



# Avaliação do processo de tratamento da Estação de Tratamento de Água Residual da empresa H.B. Fuller Portugal Produtos Químicos, S.A.

ANA CLÁUDIA DIAS BARROS

julho de 2022



# Avaliação do processo de tratamento da Estação de Tratamento de Água Residual da empresa H.B. Fuller Portugal Produtos Químicos, S.A.

**ANA CLÁUDIA DIAS BARROS**

Junho de 2022

# Avaliação do processo de tratamento da Estação de Tratamento de Água Residual da empresa H.B. Fuller Portugal Produtos Químicos, S.A.



Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Biorrecursos

## **AUTOR**

Ana Cláudia Dias Barros

## **ORIENTAÇÃO**

ISEP: Eng. <sup>a</sup> Sónia Figueiredo

H.B. Fuller: Eng. <sup>a</sup> Bárbara Gonçalves

27 Junho de 2022

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente aos meus pais por todo o apoio prestado nestes últimos cinco anos e por nunca me deixarem desistir dos meus objetivos. O alcançar desta etapa não teria sido possível sem o vosso auxílio. Estarei eternamente grata.

Gostaria de agradecer às minhas amigas por todo o incentivo ao progresso deste trabalho e por todos os bons convívios e discussões.

Um especial agradecimento à Engenheira Sónia Figueiredo do Instituto Superior de Engenharia do Porto pela sua grande disponibilidade, orientação, dicas e ajuda.

Agradeço ao Laboratório de Tecnologia Química do Departamento de Engenharia Química a permissão de realização de ensaios que foram extremamente úteis e essenciais à realização deste trabalho.

Agradeço também às minhas orientadoras, Engenheiras Bárbara Gonçalves e Eduarda Silva, pela forma amiga, paciente e generosa com que sempre me ajudaram e por todos os conhecimentos transmitidos no decorrer deste estágio.

Um obrigada também à empresa H.B. Fuller por me ter recebido tão bem e ter permitido a realização deste estágio.

Por fim, à cidade do Porto e ao Instituto Politécnico do Porto pelo acolhimento e ao Instituto Superior de Engenharia do Porto por todos os bons momentos que lá passei e que certamente levarei para o resto da minha vida.

## Resumo

O presente trabalho tem como objetivo o estudo do processo de tratamento da estação de tratamento de águas residuais (ETAR) da empresa H.B. Fuller Portugal Produtos Químicos, S.A., construída em 1999. As colas produzidas na empresa foram sofrendo alterações e, conseqüentemente o efluente a tratar também mudou as suas características. Além disso, a empresa fabrica uma grande variedade de produtos. Este estudo começou por uma caracterização das águas residuais geradas ao longo das várias fases do processos de tratamento, tendo-se concluído que numa primeira abordagem deveria otimizar-se o tratamento primário.

Os parâmetros analisados no efluente da ETAR antes e após tratamento para avaliação da sua eficiência, incluem pH, condutividade, turvação, carência química de oxigénio (CQO), carbono orgânico total (COT), azoto total e ferro. Os últimos dois parâmetros foram selecionados devido aos resultados obtidos nas análises externas realizadas anteriormente que revelavam que estes se encontravam acima do valor limite de emissão.

Realizaram-se testes com sete coagulantes e quatro floculantes pelo método Jar-Test. O intuito foi avaliar se o conjunto coagulante/ floculante que se encontrava a ser utilizado pela empresa estava a ser aplicado nas melhores condições de dosagens e pH e também se existem opções de coagulante/ floculante que tratem a água residual de forma mais eficiente. O coagulante Kemira PAX 18 e o floculante Aquaprox MFA 9722 relevaram ser o conjunto com a relação de eficiência e custo (1,46 €/m<sup>3</sup>) mais adequada para se utilizar no tratamento da ETAR da empresa H.B. Fuller.

Comparativamente com o efluente industrial sem tratamento, o teor de carbono orgânico total foi removido em 68% e a turvação em 99,7%. O azoto diminuiu 37% após tratamento, mas mesmo assim continuava acima do VLE (90 mg/L) permitido pela licença de descarga da empresa no coletor Municipal, mas como se trata de um tratamento primário o efluente teria de continuar a ser tratado. Os resultados de ferro foram baixos (0,37 mg Fe/L) e o pH encontrava-se na gama de 5,5 a 9,5 prevista para a descarga de água residuais no Regulamento n.º 586/2010, de 7 de julho da Indaqua.

