhe a uma pressão de 6 bar.

De modo a obter um bom fluxo estratificado na zona de separação, é sugerido que a recirculação de água flotada seja da ordem dos 8 a 12% e que a lâmina líquida se encontre no mínimo 0,5 metros acima da parte superior do muro de separação.

Nas Tabelas 5-11 a 5-13 estão apresentadas todas as recomendações de boas práticas dadas por parte da Acciona.

Tabela 5-11. Boas práticas recomendadas (Princípios Gerais)

Princípios Gerais
Garantir a máxima estabilidade no caudal afluyente e características da água
Garantir a continuidade do funcionamento
Adaptação rápida às variações que acontecem

Tabela 5-12. Boas práticas recomendadas (Construção)

Construção
Nº de compressores = Nº de saturadores = Nº de FAD'S instalados
O rendimento ótimo do saturador estritamente necessário um enchimento plástico
Um mínimo de 0,5 m da parte superior do muro até à lâmina de água
Ter um mínimo de 2 coletores, de modo a possibilitar o isolamento de um coletor para diminuir ou aumentar a recirculação

Tabela 5-13. Boas práticas recomendadas (Condições operacionais)

Condições operacionais
Tempo de retenção na zona de contacto entre 1,5 e 2,5 min
Tempo de retenção, na zona de contacto inferior a 1 min não aconselhável
Dosear o polieléctrolito depois do coagulante com um intervalo de tempo entre 3 e 5 min, de modo que o coagulante possa atuar
Dimensões ótimas de flocos: 25 a 50 µm
Saturador a trabalhar com pressões de 6 bar
O saturador nunca deve estar vazio
Recirculação entre 8 e 12%
Um mínimo de 0,5 m da parte superior do muro até à lâmina de água

- **Condições de operação efetuadas na ETA**

Analisadas as recomendações de boas práticas feitas pela Acciona e o Manual de Operação e Manutenção, prosseguiu-se com a análise das condições de operação praticadas na ETA de Alcantarilha.

Um fator que é fundamental para o bom funcionamento de qualquer órgão de tratamento de água, é o caudal afluente ao mesmo. Na Figura 5-9 estão apresentados os caudais afluentes ao flotador no período de junho de 2021 a março de 2022.

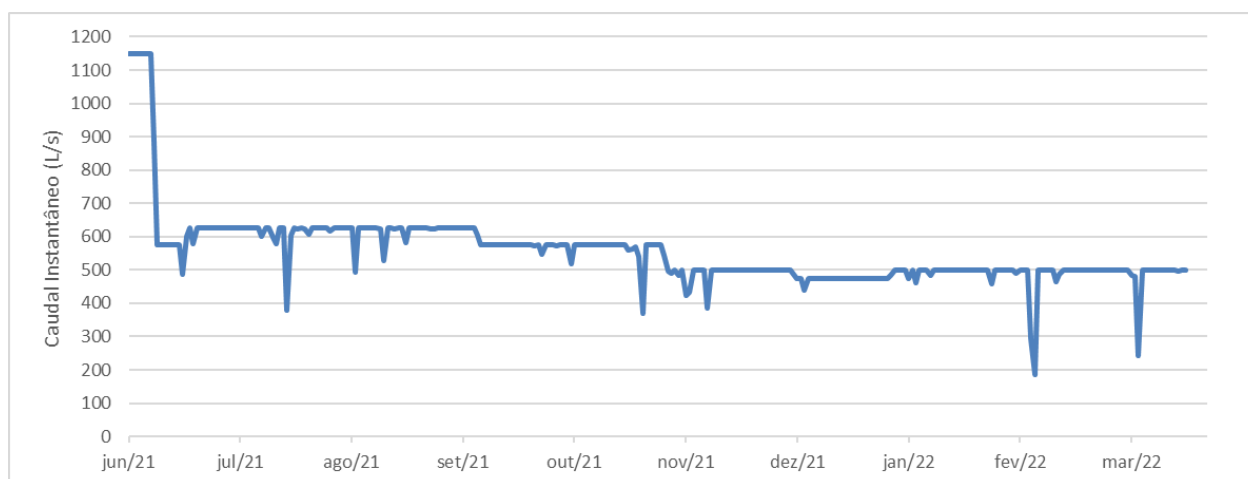


Figura 5-9. Caudal instantâneo afluente ao flotador

É possível observar na Figura 5-9, que o caudal afluente ao flotador se encontra, maioritariamente, entre os 400 e os 600 L/s, o que corresponde ao intervalo de tratamento estabelecido para uma câmara de flotação.

Assim, valores acima dos 625 L/s referidos anteriormente, significa que nesse período as duas câmaras de flotação da ETA de Alcantarilha estavam operacionais ao mesmo tempo. Para valores abaixo dos 450 L/s, as pontes raspadoras das câmaras de flotação não funcionam devidamente, sendo que os valores registados inferiores a 450 L/s podem ser explicados com ações de manutenção do flotador ou algum problema pontual no seu funcionamento.

Outros dois parâmetros operacionais fundamentais para o bom funcionamento do FAD de alta carga é a dosagem tanto de coagulante como de floculante.

Estas dosagens vão sendo alteradas ao longo do tempo, consoante a qualidade da água afluente ao flotador, especialmente a sua turvação e a qualidade da água flotada. Assim nas Figura 5-10 e Figura 5-11 estão representadas essas mesmas doses administradas de coagulante e floculante, respetivamente, ao longo do tempo.

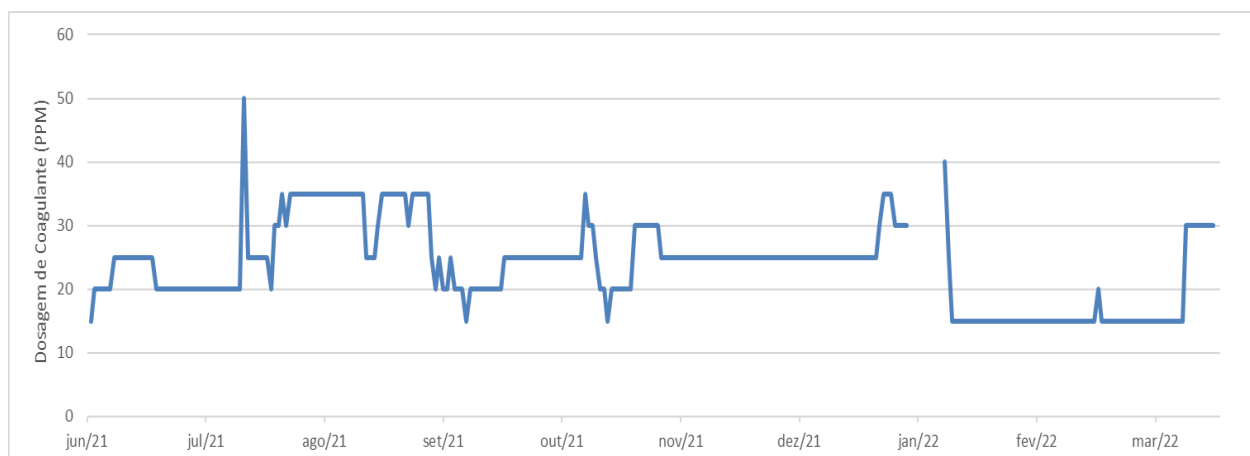


Figura 5-10. Dose de coagulante administrada no pré-tratamento do flotador ao longo do tempo

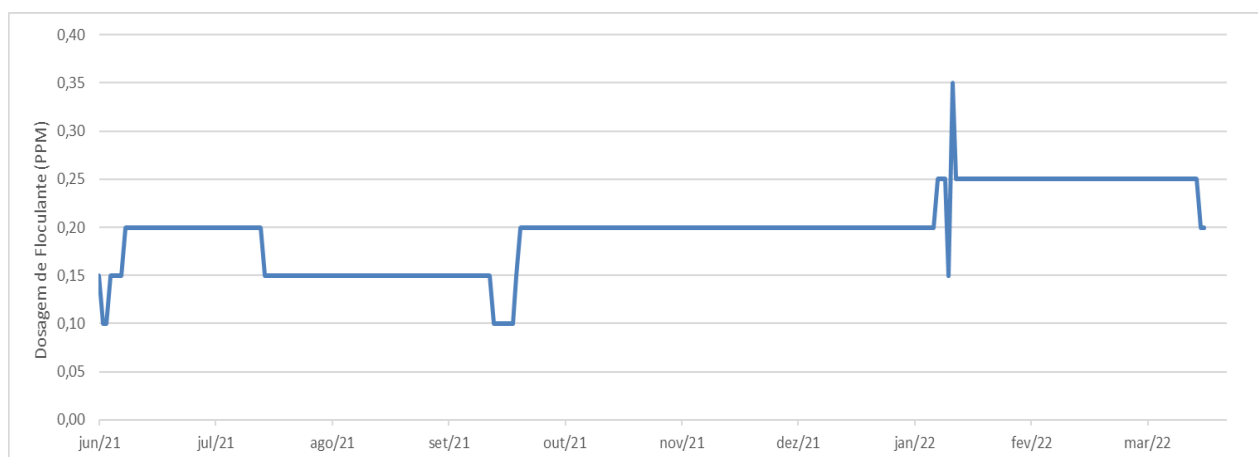


Figura 5-11. Dose de floculante administrada no pré-tratamento do flotador ao longo do tempo

Analisando as Figuras 5-10 e 5-11 é possível constatar que existem longos períodos em que a dose dos reagentes se mantém constante, principalmente no que toca ao floculante. Tal facto pode dever-se à maior sensibilidade da coagulação para com a qualidade da água afluyente e, também, visto que a coagulação precede à floculação, a variação da dose na primeira pode amenizar as variações da qualidade da água quando chega à segunda.

Após a observação tanto do caudal como das doses de reagente praticadas, na Figura 5-12 estão representados os valores de turvação na água flotada para o mesmo período, de modo a poder-se observar o efeito dos reagentes neste parâmetro.

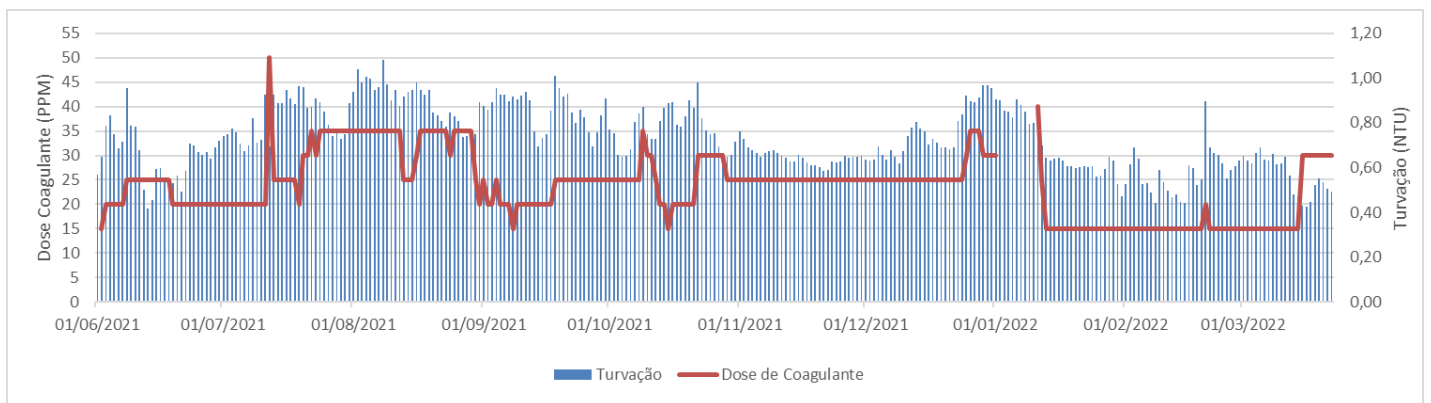


Figura 5-13. Valores de Turvação e de Dose de Coagulante registados

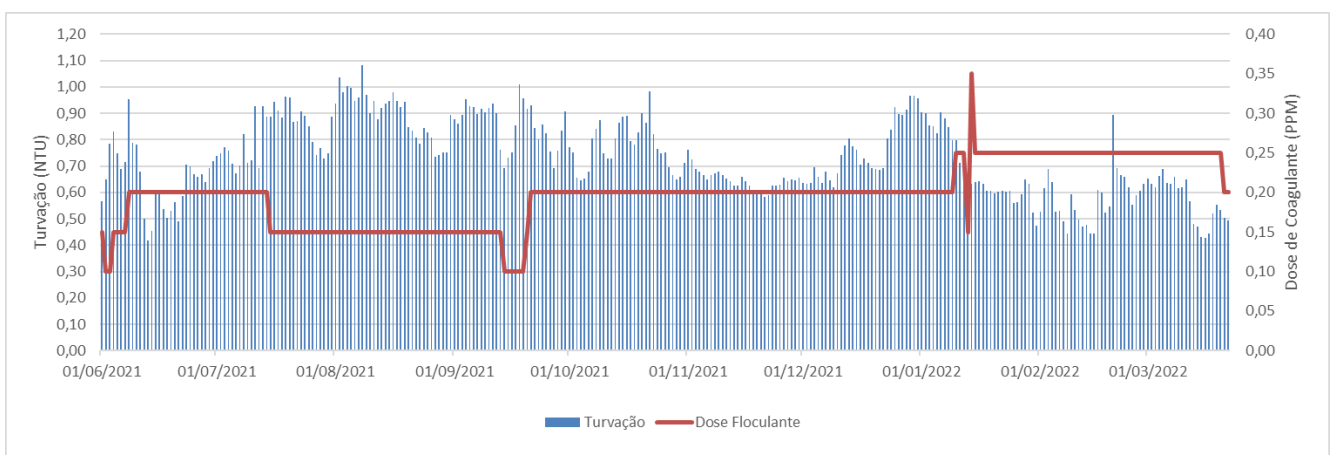


Figura 5-14. Valores de Turvação e de Dose de Flocculante registados

Observando as figuras acima apresentadas e possível constatar que os valores de Turvação foram menores quando as doses de Coagulante e Flocculante eram 15 e 0,25 ppm respetivamente.