Realizaram-se testes em linha e os resultados foram uma boa separação e um sobrenadante límpido, como esperado. E, por causa do futuro aumento produtivo, testou-se também o conjunto coagulante/ floculante no efluente proveniente das colas base aquosa e os resultados foram positivos, sobrenadante límpido, flocos de tamanho médio e lama sedimentada. Assim sendo, concluiu-se que mesmo alterando a composição do efluente que chega à ETAR para tratamento, o Kemira PAX 18 e o Aquaprox MFA 9722 irão tratar o efluente de forma eficaz.

Ao longo deste trabalho encontraram-se algumas sugestões de melhoria para tornar o tratamento mais eficaz como a adição de um pré-tratamento constituído pelas etapas de gradagem, tamisagem e flutuação, um doseador de antiespuma automático e de uma solução de acerto de pH ácida. Dado que a produção de lamas no tratamento de água é inevitável, estudaram-se ainda os possíveis destinos para a gestão e valorização das mesmas. Sugere-se a sua incineração para produção de energia térmica.

Com o intuito de automatizar o processo de tratamento e adequar as técnicas disponíveis de tratamento pediu-se auxílio à empresa *VentilAQUA* que confirmou algumas das alterações sugeridas e adicionou mais algumas alterações ao longo do tratamento.

**Palavras-chave:** Coagulação-floculação; Estação de Tratamento de Águas Residuais; otimização; tratamento primário

## Abstract

The present work aims to study the treatment process of the wastewater treatment plant (WWTP) of the company H. B. Fuller, Portugal Produtos Químicos, S. A.. The WWTP remains practically unchanged since 1999, the year when it was built. Since then, the glues produced in the company have undergone changes and, consequently, the effluent to be treated has also changed its characteristics. The company manufactures a wide variety of products. This study began with a characterization of the wastewater generated throughout the various stages of the processes, having concluded that in a first approach the primary treatment should be optimized.

The parameters analysed in the WWTP effluent before and after treatment to evaluate their efficiency, include pH, conductivity, turbidity, chemical oxygen demand (COD), total organic carbon (TOC), total nitrogen, and iron. The last two parameters were selected in this work due to the results obtained in the previous analyses that revealed that they were above the emission limit value.

Tests were conducted with seven coagulants and four flocculants by the Jar-Test method. The purpose was to evaluate if the coagulant/flocculant set to be used in the company was being applied under the best dosage and pH conditions, and if there are coagulant/flocculant options that treat wastewater more efficiently. The coagulant Kemira PAX 18 and the flocculant Aquaprox MFA 9722 proved to be the most cost-effective (1,46 €/m<sup>3</sup>) combination to be used in the treatment of the H.B. Fuller WWTP.

Compared to the untreated industrial effluent, the total organic carbon content was removed by 68% and turbidity by 99.7%. Nitrogen, with the addition of the coagulant and flocculant, was reduced by 37% after treatment, but was still above the ELV (90 mg/L) allowed by the company's discharge into the municipal collector but since it is a primary treatment the effluent would have to be further treated. The results for iron were low (0.37 mg Fe/L) and the pH was in the range of 5.5 to 9.5 foreseen for the discharge of wastewater in Regulation no. 586/2010, of 7 July of Indaqua.

In-line tests were performed, and the results were a good separation and a clear supernatant, as expected. And, because of the future production increase, the coagulant/flocculant set was also tested in the effluent from the water-based glues and the results were positive, clear supernatant, medium-sized flakes and sedimented sludge. Therefore, it was concluded that even changing the composition of the effluent arriving at the WWTP to be treated, Kemira PAX 18 and Aquaprox MFA 9722 will effectively treat the effluent.

Throughout this work some suggestions for improvement were found to make the treatment more efficient such as the addition of a pre-treatment consisting of the stages of screening, sieving and flotation, an automatic antifoam dispenser and an acid pH adjustment solution. Since the production of slands in water treatment is inevitable, the possible destinations for their management and valorization were also studied. The application that should become the destination of the WWTP sludge is its incineration to produce thermal energy.

In order to automate the treatment process and adapt the available treatment techniques, the company asked *VentilAQUA* for help. They confirmed some of the suggested changes and added some more changes throughout the treatment.