Posto isto, estas condições de operação ditas no parágrafo anterior foram consideradas as que obtiveram melhores resultados no período de funcionamento do flotor, isto porque, como afirmado anteriormente, foram as que obtiveram valores de turvação menores na água flotada. Estas mesmas condições de operação também foram as que obtiveram os menores valores de concentração de alumínio na água flotada. Tal facto foi constatado, no Anexo 5 onde estão reunidos os dados dos dias onde foram obtidos valores de alumínio na água flotada inferiores a 300 ug Al/L, valor considerado limite de modo a ser retirado nos filtros de areia seguintes à flotação.

Assim, a Tabela 5-14 apresenta essas mesmas condições onde foram observados os melhores resultados na remoção de turvação e alumínio.

Tabela 5-14. Condições de operação onde se obtiveram melhores resultados na remoção de turvação e alumínio e respetivos valores

Caudal (L/s)	Dose Coagulante (ppm)	Dose Floculante (ppm)	Turvação (NTU)	Alumínio (mg Al/L)
500	15	0,25	[0,56;0,66]	[150,290]

Por fim, em relação à recirculação interna do sistema e ao funcionamento do saturador foi concluído:

- A recirculação manteve-se sempre entre os 5 e os 12% do caudal total, facto que pode ser constatado na do Anexo 6;
- Nenhum dos saturadores ficou vazio em alguma situação;
- A pressão em cada um dos saturadores manteve-se, maioritariamente, entre os 5,5 e os 6 bar, apresentando um valor médio de 5,7 bar. Estes valores estão apresentados na Figura 5-15.

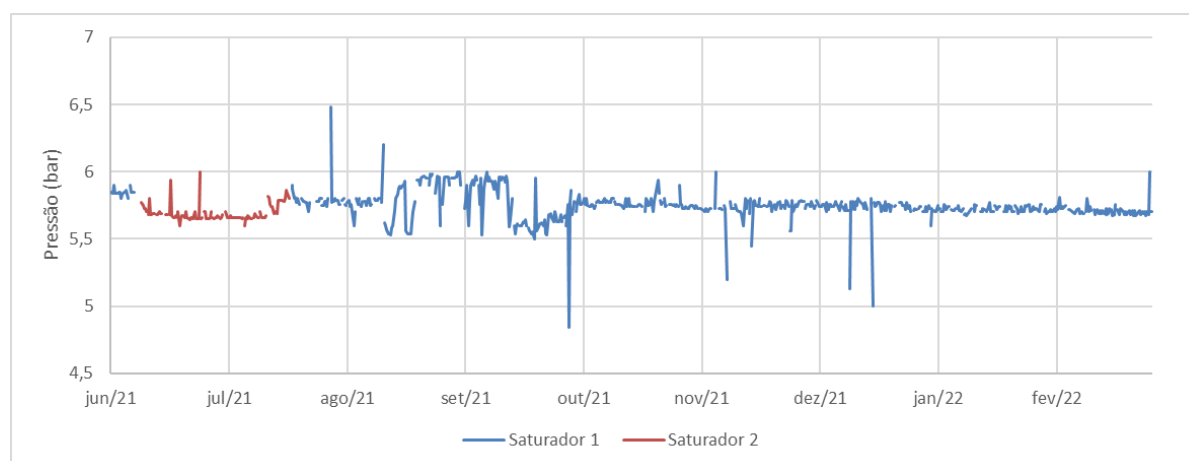


Figura 5-15. Pressão de cada um dos saturadores aquando do seu funcionamento

Os valores acima de 6 bar e abaixo de 5,5 bar, observados na Figura 5-13, podem-se dever a erros de medição do sistema ou a algum problema no funcionamento dos saturadores.

De salientar que estes valores só se registam no saturador da linha 1 da flotação, podendo ser devido ao facto de esta linha ter estado operacional muito mais tempo que a linha 2.

• Conclusões finais

Ao comparar-se todos os resultados apresentados neste capítulo, foram tiradas as seguintes conclusões:

- A continuidade do funcionamento do órgão recomendada pela Acciona, verificou-se na prática;

- Em relação à recirculação, foi possível observar com os dados operacionais que é respeitado, na maior parte do tempo, o conselho de esta estar compreendida entre os 8 e os 12%;

- A condição de ter um número de compressores igual ao número de saturadores e também igual ao número de DAF's, verificou-se na teoria sendo que na prática, um compressor e um saturador estão a funcionar para dois DAF, não perdendo assim a flexibilidade do sistema;

- O muro de separação entre a zona de contacto e a zona de flotação, segundo a literatura e a Acciona, tem uma inclinação ótima de 12°, sendo que na prática, no flotador da ETA de Alcantarilha, este muro apresenta uma inclinação de 11°, uma diferença não significativa;

- No Manual de Operação e Manutenção é dito que o coagulante e o floculante são doseados a 15 e 0,15 ppm respetivamente, porém nos dados de operação verifica-se que apesar destas dosagens serem bastante utilizadas, os valores onde se obtiveram melhores resultados são de 15 e 0,25 ppm para o coagulante e floculante respetivamente.

5.3 Flotest

Para a realização do Flotest foram antecipadamente calculados os volumes correspondentes às doses de reagentes a administrar nos diferentes ensaios (Tabela 5-15), utilizando a Equação 4-1 apresentada no subcapítulo 4.1.3.

Tabela 5-15. Volumes a dosear para as concentrações objetivo nos ensaios de Flotest

Reagente	Dose (mg/L)	Volume a dosear (µL)
Coagulante	5	6,25
	10	12,5
Floculante	0,15	123
	0,2	164
	0,225	184
	0,25	205
	0,3	246

Os volumes a adicionar são consideravelmente reduzidos, fazendo temer a possibilidade de existência de erros associados à sua administração.

Como já referido, os ensaios de Flotest foram realizados em 2 dias, 18/05/2022 e 15/06/2022. Em relação aos ensaios realizados em maio, estes apresentaram algumas complicações na sua realização, nomeadamente na injeção de água saturada num dos copos. Então, os resultados obtidos nas análises laboratoriais desses ensaios apresentaram concentrações de alumínio e turvação na água flotada elevados. Estes resultados, bem como as tabelas de classificação das dosagens e respetivos gráficos da soma, podem ser observados no Anexo 7 - Anexo 10.

Já os resultados das análises laboratoriais dos dois ensaios realizados em junho estão apresentados na Tabela 5-16.

Tabela 5-16. Resultados obtidos nas análises laboratoriais dos ensaios de flotest realizados em junho

Resultados Flotest - 15/06/2022								
Copo	Dose Coagulante (mg/L)	Dose Floculante (mg/L)	Temperatura (°C)	Turvação (NTU)	pH	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 20°C)	Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	Alumínio total ($\mu\text{g Al/L}$)
Ensaio 1								
Branco			19,1	5	7,2	310	60	
1	5	0,15	19,8	5	7,4	320	59	1800
2		0,2	22,1	1,9	7,5	320	59	800
3		0,225	19,4	3,4	7,4	320	59	900
4		0,25	19,2	2,3	7,4	320	59	900
Ensaio 2								
Branco			20,2	4	7,3	320	60	
1	10	0,15	21,0	1,5	7,4	320	58	600
2		0,2	22,0	1,3	7,5	320	58	700
3		0,225	20,8	0,94	7,4	320	58	600
4		0,25	20,7	0,84	7,4	320	58	500

Analisando a Tabela 5-16 é possível observar que tanto no primeiro ensaio como no segundo ensaio não houve quase consumo da alcalinidade o que pode ser explicado pelas baixas doses de coagulante administradas e pelo facto de que o coagulante usado é um polihidroxiclrossulfato de alumínio com uma elevada basicidade, cerca de 75%, visto que o

consumo de alcalinidade é inversamente proporcional com a basicidade do coagulante (Pernitsky & Edzwald, 2003; Seneda *et al.*, 2021).

Os resultados laboratoriais evidenciam que o ensaio 2 apresenta valores de turvação e alumínio consideravelmente inferiores em comparação com o ensaio 1.

Este resultado pode ser explicado pelo facto de que apesar de com uma dose maior de coagulante estar-se a injetar uma maior quantidade de alumínio na água, também se está a destabilizar de uma maneira mais ativa as partículas presentes na coluna de água, o que pode dar azo a uma maior fixação do alumínio por parte dessas mesmas partículas. Outra possibilidade é uma presença menor de alumínio na água utilizada no segundo ensaio em relação à do primeiro.

Depois de analisados os dados referentes às análises laboratoriais foram elaboradas as Tabela 5-17 e Tabela 5-18, de modo que seja facilitada a constatação de qual as dosagens tanto de coagulante tanto de floculante obtiveram melhores resultados.

Tabela 5-17. Classificação dos resultados obtidos no 1º Ensaio Flotest

Copo	TF	VF	QF	Temperatura	Turvação	pH	Condutividade	Alcalinidade	Alumínio total
1	3	3	3	1	1	1	1	1	1
2	2	4	3	1	4	1	1	1	4
3	4	3	3	1	3	1	1	1	3
4	1	2	4	1	2	1	1	1	3

Tabela 5-18. Classificação dos resultados obtidos no 2º Ensaio Flotest

Copo	TF	VF	QF	Temperatura	Turvação	pH	Condutividade	Alcalinidade	Alumínio total
1	2	4	2	1	1	1	1	1	2
2	4	3	4	1	2	1	1	1	1
3	3	2	1	1	3	1	1	1	2
4	1	3	3	1	4	1	1	1	4

Nas Tabelas é possível constatar que no 1º ensaio o copo 2, referente a uma dose de floculante de 0,20 mg/L, obteve o melhor resultado tanto na remoção de turvação como na remoção de alumínio. Na análise visual da formação dos flocos também este copo teve bons resultados com exceção do tamanho dos flocos que se encontravam menores em relação aos copos 1 e 3.

Pelo contrário, no 2º ensaio o copo que obteve melhor classificação tanto na remoção de turvação como na remoção de alumínio, como o copo 2 no Ensaio 1, foi o nº 4 referente à dose de 0,25 mg/L. Contudo, e à semelhança do sucedido no 1º ensaio, na análise visual da formação dos flocos tal não aconteceu, o melhor resultado na sua globalidade foi a do copo 2, tendo a maior quantidade de flocos flotados bem como os flocos mais consistentes.

É de relevar que os valores de temperatura, pH, condutividade e Alcalinidade foram todos classificados com valores iguais entre os copos devido à sua baixa variação e de modo que não influenciassem a classificação final apresentada na Figura 5-16.

Posto isto, salienta-se que no 1º Ensaio os flocos observados apresentaram-se de dimensões muito inferiores e mais frágeis em comparação com os flocos observados no 2º Ensaio, facto que pode ser explicado com a diferença de dosagem de coagulante entre os dois ensaios.

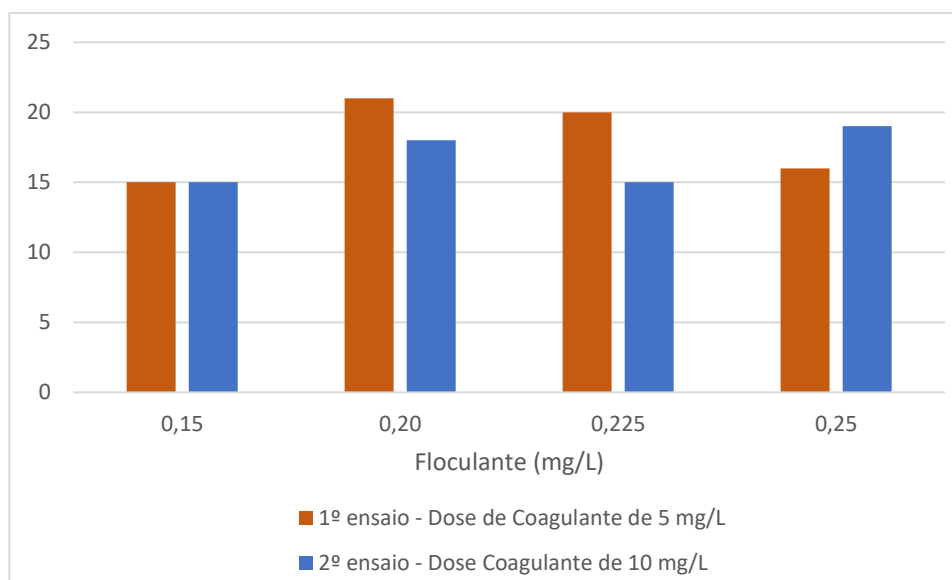


Figura 5-16. Classificação Final de cada umas das combinações de dosagens de reagentes de ambos os ensaios

Da informação presente na Figura conclui-se que no 1º Ensaio a melhor dosagem de floculante foi 0,2 mg/L, correspondente ao copo 2. Porém, no 2º Ensaio não foi este o resultado obtido. Neste ensaio dose melhor classificada foi 0,25 mg/L, correspondente ao copo 4. Posto isto, e apesar de não ter sido a dose mais bem classificada, os 0,2 mg/L também obteve um resultado geral positivo. Por fim, é possível concluir que a dosagem de 5 mg/L de coagulante obteve melhores resultados na globalidade dos ensaios, apenas tendo uma menor performance com uma dosagem de floculante de 25 mg/L.

5.4 Balanço de Massa

Os resultados obtidos através do balanço de massa de alumínio para a linha da fase líquida da ETA de Alcantarilha encontram-se na Figura 5-18, onde é possível observar os caudais e massa de alumínio presentes à saída de cada uma das Etapas de tratamento bem como a massa de alumínio que as etapas de decantação, flotação e filtração retêm nas suas lamas e água de lavagem.

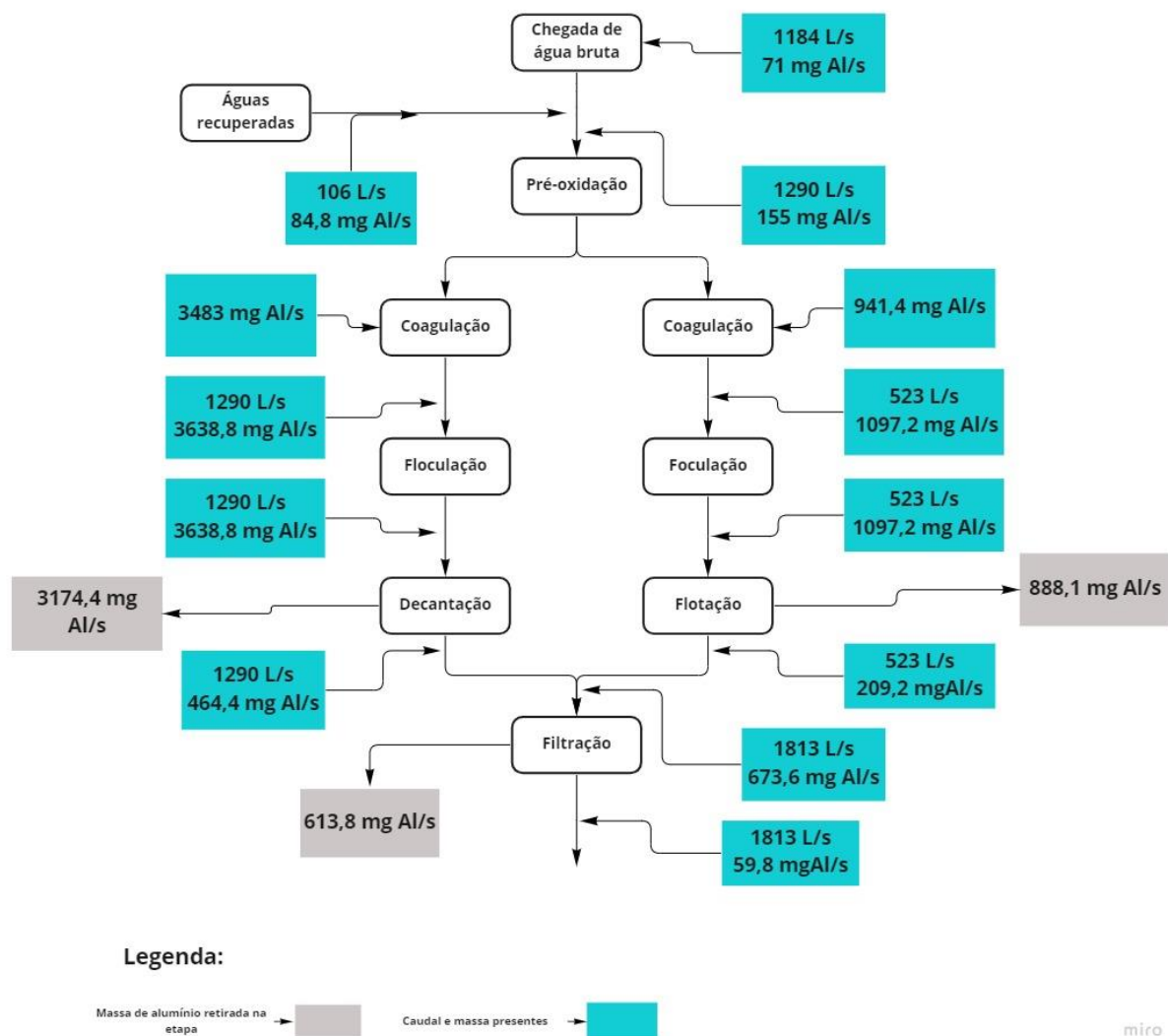


Figura 5-17. Balanço de massa de alumínio da fase líquida da ETA de Alcantarilha

Observando os resultados obtidos do balanço de massa em cada uma das etapas de tratamento é possível constatar que tanto a coagulação das linhas da decantação quanto a

coagulação das linhas da flotação são a grande fonte da massa de alumínio que circula pela fase líquida, correspondendo a um total de 95,7 e 85,8% do alumínio presente nas etapas de floculação seguintes.

A quantidade de alumínio adicionada pela coagulação precedente à decantação é cerca de 3,7 vezes superior à quantidade adicionada pela mesma etapa, mas precedente à flotação, isto deve-se ao facto de que tanto os caudais afluentes quanto as doses de coagulantes administradas são superiores, 2,7 e 1,5 vezes respetivamente.

Outro facto a salientar é a quantidade de alumínio injetada na linha através das águas recuperadas. Este valor correspondeu a cerca de 54,4% da massa de alumínio presente aquando da junção da água bruta com as águas recuperadas.

Em relação as eficiências de remoção de alumínio, estas estão apresentadas na Tabela 5-19 para as etapas de decantação, flotação e filtração.

Tabela 5-19. Eficiências de remoção de alumínio

Etapa	Eficiência de remoção de alumínio (%)
Decantação	87
Flotação	81
Filtração	91

É de notar que as eficiências de remoção de alumínio estão consideravelmente altas nas etapas de decantação e filtração em comparação com valores consultados na literatura, que são da ordem dos 60% (Srinivasan *et al.*, 1999).

Posto isto, com o balanço de massa de alumínio realizado, pôde-se verificar o possível peso das dosagens de coagulante para a presença de alumínio na linha de tratamento da ETA de Alcantarilha.

CONCLUSÕES

O setor do abastecimento de água para o consumo humano tem evoluído rapidamente em Portugal nas últimas décadas. A acompanhar a evolução, vão aparecendo, cada vez mais, novas tecnologias e/ou otimizações das já existentes. Assim, a flotação, sendo uma alternativa ao método tradicional de separação sólido-líquido, decantação, é cada vez mais utilizada tanto no tratamento de águas residuais quanto de águas para abastecimento público.

A flotação é uma etapa com um consumo energético e de reagentes significativo, a otimização da mesma em qualquer um destes dois aspetos traz grandes benefícios do ponto de vista dos custos de operação que lhe estão associados.

O processo de flotação é mais sensível a mudanças da qualidade da água afluyente em comparação com os tratamentos ditos tradicionais, como é o caso da decantação. Assim, avaliou-se a qualidade da água bruta que chega à ETA de Alcantarilha.

Dessa análise, concluiu-se que a qualidade dessa água é boa em termos de sólidos presentes na mesma. Tal facto pode ser corroborado pelos valores de turvação muito reduzidos e pelos valores de COT dentro dos valores paramétricos. Outro facto que vai de encontro com a afirmação da boa qualidade da água bruta são os valores, na sua grande maioria, abaixo dos valores paramétricos máximos legislados, das substâncias inorgânicas, nomeadamente, o ferro total, o manganês total e o níquel total.

A análise à água bruta também demonstrou que, em relação à qualidade microbiana e à presença de patogénicos na mesma, os valores são positivos, relevando episódios pontuais com presença de enterococos e *Escherichia coli*.

Já o estudo feito com consulta ao Manual de Operação e Manutenção, às recomendações feitas pela Acciona e aos dados de operação do flotador revelou que tanto a saturação de ar como a recirculação de água estão a funcionar da maneira devida e eficiente, com valores de 5,8 bar e entre 8 e 12% respetivamente. Isto, faz com que a quantidade de bolhas bem como o seu tamanho seja o mais adequado, promovendo assim um bom funcionamento da flotação.

Também foi possível aferir acerca das condições de operação que obtiveram melhores resultados. Apesar de o recomendado ser um caudal de 575 a 625 L/s, verificou-se que

utilizando um caudal ligeiramente inferior, 500 L/s, foram obtidos melhores resultados na água flotada, demonstrando a eficiência do processo bem como das pás raspadoras.

Relativamente às dosagens de reagentes, no estudo referido foi comprovado que as mais benéficas foram 15 e 0,25 ppm de coagulante e floculante respetivamente. Contudo, quando realizados os ensaios de flotest, foi observado que uma dosagem de 5 e 0,20 ppm de coagulante e floculante, respetivamente, obteve resultados positivos nos ensaios, podendo assim indiciar que possa ser benéfica a redução das doses destes reagentes e consequentemente a poupança associada.

Por fim, foi realizado o balanço de massa de alumínio na linha da fase líquida da ETA. Estes cálculos tiveram como objetivo identificar os focos de injeção de alumínio na linha de modo a aferir acerca de uma possível redução e consequente redução na água flotada que é encaminhada para os filtros de areia.

Os resultados do balanço demonstraram que as etapas de coagulação tanto antecedentes ao flotador como antecedentes aos decantadores são o grande contributo de alumínio para as linhas. Assim, e em concordância com o que foi dito antes, uma redução na dosagem de coagulante poderia ser benéfica não só para a flotação, como também para a etapa de filtração.

DIFICULDADES ENCONTRADAS E RECOMENDAÇÕES PARA O FUTURO

No decorrer da dissertação foram encontradas algumas dificuldades, nomeadamente na recolha de dados, com especial foco na concretização do balanço de massa de alumínio. Tal facto, deveu-se tanto aos diferentes períodos em que as determinações de alumínio foram feitas nas diversas etapas de tratamento da fase líquida tanto à inexistência de medições feitas na maioria das etapas da fase sólida.

Assim, uma recomendação feita é a normalização das determinações de alumínio nas etapas de tratamento da linha da fase líquida e sólida bem como a implementação de um plano de determinações nas etapas da fase sólida.

Em relação aos ensaios de flotest, recomenda-se a realização de mais ensaios com as dosagens de coagulante e floculante usadas nesta dissertação de modo a perceber se os resultados obtidos nos ensaios já realizados são sólidos e robustos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Águas do Algarve. (2019, September). *Sistema Multimunicipal de Abastecimento e Saneamento do Algarve*.
https://www.aguasdoalgarve.pt/sites/aguasdoalgarve.pt/files/paginas_base/mapas/es-30050-pl_smasa-aa_set2019.pdf
- Águas do Algarve. (2022). *ETA de Alcantarilha / Águas do Algarve*.
<https://www.aguasdoalgarve.pt/content/eta-de-alcantarilha>
- Almond, J. (2000). The Elmore brothers and the flotation process for separating minerals. *Historical Metallurgy*, 34(1), 31–46. <https://hmsjournal.org/index.php/home/article/view/284>
- Al-Shamrani, A. A., James, A., & Xiao, H. (2002). Separation of oil from water by dissolved air flotation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 209(1), 15–26. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(02\)00208-X](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(02)00208-X)
- Andreoli, F. C., & Sabogal-Paz, L. P. (2019). Coagulation, flocculation, dissolved air flotation and filtration in the removal of *Giardia* spp. and *Cryptosporidium* spp. from water supply. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 40(5), 654–663. <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1400113/FORMAT/EPUB>
- APDA. (2012). *Ft-qi-09 - turvação*. <https://www.apda.pt/pt/documentos/3/ceqa-comissao-especializada-de-qualidade-da-agua/?p=pt/documentos/3/ceqa-comissao-especializada-de-qualidade-da-agua/>
- Bratby, J. (2008). *Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment* (2nd ed.). International Water Association (IWA).