**Keywords:** Coagulation-flocculation; Wastewater Treatment Plant; optimization; primary treatment

## Índice

Agradecimentos .....	1
Resumo .....	I
1 Introdução .....	1
1.1 Enquadramento .....	1
1.2 Tema e objetivos do estágio.....	2
1.3 Organização do relatório.....	2
2 Apresentação da empresa.....	3
2.1 Breve história da empresa.....	3
2.2 Descrição do processo produtivo .....	5
2.2.1 Unidade de produção de colas base solvente .....	5
2.2.2 Unidade de produção de colas termofusíveis ( <i>hot melt</i> ) .....	6
2.2.3 Unidade de produção de colas de base aquosa.....	7
2.2.4 Unidade de produção de polímeros.....	8
2.2.5 Unidade de enchimento <i>Small pack</i> .....	9
3 Estação de Tratamento de Águas Residuais.....	10
3.1 Descrição Geral do Tratamento .....	10
3.2 Estação de Tratamento de Água Residual da empresa H.B. Fuller.....	12
3.2.1 Origem das águas residuais.....	12
3.2.2 Fluxograma da ETAR .....	12
3.2.3 Descrição do processo de tratamento.....	14
3.3 Condições de operação.....	25
4 Descrição experimental.....	26
4.1 Caracterização da água residual.....	26
4.2 Otimização do tratamento primário .....	26
4.3. Parâmetros avaliados .....	30
5 Resultados e discussão .....	33
5.1 Caracterização da água residual .....	33
5.2 Testes de tratabilidade (Jar Test) .....	34
5.2.1 Kemira PAX 10.....	34
5.2.2 Kemira PAX 18.....	37
5.2.3 AQUAPROX MFC 1013 .....	39
5.2.4 AQUAPROX MFC 1024.....	41
5.2.5 AQUAPROX MFC 9993 .....	43
5.2.6 AQUAPROX MFC 9997 .....	45
5.2.7 Sulfato de alumínio .....	47
5.3 Resumo dos coagulantes e floculantes testados .....	49

5.4	Análise de custos das melhores alternativas de tratamento.....	49
5.5	Testes em linha de tratamento.....	51
6	Alterações processuais .....	52
7	Sugestão de melhorias no tratamento.....	55
7.1	Introdução de um pré-tratamento.....	55
7.1.1	Gradagem/Tamisagem .....	55
7.1.2	Flutuação.....	56
7.2	Automatizar a adição de antiespuma .....	56
7.3	Adição de uma solução ácida para acerto de pH.....	58
7.4	Valorização de lamas da ETAR .....	58
8	Proposta <i>VentilAQUA</i> .....	61
9	Conclusão.....	64
10	Referências bibliográficas.....	66
	Anexos .....	70
	Anexo A. Cálculos dos volumes de carga e descarga no processo de tratamento .....	70
	Anexo B. Procedimento detalhado dos ensaios Jar Test.....	71
	Anexo B.1. Determinação do volume mínimo de coagulante e otimização de pH.....	71
	Anexo B.2. Determinação da dosagem de coagulante.....	71
	Anexo B.3. Avaliação do efeito da adição de um adjuvante de floculação .....	71
	Anexo C. Fichas Técnicas.....	73
	Anexo C.1. Ficha técnica soda caústica.....	73
	Anexo C.2. Ficha técnica Aquaprox MFA 9722.....	74
	Anexo C.3. Ficha técnica Kemira PAX XL 10.....	75
	Anexo C.4. Ficha técnica sulfato de alumínio sólido.....	76
	Anexo C.5. Ficha técnica PAX 18 .....	77
	Anexo C.6. Ficha técnica Aquaprox MFC 1013.....	78
	Anexo C.7. Ficha técnica Aquaprox MFC 1024.....	79
	Anexo C.8. Ficha técnica Aquaprox MFC 9993.....	80
	Anexo C.9. Ficha técnica Aquaprox MFC 9997.....	81
	Anexo C.10. Ficha técnica Aquaepur 520A .....	82
	Anexo C.11. Ficha técnica Aquaepur 530A .....	83
	Anexo C.12. Ficha técnica Fomaster MO NDW .....	84
	Anexo C.13. Ficha técnica Superfloc Série A-150 .....	86
	Anexo D. Curvas de calibração.....	87
	Anexo D.1. Curva de calibração para a determinação do ferro .....	87
	Anexo D.2. Curva de calibração para a determinação do azoto total .....	88
	Anexo E. Proposta <i>VentilAQUA</i> .....	89