- Corona-Arroyo, M. A., López-Valdivieso, A., & Song, S. (2018). Contact angle and vacuum floatability of ultrafine size particles. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, *53*(6), 999–1005. <https://doi.org/10.1080/01496395.2017.1405981>
- Crini, G., & Lichtfouse, E. (2019). *Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment*. *17*, 145–155. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0785-9>
- Crossley, I. A., & Valade, M. T. (2006). A review of the technological developments of dissolved air flotation. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, *55*(7–8), 479–491. <https://doi.org/10.2166/aqua.2006.057>
- Demirbaş, A. (2002). Demineralization and desulfurization of coals via column froth flotation and different methods. *Energy Conversion and Management*, *43*(7), 885–895. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(01\)00088-7](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(01)00088-7)
- Edzwald, J. K. (2006). Dissolved air flotation in drinking water treatment. In G. Newcombe & D. Dixon (Eds.), *Interface Science in Drinking Water Treatment: Theory and Application* (pp. 89–108). Academic Press.
- Edzwald, J. K. (2007). Developments of high rate dissolved air flotation for drinking water treatment. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, *56*(6–7), 399–409. <https://doi.org/10.2166/aqua.2007.013>
- Edzwald, J. K., Walsh, J. P., Kaminski, G. S., & Dunn, H. J. (1992). Flocculation and Air Requirements for Dissolved Air Flotation. *Journal AWWA*, *84*(3), 92–100. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1992.tb07325.x>
- Edzwalds, J. K., & Haarhoff, J. (2011). *Dissolved air flotation for water clarification*. McGraw-Hill Companies. www.awwa.org
- Elder, D., & Budd, G. C. (2010). Overview of water treatment processes. In J. K. Edzwalds & American Water Works Association (Eds.), *Water Quality & Treatment: A Handbook on Drinking Water* (6th ed.). The McGraw-Hill Companies.
- Eliassen, R., & Schulhoff, H. B. (1944). Grease Removal by Vacuum Flotation. *Source: Sewage Works Journal*, *16*(2), 287–295.
- Fanaie, V. R., Khiadani, M., & Sun, G. (2019). Effect of salinity and temperature on air dissolution in an unpacked air saturator of a dissolved air flotation system. *Desalination and Water Treatment*, *170*, 91–100. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24718>
- Ferreira, J. P., & Loveday, B. K. (2000). An improved model for simulation of flotation circuits. *Minerals Engineering*, *13*(14–15), 1441–1453. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(00\)00129-1](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(00)00129-1)

- Florescu, D., Iordache, A. M., Costinel, D., Horj, E., Ionete, R. E., & Culea, M. (2011). Validation procedure for assessing the total organic carbon in water samples *. *Romanian Journal of Physics*, 58(1–2), 211–219. <http://www.demarcheiso17025.com/document/Validation%20procedure%20for%20assessing%20the%20total%20organic%20cabon.pdf>
- Gregory, R., & Edzwalds, J. K. (2010). Sedimentation and flotation. In J. K. Edzwalds & American Water Works Association (Eds.), *Water Quality & Treatment: A Handbook on Drinking Water* (6th ed, pp 325 - 390). The McGraw-Hill Companies. www.awwa.org
- Gregory, R., Zabela, T. F., & Edzwald, J. K. (1999). Sedimentation and flotation. In R. D. Letterman (Ed.), *Water quality and treatment: a handbook of community water supplies* (5th ed, pp. 292-378). McGraw-Hill .
- Haarhoff, J. (2008). Dissolved air flotation: progress and prospects for drinking water treatment. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 57(8), 555–567. <https://doi.org/10.2166/aqua.2008.046b>
- Haarhoff, J., & Edzwald, J. K. (2013). Adapting dissolved air flotation for the clarification of seawater. *Desalination*, 311, 90–94. <https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2012.10.035>
- Ives, Kenneth. J. (1983). *The Scientific Basis of Flotation* (K. J. Ives, Ed.; 1st ed.). Springer Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-6926-1>
- Kramer, A., Gaulocher, S., Martins, M., & Filho, L. S. L. (2012). Surface Tension Measurement for Optimization of Flotation Control. *Procedia Engineering*, 46, 111–118. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2012.09.453>
- Kyzas, G., & Matis, K. (2018). Flotação no tratamento de água e efluentes. *Mdpi*. <https://www.mdpi.com/324576>
- Kyzas, G. Z., Mitropoulos, A. C., & Matis, K. A. (2021). *From Microbubbles to Nanobubbles: Effect on Flotation*. 9(8), 1287. <https://doi.org/10.3390/PR9081287>
- Letterman, R. D., & Yiacoumi, S. (2010). Coagulation and flocculation. In J. K. Edzwald & American Water Works Association (Eds.), *Water Quality & Treatment: A Handbook on Drinking Water* (6th ed.). The McGraw-Hill Companies.
- Li, P., & Tsuge, H. (2006). Water Treatment by Induced Air Flotation Using Microbubbles. *Journal of Chemical Engineering of Japan - J CHEM ENG JPN*, 39, 896–903. <https://doi.org/10.1252/jcej.39.896>
- Maldonado, M., Sbarbaro, D., & Lizama, E. (2007). Optimal control of a rougher flotation process based on dynamic programming. *Minerals Engineering*, 20(3), 221–232. <https://doi.org/10.1016/J.MINENG.2006.08.015>

- Matilainen, A., Lindqvist, N., Korhonen, S., & Tuhkanen, T. (2002). Removal of NOM in the different stages of the water treatment process. *Environment International*, 28(6), 457–465. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00071-5](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00071-5)
- Matis, K. A. (1995). *Flotation science and engineering*. CRC Press.
- Neto, W. G. R. (2016). *Análise da viabilidade técnica de flotação por ar dissolvido em estações de tratamento de água*. Dissertação apresentada na Universidade Federal de Santa Maria para obtenção da Graduação em Engenharia Civil.
- Nguyen, A. v., & Schulze, H. J. (2003). Industrial application. In *Colloidal Science of Flotation* (1st ed.). CRC Press.
- Palacios Jr, E. (2021). *Fundamentos Y Diseño de Procesos de Flotacion- Comunicação Pessoal*.
- Palaniandy, P., Adlan, M. N., Aziz, H. A., & Murshed, M. F. (2017). Dissolved Air Flotation (DAF) for Wastewater Treatment. In Y.-T. Hung, L. K. Wang, M.-H. S. Wang, N. K. Shammam, & Jianping. P. Chen (Eds.), *Waste Treatment in the Service and Utility Industries* (1st ed., pp. 145–181). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b22213-5>
- Pate, K., & Safier, P. (2016). Chemical metrology methods for CMP quality. *Advances in Chemical Mechanical Planarization (CMP)*, 299–325. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100165-3.00012-7>
- Pernitsky, D. J., & Edzwald, J. K. (2003). Solubility of polyaluminium coagulants. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 52(6), 395–406. <https://doi.org/10.2166/aqua.2003.0036>
- Polo, E. F. (2021). *Conceptos Teóricos de Coagulación-Floculación. Principales reactivos y sus funciones, Comunicação Pessoal*.
- Raeli, M. A. P., & Marchetto, M. (2001). High-rate dissolved air flotation for water treatment. *Water Science and Technology*, 43(8), 43–49. <https://doi.org/10.2166/wst.2001.0461>
- Ramos, M. M. F. (2011). *Análise comparativa de sistemas de desidratação para etar caso de estudo: centrífugas versus filtros banda* [Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente - Perfil de Engenharia Sanitária]. https://run.unl.pt/bitstream/10362/7506/1/Ramos_2011.pdf
- Rosa, M. J., Vieira, P., & Menaia, J. (2009). *O tratamento de água para consumo humano face à qualidade da água de origem*. https://www.pseau.org/outils/ouvrages/ersar_guia_13_tratamento_de_agua.pdf

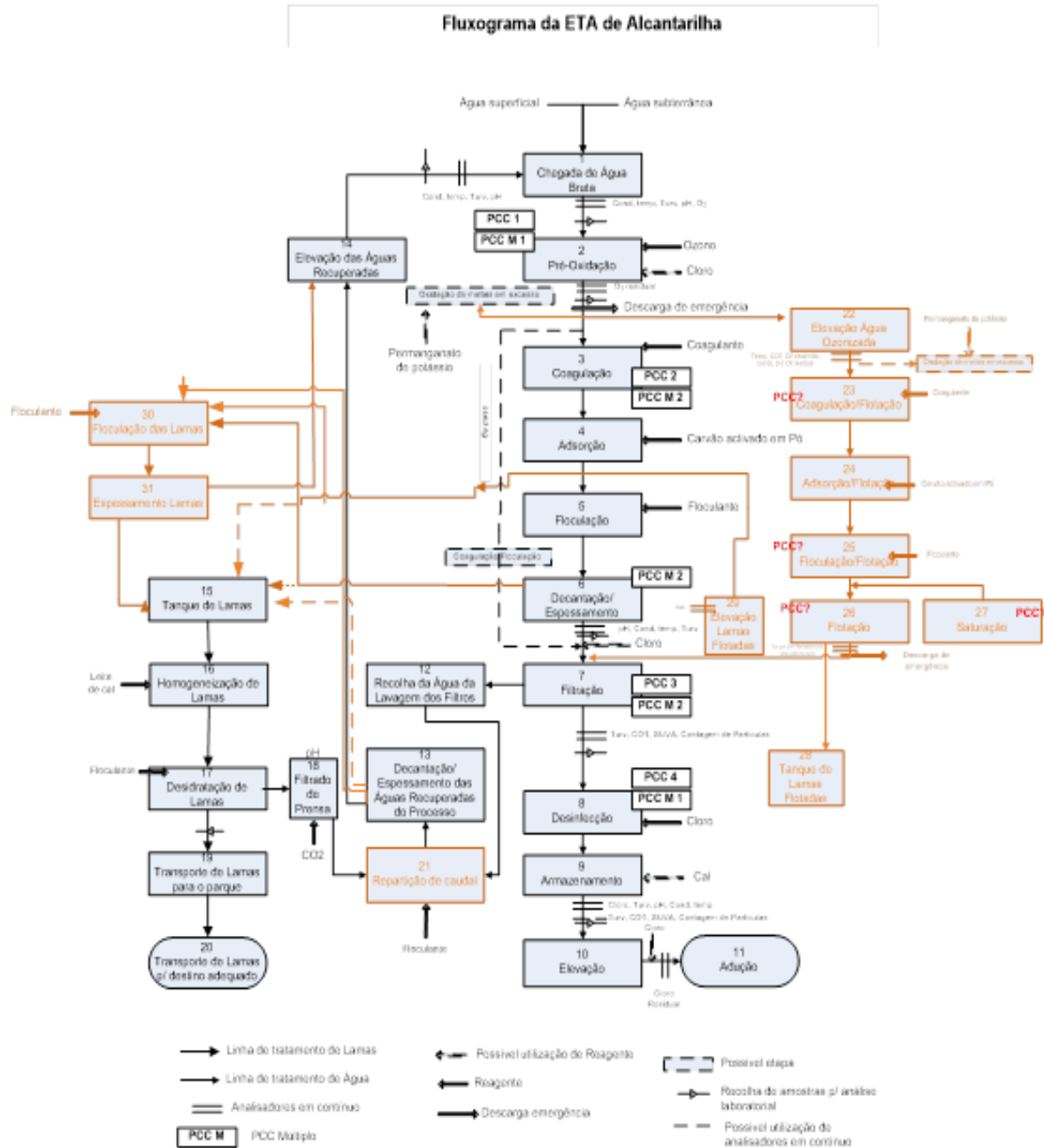
- Santiago, L. M. (2008). *Remoção de células de cianobactérias por processos de sedimentação e flotação por ar dissolvido: avaliação em escala de bancada*. Dissertação apresentada na Universidade Federal de Minas Gerais para obtenção do Grau de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. .
- Schoepfer, S. D., Shen, J., Wei, H., Tyson, R. v., Ingall, E., & Algeo, T. J. (2015). Total organic carbon, organic phosphorus, and biogenic barium fluxes as proxies for paleomarine productivity. *Earth-Science Reviews*, 149, 23–52. <https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2014.08.017>
- Schofield, T. (2001). Dissolved air flotation in drinking water production. *Water Science and Technology*, 43(8), 9–18. <https://doi.org/10.2166/wst.2001.0453>
- Seneda, R. M., Garcia, G. F., & dos Reis, A. G. (2021). Cinética da floculação: um estudo comparativo no uso do cloreto de polialumínio com alta e baixa basicidade e o sulfato de alumínio. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 26(2), 283–290. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190297>
- Shammas, N. K. (2005). Coagulation and Flocculation. In L. K. Wang, Y. Hung, & N. K. Shammas (Eds.), *Physicochemical Treatment Processes* (1st ed., pp. 103–140). Springer Nature.
- Shammas, N. K., & Bennett, G. F. (2010). Principles of Air Flotation Technology. In L. K. Wang, N. K. Shammas, W. A. Selke, & D. B. Aulenbach (Eds.), *Flotation Technology* (Vol. 12, pp. 1–47). Humana Totowa, NJ. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-60327-133-2>
- Shammas, N. K., Pouet, M.-F., & Grasmick, A. (2010). Wastewater Treatment by Electrocoagulation–Flotation. In L. K. Wang, N. K. Shammas, W. A. Selke, & D. B. Aulenbach (Eds.), *Flotation Technology* (Vol. 12, pp. 199–220). Humana Totowa, NJ. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-60327-133-2>
- Shawwa, A. R., & Smith, D. W. (1998). Hydrodynamic characterization in dissolved air flotation (DAF) contact zone. *Water Science and Technology*, 38(6), 245–252. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(98\)00585-X](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(98)00585-X)
- Shawwa, A. R., & Smith, D. W. (2000). Dissolved air flotation model for drinking water treatment. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 27(2), 373–382. <https://doi.org/10.1139/l99-071>
- Silva, V. M. da Gutierrez, L. A., & Pereira, J. A. (n.d.). *TRATAMENTO E ABASTECIMENTO DE ÁGUA*. Retrieved May 4, 2022, from https://aedmoodle.ufpa.br/pluginfile.php/367083/mod_resource/content/1/TRATAMENTO%20E%20ABAST%20DE%20AGUA%20TEXT0.pdf
- Srinivasan, P. T., Viraraghavan, T., & Subramanian, K. s. (1999). Aluminium in drinking water: An overview. *Water SA*, 25(1), 47–56. https://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/WaterSA_1999_01_jan99_p47.pdf

- Teixeira, M., & Rosa, M. (2001). *Flotação e nanofiltração na remoção de cianobactérias e cianotoxinas de água para consumo humano*. 266889211_flotacao_e_nanofiltracao_na_remocao_de_cianobacterias_e_cianotoxinas_de_água_para_consumo_humano
- Thomas, D. N., Judd, S. J., & Fawcett, N. (1999). Flocculation modelling: a review. *Water Research*, 33(7), 1579–1592. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00392-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00392-3)
- Trimétrica. (2015). *Aquisição de serviços de consultoria relativa à ETA de Alcantarilha - Estudo Prévio*.
- Turovskiy, Izrail. S., & Mathai, P. K. (2006). *Wastewater sludge processing* (1st ed.). Wiley-Interscience. <https://doi.org/10.1002/047179161X>
- Valade, M. T., Becker, W. C., & Edzwald, J. K. (2009). Treatment selection guidelines for particle and NOM removal. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 58(6), 424–432. <https://doi.org/10.2166/aqua.2009.201>
- WHO. (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality fourth edition*. <http://www.who.int>
- WHO. (2022, March 21). *Drinking-water*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Wiese, J., Harris, P., & Bradshaw, D. (2011). The effect of the reagent suite on froth stability in laboratory scale batch flotation tests. *Minerals Engineering*, 24(9), 995–1003. <https://doi.org/10.1016/J.MINENG.2011.04.011>

| A

ANEXOS

Anexo 1- Fluxograma da ETA de Alcantarilha



Anexo 2- Ficha técnica do coagulante utilizado nos ensaios de flotest



DOCUMENTO DE IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO
(a que se refere a alínea d) do n.º 6. do Artigo 7.)

RIFLOC PLUS 10

FICHA TÉCNICA

Revisão Nº. 03

Data da Revisão: 20 / 02 / 2020

1. IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO

DESIGNAÇÃO COMERCIAL RIVAZ	RIFLOC PLUS 10
DESIGNAÇÃO ORIGINAL FABRICANTE	DKBASIC PLUS 1010
NOME QUÍMICO	Polihidroxiclrossulfato de Alumínio
Nº. CAS	39290-78-3
Nº. EINECS OU ELINCS	254-400-7
Nº. ONU	3264
FORMA COMERCIAL	Solução aquosa de Polihidroxiclrossulfato de Alumínio a 9,0% em Al ₂ O ₃
FUNÇÃO/APLICAÇÃO DO PRODUTO	Tratamento de água para consumo humano
PRAZO DE VALIDADE	1 ano

2. ORIGEM DO PRODUTO

IDENTIFICAÇÃO DO FABRICANTE	ACIDEKA – AQUACENIC, S.L.
LOCAL DE FABRICO, MORADA	Pol.Ind. Cami La Mar 2, Avinguda de La Cassola, 6 46500 Sagunto - Valencia
PROCESSO DE FABRICO	Prepolimerização de sal de Alumínio de alta basicidade (75%) com uma concentração em Al ₂ O ₃ de 9,0%
MATÉRIAS-PRIMAS	Hidrato de Alumínio, Ácido Clorídrico, Ácido sulfúrico, Água desmineralizada, Agente alcalinizante

3. CARATERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO PRODUTO

PROPRIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	VALORES TÍPICOS	MÉTODO DE ANÁLISE
ASPETO	---	Líquido ligeiramente amarelado	Visual
MASSA VOLÚMICA a 20°C	g/cm ³	1,21	INT-LAB-05
PONTO DE FUSÃO	°C	- 12	ND
VISCOSIDADE a 20°C	cps	5 aprox.	INT-LAB-02

CRITÉRIOS DE PUREZA	UNIDADES	VALORES TÍPICOS	MÉTODO DE ANÁLISE
CONCENTRAÇÃO em Al ₂ O ₃	% m/m	8,5 a 10,5	NP EN 17034:2018
BASICIDADE RELATIVA	% m/m	70 a 80	DEKITRA


IMPUREZAS, SUBPRODUTOS E PARÂMETROS QUÍMICOS	UNIDADES	VALORES MÁXIMOS	MÉTODO DE ANÁLISE
Arsénio (As)	mg/kg de Al	14	NP EN 17034:2018
Cádmio (Cd)	mg/kg de Al	3	NP EN 17034:2018
Crómio (Cr)	mg/kg de Al	30	NP EN 17034:2018
Mercúrio (Hg)	mg/kg de Al	4	NP EN 17034:2018
Níquel (Ni)	mg/kg de Al	20	NP EN 17034:2018
Chumbo (Pb)	mg/kg de Al	40	NP EN 17034:2018
Antimónio (Sb)	mg/kg de Al	20	NP EN 17034:2018
Selénio (Se)	mg/kg de Al	20	NP EN 17034:2018
Matéria insolúvel	g/kg de Al	25	NP EN 17034:2018

Produto conforme com a Norma EN 17034:2018, Tipo 1 - Produtos químicos utilizados no tratamento de água destinada ao consumo humano – Cloreto de alumínio anidro, cloreto básico de alumínio, penta-hidroxicloreto de dialumínio e hidroxiclrossulfato de alumínio.

4. EMBALAGENS COMERCIAIS

TIPO EMBALAGEM	Cisterna, contentor 1 m ³ , bilha 25 l
VOLUME OU PESO DA EMBALAGEM	Até 25.000 kg; 1.200 kg, 30 kg

Página 1 de 1



Quimifloc PWG A4

IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO:

Nome Comercial:	Quimifloc PWG A4
Nome Químico:	Poliacrilamida aniônica
Carga iônica:	Média
Peso molecular:	Elevado

APLICAÇÕES:


O produto Quimifloc PWG A4 possui como principal aplicação o tratamento de águas. Oferece um rendimento excepcional em separações sólido-líquido numa elevada gama de condições.

PROPRIEDADES QUÍMICAS DO PRODUTO:

PROPRIEDADE	UNIDADE	ESPECIFICAÇÃO
Aspeto:	--	Pó branco granulado
Carga iônica:	%	17,5 – 27,5
Conteúdo em sólidos:	%	≥ 87
Densidade:	g/cm ³	0,80 – 0,84
Acrilamida residual:	ppm	< 200
pH (sol. 0,5%):	--	6 - 9
Viscosidade (sol. 0,5%, 25 °C):	mPa.s	800

REFERÊNCIAS NORMATIVAS:

O produto Quimifloc PWG A4 cumpre com a Norma Europeia EN 1407 - Produtos químicos utilizados para tratamento de água destinada ao consumo humano.

 **GRUPO RNM**

GRUPO RNM | QUIMITEJO
FC006 | 01 | 28-02-2020



Quimifloc PWG A4

ORIGEM DO PRODUTO:

Unidade Fabril:	Kemira – Reino Unido
Processo de Fabrico:	Síntese (Polimerização)

MATÉRIAS-PRIMAS:

INGREDIENTE:	Nº CAS:	PROPORÇÃO:
Polímero (2-ácido propenoico, polímero com 2-propenamidas, cloreto de sódio)	25987-30-8	> 90
Água (humidade residual)	7732-18-5	< 10

ARMAZENAMENTO E PRAZO DE VALIDADE:

O produto deve ser armazenado em local fresco e seco, a uma temperatura inferior a 40 °C. Nestas condições, o produto apresenta uma validade de 24 meses deste a data de fabrico.

Uma vez aberta a embalagem, deve ser consumida rapidamente, uma vez que o contacto com humidade pode levar ao empedramento do produto.

PEDRO CASTELÃO

Assinado de forma digital por PEDRO CASTELÃO
Dados: 2020.03.02 16:31:25 Z



GRUPO RNM | QUIMITEJO
FC006 | 01 | 20-02-2020

Anexo 5- Tabela com as condições de operação onde se obtiveram melhores resultados de remoção de turvação e alumínio

Data	Ano	Mês	Dia	Data curta	Qinst.(L/s)	Dose Coagulante(PPM)	Dose Floculante(PPM)	Turvação(NTU)	Turvação média Bruta(NTU)	Alumínio (mg A/L)
07/Jul/2021 00:00:00	2021	7	07	07/07/2021	625	20	0,20	0,70	1,5	290
16/Ago/2021 00:00:00	2021	8	16	16/08/2021	625	30	0,15	0,98	2,35	280
06/Set/2021 00:00:00	2021	9	6	06/09/2021	604	20	0,15	0,92	2,23(3)	290
07/Set/2021 00:00:00	2021	9	7	07/09/2021	575	20	0,15	0,90	1,35	290
15/Set/2021 00:00:00	2021	9	15	15/09/2021	575	20	0,10	0,73	2,07	220
16/Set/2021 00:00:00	2021	9	16	16/09/2021	575	20	0,10	0,75	1,2	260
02/Nov/2021 00:00:00	2021	11	2	02/11/2021	500	25	0,20	0,73	1,44	280
16/Nov/2021 00:00:00	2021	11	16	16/11/2021	500	25	0,20	0,64	1,05	250
18/Nov/2021 00:00:00	2021	11	18	18/11/2021	500	25	0,20	0,61	-	260
29/Nov/2021 00:00:00	2021	11	29	29/11/2021	500	25	0,20	0,65	1,15	280
17/Jan/2022 00:00:00	2022	1	17	17/01/2022	500	15	0,25	0,63	1	150
18/Jan/2022 00:00:00	2022	1	18	18/01/2022	500	15	0,25	0,61	0,76	230
25/Jan/2022 00:00:00	2022	1	25	25/01/2022	500	15	0,25	0,56	-	250
26/Jan/2022 00:00:00	2022	1	26	26/01/2022	500	15	0,25	0,56	0,69	260
27/Jan/2022 00:00:00	2022	1	27	27/01/2022	459	15	0,25	0,59	-	210
10/Fev/2022 00:00:00	2022	2	10	10/02/2022	500	15	0,25	0,53	0,72	180
14/Fev/2022 00:00:00	2022	2	14	14/02/2022	463	15	0,25	0,45	0,61	260
15/Fev/2022 00:00:00	2022	2	15	15/02/2022	486	15	0,25	0,44	0,69	290
02/Mar/2022 00:00:00	2022	3	2	02/03/2022	500	15	0,25	0,63	0,83	270
03/Mar/2022 00:00:00	2022	3	3	03/03/2022	500	15	0,25	0,62	-	250
04/Mar/2022 00:00:00	2022	3	4	04/03/2022	500	15	0,25	0,66	0,76	260
17/Mar/2022 00:00:00	2022	3	17	17/03/2022	500	30	0,25	0,44	-	190

Anexo 6- Taxas de recirculação das câmaras de flotação ao longo do tempo

Dia	Nº Linhas Funcionamento	Recirculação Linha 1(%)	Recirculação Linha 2(%)
01/06/2021	2	5	5
08/06/2021	1	10	0
20/10/2021	1	0	10
28/10/2021	1	0	11
03/12/2021	1	0	12
30/12/2021	1	0	11
31/03/2022	1	0	11

Anexo 7- Resultados obtidos nas análises laboratoriais dos ensaios de flotest realizados em maio

Resultados Flotest - 15/06/2022								
Copo	Dose Coagulante (mg/L)	Dose Floculante (mg/L)	Temperatura (°C)	Turvação (NTU)	pH	Condutividade (µS/cm a 20°C)	Alcalinidade (mg/L CaCO3)	Alumínio total (µg Al/L)
Ensaio 1								
Branco			19,1	5	7,2	310	60	
1	5	0,15	21.6	3.3	7.5	330	61	3000
2		0,2						
3		0,25	21.9	8	7.5	330	61	6000
4		0,3	22.4	6	7.5	330	61	4000
Ensaio 2								
Branco			20,2	4	7,3	320	60	
1	10	0,15	21.7	1.7	7.5	320	61	1400
2		0,2						
3		0,25	21.9	1.6	7.5	320	61	1200
4		0,3	22.2	1.6	7.5	320	61	1300

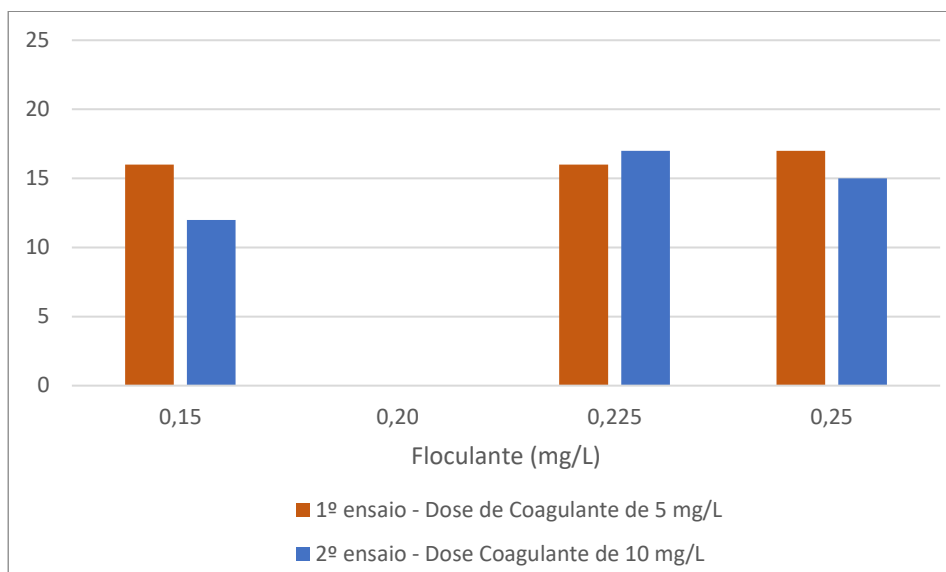
Anexo 8- Classificação e balanço dos resultados obtidos no 1º Ensaio Flotest de maio

Copo	TF	VF	QF	Temperatura	Turvação	pH	Condutividade	Alcalinidade	Alumínio total
1	1	2	1	1	3	1	1	3	3
2									
3	3	2	3	1	1	1	1	3	1
4	3	2	2	1	2	1	1	3	2

Anexo 9- Classificação e balanço dos resultados obtidos no 2º Ensaio Flotest de maio

Copo	TF	VF	QF	Temperatura	Turvação	pH	Condutividade	Alcalinidade	Alumínio total
1	1	3	2	1	1	1	1	1	1
2									
3	3	2	2	1	3	1	1	1	3
4	3	1	2	1	3	1	1	1	2

Anexo 10- Classificação Final no ensaio Flotest de maio



Anexo 11 - Valores registados de Turvação na água bruta da ETA de Alcantarilha

Data	Turvação (NTU)	Data	Turvação (NTU)
01/07/2021 08:48	1,8	22/07/2021 14:01	1,1
01/07/2021 14:30	1,1	23/07/2021 08:49	1,4
02/07/2021 09:00	2,5	23/07/2021 09:17	2,4
02/07/2021 09:30	2,6	23/07/2021 14:01	1,5
02/07/2021 14:02	1,5	26/07/2021 09:10	1,9
05/07/2021 12:10	0,1	26/07/2021 09:22	2,7
05/07/2021 15:40	3,5	26/07/2021 14:05	1,6
06/07/2021 08:50	1,6	27/07/2021 08:45	1,5
06/07/2021 14:25	1,5	27/07/2021 14:02	2,4
07/07/2021 08:55	1,3	28/07/2021 09:05	1,5
07/07/2021 09:20	1,9	28/07/2021 10:45	2,1
07/07/2021 14:02	1,3	28/07/2021 14:01	2
08/07/2021 08:53	1,4	29/07/2021 08:45	1,2
08/07/2021 14:45	1,9	29/07/2021 14:02	2,4
09/07/2021 08:50	1,4	30/07/2021 09:10	1,7
09/07/2021 09:32	2,8	30/07/2021 09:55	2,1
09/07/2021 14:02	1,6	30/07/2021 14:05	2,3
12/07/2021 09:15	1,2	02/08/2021 08:55	2
12/07/2021 09:32	2,2	02/08/2021 09:28	3
12/07/2021 14:02	1,4	02/08/2021 14:02	2,7
13/07/2021 08:51	1,7	03/08/2021 08:46	2,5
13/07/2021 14:02	1,4	03/08/2021 09:55	2,8
14/07/2021 08:44	1,4	03/08/2021 12:26	2,9
14/07/2021 09:10	2,5	03/08/2021 14:02	1,9
14/07/2021 14:10	2,1	03/08/2021 14:10	2,3
15/07/2021 08:50	1,5	03/08/2021 16:32	3,2
15/07/2021 14:01	1,3	04/08/2021 08:48	1,7
16/07/2021 08:59	1,4	04/08/2021 09:12	2,4
16/07/2021 09:18	2,2	04/08/2021 11:30	2,5
16/07/2021 14:02	1,7	04/08/2021 14:21	2,7
19/07/2021 09:10	2,1	04/08/2021 14:25	3
19/07/2021 09:25	2,4	04/08/2021 16:30	3
19/07/2021 14:01	2	05/08/2021 08:41	1,8
20/07/2021 08:50	1,5	05/08/2021 08:59	2,3
20/07/2021 14:01	2	05/08/2021 11:52	2,5
21/07/2021 08:46	1,2	05/08/2021 14:01	2,8
21/07/2021 09:23	2,6	05/08/2021 14:07	2,6
21/07/2021 14:03	2,4	05/08/2021 16:35	2,9
22/07/2021 08:49	1,3	06/08/2021 08:46	1,7

Data	Turvação (NTU)	Data	Turvação (NTU)
06/08/2021 14:01	7	30/08/2021 08:55	1,7
06/08/2021 14:07	2,3	30/08/2021 09:33	2
06/08/2021 16:30	2,8	30/08/2021 14:00	1,6
09/08/2021 09:00	2,3	31/08/2021 08:40	3,9
09/08/2021 10:35	2,8	31/08/2021 14:02	1,5
09/08/2021 14:02	2,4	01/09/2021 08:44	2,2
10/08/2021 08:51	3,1	01/09/2021 09:30	2,1
10/08/2021 14:05	3,1	01/09/2021 14:02	2,1
11/08/2021 08:46	6	02/09/2021 08:55	1,6
11/08/2021 09:25	2,3	02/09/2021 09:22	2,1
11/08/2021 14:05	2,5	02/09/2021 13:55	2,5
12/08/2021 08:47	1,4	06/09/2021 09:55	1,9
12/08/2021 13:56	2,7	06/09/2021 10:21	2,8
13/08/2021 08:43	2	06/09/2021 14:04	2
13/08/2021 09:18	2,7	07/09/2021 08:42	1,1
13/08/2021 13:55	2,8	07/09/2021 14:04	1,6
16/08/2021 09:12	2,4	08/09/2021 09:06	2
16/08/2021 09:15	2,1	08/09/2021 09:06	2,2
16/08/2021 13:50	2,6	08/09/2021 15:02	1,9
17/08/2021 10:40	1,7	09/09/2021 08:52	1,3
17/08/2021 13:57	1,6	09/09/2021 14:03	1,4
18/08/2021 08:39	1,3	10/09/2021 08:45	1,2
18/08/2021 09:33	2,5	10/09/2021 09:11	2,3
18/08/2021 14:04	2,3	10/09/2021 14:01	1,7
19/08/2021 08:44	2,4	13/09/2021 09:00	1,3
19/08/2021 14:10	2,6	13/09/2021 09:22	2
20/08/2021 08:49	1,7	13/09/2021 14:01	1,2
20/08/2021 09:10	2,5	14/09/2021 08:45	1,2
20/08/2021 14:04	2,2	14/09/2021 14:02	1,4
23/08/2021 09:07	2,1	15/09/2021 08:52	1,1
23/08/2021 09:37	2,1	15/09/2021 09:32	1,9
23/08/2021 13:57	2,2	15/09/2021 14:02	3,2
24/08/2021 08:46	2,3	16/09/2021 09:36	1
24/08/2021 13:58	1,8	16/09/2021 14:02	1,4
25/08/2021 08:52	2,8	17/09/2021 08:40	1,2
25/08/2021 09:13	2,3	17/09/2021 09:26	1,8
25/08/2021 14:01	2,3	17/09/2021 14:01	3
26/08/2021 08:44	1,4	20/09/2021 09:15	1,3
26/08/2021 14:02	2,3	20/09/2021 09:26	2,3
27/08/2021 08:50	2	20/09/2021 14:02	3,8
27/08/2021 09:12	2,3	21/09/2021 08:49	1,5
27/08/2021 13:50	2,2	21/09/2021 14:01	1,6

Data	Turvação (NTU)	Data	Turvação (NTU)
22/09/2021 08:50	2,1	15/10/2021 08:47	1,2
22/09/2021 09:36	2	15/10/2021 09:30	1,7
22/09/2021 14:02	1,4	15/10/2021 14:01	1,2
23/09/2021 08:42	1,3	18/10/2021 09:40	1,3
23/09/2021 14:02	1,3	18/10/2021 09:42	2
24/09/2021 11:10	1,3	18/10/2021 14:01	1,4
24/09/2021 11:15	1,7	19/10/2021 11:36	1,2
24/09/2021 14:01	1,2	19/10/2021 14:16	1,1
27/09/2021 09:05	1	20/10/2021 09:06	1,1
27/09/2021 09:10	1,6	20/10/2021 09:20	1,3
27/09/2021 14:01	1,1	20/10/2021 14:01	1,2
28/09/2021 08:45	1,2	21/10/2021 08:50	1
28/09/2021 14:01	1,3	21/10/2021 14:01	0,86
29/09/2021 09:26	1,7	22/10/2021 08:53	1,2
29/09/2021 14:02	1,4	22/10/2021 09:07	1,4
30/09/2021 08:52	1,8	22/10/2021 14:02	1,3
30/09/2021 13:56	1,5	25/10/2021 09:09	1,3
01/10/2021 08:55	1,6	25/10/2021 09:25	1,4
01/10/2021 09:10	2,6	25/10/2021 14:01	1,4
01/10/2021 14:02	1,5	26/10/2021 09:10	1
04/10/2021 09:06	2,1	26/10/2021 14:01	1
04/10/2021 09:35	1,1	27/10/2021 08:55	1,3
04/10/2021 14:12	0,93	27/10/2021 09:25	1,3
06/10/2021 09:05	1	27/10/2021 14:07	1,4
06/10/2021 09:31	1,7	28/10/2021 08:44	1,3
06/10/2021 14:01	1	28/10/2021 14:02	0,99
07/10/2021 08:53	1,1	29/10/2021 08:50	1,5
07/10/2021 14:01	1,2	29/10/2021 09:44	1,2
08/10/2021 08:55	1,3	29/10/2021 13:55	1,2
08/10/2021 09:10	1,9	02/11/2021 09:25	1,6
08/10/2021 14:01	1,3	02/11/2021 12:10	1,4
11/10/2021 09:14	1,9	02/11/2021 14:00	1,3
11/10/2021 09:20	1,5	03/11/2021 08:52	1,2
11/10/2021 14:01	1,4	03/11/2021 09:26	1,3
12/10/2021 08:55	1,4	03/11/2021 14:01	1
12/10/2021 14:01	1,3	04/11/2021 08:48	1,3
13/10/2021 08:50	1,2	04/11/2021 16:01	1,6
13/10/2021 09:30	1,8	05/11/2021 08:52	0,94
13/10/2021 14:01	1,3	05/11/2021 09:16	1,2
14/10/2021 08:40	1,2	05/11/2021 14:14	1,1
14/10/2021 14:01	1,2		

Data	Turvação (NTU)	Data	Turvação (NTU)
08/11/2021 14:00	1	15/12/2021 09:05	1,3
09/11/2021 08:38	1,1	17/12/2021 08:40	0,92
09/11/2021 16:00	2,8	17/12/2021 09:40	1,2
10/11/2021 08:46	0,92	20/12/2021 09:05	0,92
10/11/2021 08:57	1,2	20/12/2021 10:20	1,1
10/11/2021 14:01	0,91	22/12/2021 09:05	0,72
11/11/2021 08:44	1	22/12/2021 09:32	1,1
11/11/2021 14:01	0,93	23/12/2021 08:48	0,9
12/11/2021 08:59	0,89	23/12/2021 09:10	1,2
12/11/2021 09:02	1,4	27/12/2021 09:00	1,2
12/11/2021 13:51	0,96	27/12/2021 09:31	1,7
15/11/2021 09:06	1,2	29/12/2021 08:49	1,1
15/11/2021 09:10	0,91	29/12/2021 09:22	1,6
15/11/2021 14:02	0,94	30/12/2021 08:56	1,1
16/11/2021 08:41	1,1	30/12/2021 09:22	1,5
16/11/2021 14:09	1	03/01/2022 09:20	1
17/11/2021 08:58	0,98	03/01/2022 10:15	1,4
17/11/2021 09:18	1,2	05/01/2022 08:57	0,89
17/11/2021 14:01	0,99	05/01/2022 10:03	1,2
19/11/2021 08:52	1,2	07/01/2022 09:02	1,2
19/11/2021 09:00	0,98	07/01/2022 09:26	1,2
22/11/2021 09:20	0,85	10/01/2022 09:30	0,8
22/11/2021 09:38	1,2	10/01/2022 10:07	1,2
24/11/2021 09:08	1,4	10/01/2022 12:02	0,88
24/11/2021 09:10	0,97	10/01/2022 14:03	0,76
26/11/2021 09:11	0,94	10/01/2022 16:10	1
26/11/2021 10:00	1,3	11/01/2022 14:10	0,82
29/11/2021 09:15	0,99	11/01/2022 16:12	0,83
29/11/2021 10:03	1,3	12/01/2022 08:37	0,68
30/11/2021 09:01	1	12/01/2022 09:12	0,99
30/11/2021 09:20	1,4	12/01/2022 12:00	0,72
03/12/2021 08:46	1,1	12/01/2022 14:18	0,71
03/12/2021 09:15	1,3	12/01/2022 16:03	0,82
06/12/2021 09:15	1,3	13/01/2022 12:03	0,77
06/12/2021 09:25	0,95	13/01/2022 14:02	0,74
07/12/2021 08:38	1,1	13/01/2022 16:03	0,7
07/12/2021 09:45	1,3	14/01/2022 08:38	0,79
10/12/2021 09:11	0,86	14/01/2022 09:27	0,85
10/12/2021 09:45	1,2	14/01/2022 12:03	0,74
13/12/2021 09:05	0,93	14/01/2022 13:55	0,7
13/12/2021 09:15	1,3	14/01/2022 16:03	0,48
15/12/2021 08:50	1	17/01/2022 09:00	0,79

Data	Turvação (NTU)	Data	Turvação (NTU)
17/01/2022 10:47	0,1	15/02/2022 14:00	0,69
17/01/2022 12:05	1,7	16/02/2022 08:50	0,82
17/01/2022 14:20	0,81	16/02/2022 09:05	1
17/01/2022 16:02	0,92	16/02/2022 13:48	1
18/01/2022 12:05	1	17/02/2022 13:57	0,87
18/01/2022 14:00	0,83	18/02/2022 08:40	0,76
18/01/2022 16:00	0,45	18/02/2022 09:01	0,9
19/01/2022 09:30	0,62	21/02/2022 09:00	0,95
19/01/2022 12:07	0,6	21/02/2022 09:00	1,1
19/01/2022 14:00	0,59	21/02/2022 13:57	0,93
19/01/2022 16:01	0,63	22/02/2022 14:00	0,93
20/01/2022 12:00	0,72	23/02/2022 08:55	0,94
20/01/2022 13:47	0,77	23/02/2022 09:14	1,1
20/01/2022 16:00	0,69	23/02/2022 13:47	0,97
21/01/2022 08:53	0,85	25/02/2022 08:45	0,83
21/01/2022 09:04	0,94	25/02/2022 09:12	0,73
24/01/2022 09:06	0,97	28/02/2022 09:00	0,83
24/01/2022 09:15	0,66	28/02/2022 09:15	0,96
26/01/2022 08:42	0,62	02/03/2022 08:45	0,74
26/01/2022 09:15	0,76	02/03/2022 09:12	0,92
28/01/2022 08:33	0,64	04/03/2022 08:59	0,83
28/01/2022 09:01	1	04/03/2022 09:26	0,68
31/01/2022 09:23	0,72	07/03/2022 09:30	0,78
31/01/2022 09:25	0,74	07/03/2022 09:32	0,9
02/02/2022 09:00	0,75	10/03/2022 08:47	0,71
02/02/2022 09:07	1	10/03/2022 09:00	0,98
04/02/2022 08:46	0,81	11/03/2022 08:48	0,87
04/02/2022 09:32	1,1	11/03/2022 08:54	1,1
07/02/2022 09:15	0,74	14/03/2022 09:00	0,76
07/02/2022 09:30	0,95	14/03/2022 09:10	2,1
08/02/2022 13:57	0,52	16/03/2022 08:45	0,6
09/02/2022 09:11	1	16/03/2022 08:57	1,5
09/02/2022 09:14	0,83	18/03/2022 08:40	0,71
09/02/2022 13:49	0,71	18/03/2022 09:18	0,8
10/02/2022 13:53	0,72	21/03/2022 09:00	0,67
11/02/2022 08:45	0,79	21/03/2022 10:00	1,3
11/02/2022 13:43	0,71	23/03/2022 09:00	0,64
14/02/2022 09:00	0,59	23/03/2022 10:04	2,6
14/02/2022 09:03	0,7	25/03/2022 08:45	0,67
14/02/2022 14:03	0,54	28/03/2022 08:55	1,8
		28/03/2022 09:00	0,58

Anexo 12 - Valores registados de Dureza Total na
água bruta da ETA de Alcantarilha

Data	Dureza Total (mg CaCO ³ /L)
05/07/2021 10:15	97
02/08/2021 08:55	94
04/10/2021 09:35	87
02/11/2021 09:25	93
17/01/2022 09:00	101
14/02/2022 09:00	100
07/03/2022 09:30	99

Anexo 13 -Valores registados de pH na água bruta
da ETA de Alcantarilha

Data	pH	Data	pH
05/07/2021 10:15	7,5	15/11/2021 09:10	7,5
05/07/2021 12:05	7,6	22/11/2021 09:20	7,7
12/07/2021 09:15	7,5	22/11/2021 09:38	7,9
12/07/2021 09:32	7,5	29/11/2021 09:15	7,6
19/07/2021 09:10	7,6	29/11/2021 10:03	7,7
19/07/2021 09:25	7,7	06/12/2021 09:15	7,7
26/07/2021 09:10	7,6	06/12/2021 09:25	7,6
26/07/2021 09:22	7,8	13/12/2021 09:05	7,5
02/08/2021 08:55	7,7	13/12/2021 09:15	7,7
02/08/2021 09:28	7,8	20/12/2021 09:05	7,6
09/08/2021 09:00	7,7	20/12/2021 10:20	7,6
09/08/2021 10:35	8	27/12/2021 09:00	7,5
16/08/2021 09:12	7,9	27/12/2021 09:31	7,5
16/08/2021 09:15	7,6	03/01/2022 09:20	7,6
23/08/2021 09:07	7,7	03/01/2022 10:15	7,7
23/08/2021 09:37	8	10/01/2022 09:30	7,6
30/08/2021 08:55	7,7	10/01/2022 10:07	7,7
30/08/2021 09:33	8	10/01/2022 12:02	7,6
06/09/2021 09:55	7,7	10/01/2022 14:03	7,6
06/09/2021 10:21	7,9	10/01/2022 16:10	7,6
13/09/2021 09:00	7,6	11/01/2022 14:10	7,6
13/09/2021 09:22	7,9	11/01/2022 16:12	7,6
20/09/2021 09:15	7,7	12/01/2022 12:00	7,6
20/09/2021 09:26	7,9	-	-
27/09/2021 09:05	7,7	12/01/2022 16:03	7,6
27/09/2021 09:10	7,9	13/01/2022 12:03	7,6
04/10/2021 09:06	7,8	13/01/2022 14:02	7,6
04/10/2021 09:35	7,8	13/01/2022 16:03	7,6
11/10/2021 09:14	8	14/01/2022 12:03	7,6
11/10/2021 09:20	7,7	14/01/2022 13:55	7,6
18/10/2021 09:40	7,8	14/01/2022 16:03	7,6
18/10/2021 09:42	8	17/01/2022 09:00	7,6
25/10/2021 09:09	7,9	17/01/2022 10:53	7,6
25/10/2021 09:25	7,6	-	-
02/11/2021 09:25	7	17/01/2022 14:20	7,6
02/11/2021 12:10	7	-	-
08/11/2021 09:14	7,8	18/01/2022 12:05	7,6
08/11/2021 09:15	7,5	18/01/2022 14:00	7,6
15/11/2021 09:06	7,8	18/01/2022 16:00	7,6
		19/01/2022 12:07	7,5
		-	-
		19/01/2022 16:01	7,5

Data	pH
20/01/2022 12:00	7,5
20/01/2022 13:47	7,5
20/01/2022 16:00	7,5
24/01/2022 09:06	7,5
24/01/2022 09:15	7,5
31/01/2022 09:23	7,5
31/01/2022 09:25	7,5
07/02/2022 09:15	7,5
07/02/2022 09:30	7,5
08/02/2022 13:57	7,5
09/02/2022 13:49	7,5
10/02/2022 13:53	7,5
11/02/2022 13:43	7,5
14/02/2022 09:00	7,5
14/02/2022 09:03	7,5
14/02/2022 14:03	7,4
15/02/2022 14:00	7,5
16/02/2022 13:48	7,5
17/02/2022 13:57	7,5
18/02/2022 14:02	7,6
21/02/2022 09:00	7,6
-	-
21/02/2022 13:57	7,6
22/02/2022 14:00	7,6
23/02/2022 13:47	7,6
28/02/2022 09:00	7,6
28/02/2022 09:15	7,7
07/03/2022 09:30	7,7
07/03/2022 09:32	7,7
14/03/2022 09:00	7,6
14/03/2022 09:10	7,8
21/03/2022 09:00	7,6
21/03/2022 10:00	7,9
28/03/2022 08:55	7,8
28/03/2022 09:00	7,6

Anexo 14 - Valores registados de Alumínio na água
bruta da ETA de Alcantarilha

Data	Alumínio (µg Al/ L)	Data	Alumínio (µg Al/ L)
01/07/2021 08:48	200	28/07/2021 09:05	230
01/07/2021 14:30	170	28/07/2021 14:01	220
02/07/2021 09:00	130	29/07/2021 08:45	230
02/07/2021 14:02	120	29/07/2021 14:02	230
05/07/2021 10:15	290	30/07/2021 09:10	200
05/07/2021 15:40	400	30/07/2021 14:05	200
06/07/2021 08:50	140	02/08/2021 08:55	270
06/07/2021 14:25	170	02/08/2021 14:02	400
07/07/2021 08:55	160	03/08/2021 08:46	150
07/07/2021 14:02	270	03/08/2021 14:02	310
08/07/2021 08:53	140	04/08/2021 08:48	220
08/07/2021 14:45	210	04/08/2021 14:21	210
09/07/2021 08:50	140	05/08/2021 08:41	600
09/07/2021 14:02	200	05/08/2021 14:01	220
12/07/2021 09:15	120	06/08/2021 08:46	190
12/07/2021 14:02	170	06/08/2021 14:01	190
13/07/2021 08:51	140	09/08/2021 09:00	190
13/07/2021 14:02	160	09/08/2021 14:02	280
14/07/2021 08:44	200	10/08/2021 08:51	230
14/07/2021 14:10	80	10/08/2021 14:05	240
15/07/2021 08:50	140	11/08/2021 08:46	500
15/07/2021 14:01	140	11/08/2021 14:05	150
16/07/2021 08:59	230	12/08/2021 08:47	140
16/07/2021 14:02	250	12/08/2021 13:56	400
19/07/2021 09:10	160	13/08/2021 08:43	240
19/07/2021 14:01	210	13/08/2021 13:55	130
20/07/2021 08:50	300	16/08/2021 09:15	150
20/07/2021 14:01	300	16/08/2021 13:50	260
21/07/2021 08:46	130	17/08/2021 10:40	120
21/07/2021 14:03	180	17/08/2021 13:57	150
22/07/2021 08:49	160	18/08/2021 08:39	190
23/07/2021 08:49	240	18/08/2021 14:04	260
26/07/2021 09:10	230	19/08/2021 08:44	240
26/07/2021 14:05	230	19/08/2021 14:10	220
27/07/2021 08:45	210	20/08/2021 08:49	220
-	-	20/08/2021 14:04	180
27/07/2021 14:02	180	23/08/2021 13:57	340
		24/08/2021 08:46	240
		24/08/2021 13:58	310
		25/08/2021 08:52	320
		25/08/2021 14:01	220

Data	Alumínio (µg Al/ L)	Data	Alumínio (µg Al/ L)
26/08/2021 08:44	200	27/09/2021 09:05	140
26/08/2021 14:02	290	27/09/2021 14:01	180
27/08/2021 08:50	190	28/09/2021 08:45	150
27/08/2021 13:50	260	28/09/2021 14:01	180
30/08/2021 08:55	250	29/09/2021 09:34	210
30/08/2021 14:00	240	29/09/2021 14:02	160
31/08/2021 08:40	220	30/09/2021 08:52	190
31/08/2021 14:02	400	30/09/2021 13:56	150
01/09/2021 08:44	400	01/10/2021 08:55	190
01/09/2021 14:02	270	01/10/2021 14:02	70
02/09/2021 08:55	270	04/10/2021 09:35	150
02/09/2021 13:55	280	04/10/2021 14:12	130
06/09/2021 09:55	270	06/10/2021 09:05	80
06/09/2021 14:04	310	06/10/2021 14:01	70
07/09/2021 08:42	500	07/10/2021 08:53	130
07/09/2021 14:04	260	07/10/2021 14:01	190
08/09/2021 09:06	300	08/10/2021 08:55	210
08/09/2021 15:02	160	08/10/2021 14:01	230
09/09/2021 08:52	210	11/10/2021 09:20	190
09/09/2021 14:03	210	11/10/2021 14:01	140
10/09/2021 08:45	300	12/10/2021 08:55	160
10/09/2021 14:01	250	12/10/2021 14:01	120
13/09/2021 09:00	270	13/10/2021 08:50	160
13/09/2021 14:01	330	13/10/2021 14:01	250
14/09/2021 08:45	190	14/10/2021 08:40	220
14/09/2021 14:02	170	14/10/2021 14:01	240
15/09/2021 08:52	130	15/10/2021 08:47	170
15/09/2021 14:02	140	15/10/2021 14:01	280
16/09/2021 09:36	150	18/10/2021 09:40	210
16/09/2021 14:02	400	18/10/2021 14:01	220
17/09/2021 08:40	220	19/10/2021 11:36	190
17/09/2021 14:01	400	19/10/2021 14:16	150
20/09/2021 09:15	290	20/10/2021 09:06	160
20/09/2021 14:02	210	20/10/2021 14:01	210
21/09/2021 08:49	180	21/10/2021 08:50	220
21/09/2021 14:01	220	21/10/2021 14:01	150
22/09/2021 08:50	290	22/10/2021 08:53	210
22/09/2021 14:02	200	22/10/2021 14:02	250
23/09/2021 08:42	230	25/10/2021 09:25	170
23/09/2021 14:02	150	25/10/2021 14:01	180
24/09/2021 11:10	260	26/10/2021 09:10	400
24/09/2021 14:01	190	26/10/2021 14:01	190

Data	Alumínio (µg Al/ L)	Data	Alumínio (µg Al/ L)
27/10/2021 08:55	210	30/11/2021 14:01	-
27/10/2021 14:07	400	01/12/2021 14:01	-
28/10/2021 08:44	40	02/12/2021 14:01	-
28/10/2021 14:02	150	03/12/2021 14:01	-
29/10/2021 08:50	500	04/12/2021 14:01	-
02/11/2021 09:25	180	05/12/2021 14:01	-
02/11/2021 14:00	250	06/12/2021 14:01	-
03/11/2021 08:52	250	07/12/2021 14:01	-
03/11/2021 14:01	200	08/12/2021 14:01	-
04/11/2021 08:48	210	09/12/2021 14:01	-
04/11/2021 16:01	210	10/12/2021 14:01	-
05/11/2021 08:52	150	11/12/2021 14:01	-
05/11/2021 14:14	210	12/12/2021 14:01	-
08/11/2021 09:15	130	13/12/2021 14:01	-
08/11/2021 14:00	140	14/12/2021 14:01	-
09/11/2021 08:38	160	15/12/2021 14:01	-
09/11/2021 16:00	400	16/12/2021 14:01	-
10/11/2021 08:46	130	17/12/2021 14:01	-
10/11/2021 14:01	90	18/12/2021 14:01	-
11/11/2021 08:44	90	19/12/2021 14:01	-
12/11/2021 13:51	100	20/12/2021 14:01	-
15/11/2021 09:10	240	21/12/2021 14:01	-
15/11/2021 14:02	90	22/12/2021 14:01	-
16/11/2021 08:41	100	23/12/2021 14:01	-
16/11/2021 14:09	100	24/12/2021 14:01	-
17/11/2021 08:58	150	25/12/2021 14:01	-
17/11/2021 14:01	130	26/12/2021 14:01	-
18/11/2021 14:01	-	27/12/2021 14:01	-
19/11/2021 14:01	-	28/12/2021 14:01	-
20/11/2021 14:01	-	29/12/2021 14:01	-
21/11/2021 14:01	-	30/12/2021 14:01	-
22/11/2021 14:01	-	31/12/2021 14:01	-
23/11/2021 14:01	-	01/01/2022 14:01	-
24/11/2021 14:01	-	02/01/2022 14:01	-
25/11/2021 14:01	-	03/01/2022 14:01	-
26/11/2021 14:01	-	04/01/2022 14:01	-
27/11/2021 14:01	-	05/01/2022 14:01	-
28/11/2021 14:01	-	06/01/2022 14:01	-
29/11/2021 14:01	-	07/01/2022 14:01	-
-	-	08/01/2022 14:01	-
		09/01/2022 14:01	-

Data	Alumínio (µg Al/ L)	Data	Alumínio (µg Al/ L)
10/01/2022 14:03	120	06/02/2022 16:00	-
10/01/2022 16:10	250	07/02/2022 16:00	-
11/01/2022 14:10	110	08/02/2022 13:57	40
11/01/2022 16:12	190	09/02/2022 13:49	70
12/01/2022 12:00	200	10/02/2022 13:53	50
12/01/2022 14:18	140	11/02/2022 13:43	140
12/01/2022 16:03	150	14/02/2022 14:03	70
13/01/2022 12:03	140	15/02/2022 14:00	150
13/01/2022 14:02	130	16/02/2022 13:48	70
13/01/2022 16:03	100	17/02/2022 13:57	60
14/01/2022 12:03	140	18/02/2022 14:02	60
14/01/2022 13:55	170	21/02/2022 13:57	150
14/01/2022 16:03	90	22/02/2022 14:00	80
17/01/2022 12:05	500	23/02/2022 13:47	60
17/01/2022 14:20	230		
17/01/2022 16:02	200		
18/01/2022 12:05	210		
18/01/2022 14:00	130		
18/01/2022 16:00	40		
19/01/2022 12:07	80		
19/01/2022 14:00	80		
19/01/2022 16:01	70		
20/01/2022 12:00	150		
20/01/2022 13:47	90		
20/01/2022 16:00	90		
21/01/2022 16:00	-		
22/01/2022 16:00	-		
23/01/2022 16:00	-		
24/01/2022 16:00	-		
25/01/2022 16:00	-		
26/01/2022 16:00	-		
27/01/2022 16:00	-		
28/01/2022 16:00	-		
29/01/2022 16:00	-		
30/01/2022 16:00	-		
31/01/2022 16:00	-		
01/02/2022 16:00	-		
02/02/2022 16:00	-		
03/02/2022 16:00	-		
04/02/2022 16:00	-		
05/02/2022 16:00	-		
06/02/2022 16:00	-		

Anexo 15 - Valores registados de COT na água bruta
da ETA de Alcantarilha

Data	COT (mg C/L)
20/06/2022 09:30	1,9
31/01/2022 09:25	2
13/06/2022 08:43	2
07/02/2022 09:15	2,1
03/01/2022 09:20	2,2
07/03/2022 09:30	2,2
14/03/2022 09:00	2,2
21/03/2022 09:00	2,2
04/04/2022 09:00	2,2
11/04/2022 08:50	2,2
30/05/2022 09:15	2,2
08/11/2021 09:15	2,26
13/12/2021 09:05	2,3
10/01/2022 09:30	2,3
28/03/2022 09:00	2,3
18/04/2022 09:05	2,3
14/02/2022 09:00	2,4
21/02/2022 09:00	2,4
28/02/2022 09:00	2,4
02/05/2022 08:45	2,4
09/05/2022 09:15	2,4
16/05/2022 09:20	2,4
06/06/2022 08:50	2,4
27/06/2022 09:05	2,4
04/10/2021 09:35	2,5
17/01/2022 09:00	2,5
24/01/2022 09:15	2,5
26/07/2021 09:10	2,6
11/10/2021 09:20	2,6
06/12/2021 09:25	2,6
20/12/2021 09:05	2,6
26/04/2022 09:15	2,6
23/05/2022 09:00	2,6
27/09/2021 09:05	2,7
18/10/2021 09:40	2,7
29/11/2021 09:15	2,7
13/09/2021 09:00	2,8
20/09/2021 09:15	2,8

Data	COT (mg C/L)
25/10/2021 09:25	2,8
02/11/2021 09:25	2,82
22/11/2021 09:20	2,87
02/08/2021 08:55	2,9
30/08/2021 08:55	3
06/09/2021 09:55	3
09/08/2021 09:00	3,1
16/08/2021 09:15	3,1
23/08/2021 09:07	3,1
05/07/2021 10:15	3,18
12/07/2021 09:15	3,2
19/07/2021 09:10	3,3
15/11/2021 09:10	3,41

Anexo 16 - Valores registados de Ferro Total na
 água bruta da ETA de Alcantarilha

Data	Ferro total ($\mu\text{g Fe/L}$)	Data	Ferro total ($\mu\text{g Fe/L}$)
01/07/2021 08:48	54	24/08/2021 08:46	60
02/07/2021 09:00	55	25/08/2021 08:52	90
05/07/2021 10:15	100	26/08/2021 08:44	54
06/07/2021 08:50	55	27/08/2021 08:50	44
07/07/2021 08:55	47	30/08/2021 08:55	48
08/07/2021 08:53	51	31/08/2021 08:40	52
09/07/2021 08:50	47	01/09/2021 08:44	90
12/07/2021 09:15	43	02/09/2021 08:55	70
13/07/2021 08:51	45	06/09/2021 09:55	60
14/07/2021 08:44	80	07/09/2021 08:42	120
15/07/2021 08:50	60	08/09/2021 09:06	60
16/07/2021 08:59	80	09/09/2021 08:52	43
19/07/2021 09:10	70	10/09/2021 08:45	130
20/07/2021 08:50	50	13/09/2021 09:00	52
21/07/2021 08:46	50	14/09/2021 08:45	44
22/07/2021 08:49	43	15/09/2021 08:52	35
23/07/2021 08:49	60	16/09/2021 09:36	38
26/07/2021 09:10	70	17/09/2021 08:40	54
27/07/2021 08:45	54	20/09/2021 09:15	90
28/07/2021 09:05	60	21/09/2021 08:49	42
29/07/2021 08:45	80	22/09/2021 08:50	60
30/07/2021 09:10	70	23/09/2021 08:42	50
02/08/2021 08:55	80	24/09/2021 11:10	60
03/08/2021 08:46	60	27/09/2021 09:05	37
04/08/2021 08:48	51	28/09/2021 08:45	43
05/08/2021 08:41	200	29/09/2021 09:34	44
06/08/2021 08:46	70	30/09/2021 08:52	49
09/08/2021 09:00	70	01/10/2021 08:55	45
10/08/2021 08:51	150	04/10/2021 09:35	34
11/08/2021 08:46	200	06/10/2021 09:05	37
12/08/2021 08:47	51	07/10/2021 08:53	37
13/08/2021 08:43	100	08/10/2021 08:55	43
16/08/2021 09:15	50	11/10/2021 09:20	48
17/08/2021 10:40	39	12/10/2021 08:55	42
18/08/2021 08:39	60	13/10/2021 08:50	44
19/08/2021 08:44	80	14/10/2021 08:40	35
20/08/2021 08:49	80	15/10/2021 08:47	32
23/08/2021 09:07	70	18/10/2021 09:40	41
		19/10/2021 11:36	37
		20/10/2021 09:06	30
		21/10/2021 08:50	30

Data	Ferro total ($\mu\text{g Fe/L}$)
22/10/2021 08:53	37
25/10/2021 09:25	30
26/10/2021 09:10	70
27/10/2021 08:55	39
28/10/2021 08:44	37
29/10/2021 08:50	30
02/11/2021 09:25	33
03/11/2021 08:52	33
04/11/2021 08:48	30
05/11/2021 08:52	30
08/11/2021 09:15	30
09/11/2021 08:38	30
10/11/2021 08:46	30
11/11/2021 08:44	30
12/11/2021 08:59	30
15/11/2021 09:10	41
16/11/2021 08:41	30
17/11/2021 08:58	30

Anexo 17 - Valores registados de Manganês Total
na água bruta da ETA de Alcantarilha

Data	Manganês total (µg Mn/L)	Data	Manganês total (µg Mn/L)
01/07/2021 08:48	31	16/08/2021 09:12	90
02/07/2021 09:00	26	16/08/2021 09:15	24
05/07/2021 10:15	80	17/08/2021 10:40	17
05/07/2021 12:05	45	18/08/2021 08:39	32
06/07/2021 08:50	33	19/08/2021 08:44	60
07/07/2021 08:55	23	20/08/2021 08:49	53
08/07/2021 08:53	20	23/08/2021 09:07	53
09/07/2021 08:50	21	23/08/2021 09:37	30
12/07/2021 09:15	21	24/08/2021 08:46	35
12/07/2021 09:32	49	25/08/2021 08:52	60
13/07/2021 08:51	23	26/08/2021 08:44	30
14/07/2021 08:44	56	27/08/2021 08:50	21
15/07/2021 08:50	34	30/08/2021 08:55	30
16/07/2021 08:59	51	30/08/2021 09:33	29
19/07/2021 09:10	45	31/08/2021 08:40	27
19/07/2021 09:25	80	01/09/2021 08:44	52
20/07/2021 08:50	32	02/09/2021 08:55	40
21/07/2021 08:46	27	06/09/2021 09:55	37
22/07/2021 08:49	22	06/09/2021 10:21	35
23/07/2021 08:49	44	07/09/2021 08:42	80
26/07/2021 09:10	49	08/09/2021 09:06	31
26/07/2021 09:22	46	09/09/2021 08:52	19
27/07/2021 08:45	32	10/09/2021 08:45	19
28/07/2021 09:05	41	13/09/2021 09:00	28
29/07/2021 08:45	53	13/09/2021 09:22	24
30/07/2021 09:10	44	14/09/2021 08:45	18
02/08/2021 08:55	70	15/09/2021 08:52	14
02/08/2021 09:28	33	16/09/2021 09:36	15
03/08/2021 08:46	49	17/09/2021 08:40	23
04/08/2021 08:48	37	20/09/2021 09:15	17
05/08/2021 08:41	110	20/09/2021 09:26	48
06/08/2021 08:46	52	21/09/2021 08:49	18
09/08/2021 09:00	40	22/09/2021 08:50	33
09/08/2021 10:35	41	23/09/2021 08:42	22
10/08/2021 08:51	36	24/09/2021 11:10	33
11/08/2021 08:46	230	27/09/2021 09:05	10
12/08/2021 08:47	28	27/09/2021 09:10	12
13/08/2021 08:43	70	28/09/2021 08:45	10
		29/09/2021 09:34	12
		30/09/2021 08:52	19
		01/10/2021 08:55	12
		04/10/2021 09:06	10

Data	Manganês total (µg Mn/L)
04/10/2021 09:35	10
06/10/2021 09:05	10
07/10/2021 08:53	10
08/10/2021 08:55	11
11/10/2021 09:14	10
11/10/2021 09:20	12
12/10/2021 08:55	13
13/10/2021 08:50	13
14/10/2021 08:40	11
15/10/2021 08:47	10
18/10/2021 09:40	12
18/10/2021 09:42	11
19/10/2021 11:36	10
20/10/2021 09:06	10
21/10/2021 08:50	10
22/10/2021 08:53	12
25/10/2021 09:09	11
25/10/2021 09:25	10
26/10/2021 09:10	30
27/10/2021 08:55	11
28/10/2021 08:44	14
29/10/2021 08:50	10
02/11/2021 09:25	11
02/11/2021 12:10	15
03/11/2021 08:52	19
04/11/2021 08:48	16
05/11/2021 08:52	14
08/11/2021 09:14	21
08/11/2021 09:15	13
09/11/2021 08:38	16
10/11/2021 08:46	15
11/11/2021 08:44	15
12/11/2021 08:59	11
15/11/2021 09:06	19
15/11/2021 09:10	19
16/11/2021 08:41	11

Anexo 18 - Valores registados de Bactérias
Coliformes na água bruta da ETA de Alcantarilha

Data	Bactérias Coliformes (N/100mL)
05/07/2021 10:15	84
12/07/2021 09:15	78
19/07/2021 09:10	77
26/07/2021 09:10	180
02/08/2021 08:55	150
09/08/2021 09:00	130
16/08/2021 09:15	220
23/08/2021 09:07	580
30/08/2021 08:55	290
06/09/2021 09:55	130
13/09/2021 09:00	340
20/09/2021 09:15	1400
27/09/2021 09:05	2400
04/10/2021 09:35	460
11/10/2021 09:20	550
18/10/2021 09:40	520
25/10/2021 09:25	330
02/11/2021 09:25	370
08/11/2021 09:15	390
15/11/2021 09:10	460
22/11/2021 09:20	140
29/11/2021 09:15	39
06/12/2021 09:25	44
13/12/2021 09:05	55
20/12/2021 09:05	79
27/12/2021 09:00	50
03/01/2022 09:20	72
10/01/2022 09:30	64
17/01/2022 09:00	19
24/01/2022 09:15	12
31/01/2022 09:25	6
07/02/2022 09:15	10
14/02/2022 09:00	23
21/02/2022 09:00	72
28/02/2022 09:00	340
07/03/2022 09:30	1700
14/03/2022 09:00	2400
21/03/2022 09:00	2900
28/03/2022 09:00	1700



20

o

A

22

A

T