## Índice de Figuras

Figura 2.1. Diferentes localizações da H.B. Fuller. Rodeada a vermelho encontra-se a H.B. Fuller Portugal (H.B. Fuller, 2021). .....	3
Figura 2.2. H.B. Fuller Mindelo que se divide em Fuller South (do lado esquerdo) e Fuller North (do lado direito) (H.B. Fuller, 2021). .....	4
Figura 2.3. Processo de produção de colas de base solvente (H.B. Fuller, 2021).....	6
Figura 2.4. Processo de produção de colas hot melt (H.B. Fuller, 2021).....	7
Figura 2.5. Processo produtivo de colas de base aquosa (H.B. Fuller, 2021).....	7
Figura 2.6. Processo produtivo de polímeros (H.B. Fuller, 2021). .....	9
Figura 3.1. Fluxograma do processo de funcionamento da ETAR H.B. Fuller Mindelo.....	13
Figura 3.2. Figura representativa do processo de coagulação/ floculação. ....	14
Figura 3.3. Decantador primário (do lado direito) e espessador gravítico (do lado esquerdo). ....	16
Figura 3.4. Variantes do sistema de lamas ativadas.....	16
Figura 3.5. Tratamento biológico por SBR.....	19
Figura 3.6. Arejador tipo tornado.....	19
Figura 3.7. Estrutura do decantador lamelar, lamelas em pormenor e compartimento para o qual é encaminhado o efluente. ....	20
Figura 3.8. Decantador lamelar.....	21
Figura 3.9. Linha de tratamento terciário.....	22
Figura 3.10. Filtro prensa para o tratamento de lamas. ....	24
Figura 3.11. Aspeto das lamas depois de prensadas. ....	24
Figura 3.12. Volume de água residual tratada de 2008 a 2021. ....	25
Figura 4.1 Metodologia da utilização do método Jar Test. ....	26
Figura 4.2 Efluente industrial bruto .....	27
Figura 4.3 Equipamento Jar Test. ....	27
Figura 5.1. Resultados da remoção de COT, azoto total, CQO e turvação, em %, ao longo do processo de tratamento e de forma global.....	34
Figura 5.2 Resultados de carbono orgânico total e azoto total, ferro, turvação, pH e condutividade utilizando o coagulante Kemira PAX 10 para diferentes dosagens de floculante.....	36
Figura 5.3. Resultados de carbono orgânico total e azoto total, ferro, turvação, pH e condutividade utilizando o coagulante Kemira PAX 18 para diferentes dosagens de floculante.....	38
Figura 5.4. Resultados de carbono orgânico total e azoto total, ferro, turvação, pH e condutividade utilizando o coagulante Aquaprox MFC 1013 para diferentes dosagens de floculante. ....	40
Figura 5.5 Resultados de carbono orgânico total e azoto total, ferro, turvação, pH e condutividade utilizando o coagulante Aquaprox MFC 1024 para diferentes dosagens de floculante. ....	42
Figura 5.6. Resultados de carbono orgânico total e azoto total, ferro, turvação, pH e condutividade utilizando o coagulante Aquaprox MFC 9993 para diferentes dosagens de floculante. ....	44
Figura 5.7. Resultados de carbono orgânico total e azoto total, ferro, turvação, pH e condutividade utilizando o coagulante Aquaprox MFC 9997 para diferentes dosagens de floculante. ....	46
Figura 5.8. Resultados de carbono orgânico total e azoto total, ferro, turvação, pH e condutividade utilizando o coagulante sulfato de alumínio para diferentes dosagens de floculante.....	48
Figura 6.1. Sequência da realização do método Jar Test. ....	52

Figura 6.2. Resultados dos análises aos parâmetros de carbono orgânico total, azoto total, pH, condutividade e turvação. ....	53
Figura 7.1. Exemplo de uma grade e de um tamisador. ....	55
Figura 7.2. Exemplo da formação de espuma no tanque de carbonato de cálcio. ....	57
Figura 7.3. Passagem do efluente resultante da desidratação das lamas para o tanque SBR. ....	57
Figura 7.4. Purga do decantador lamelar para o tanque SBR. ....	58
Figura 7.5. Hierarquia da gestão de resíduos. ....	59
Figura 8.1. Esquema do reator dividido em dois compartimentos (VentilAQUA, 2022). ....	62
Figura 8.2. Exemplo de um descarregador flutuante VentillAQUA (VentilAQUA, 2022). ....	63

## Índice de Tabelas

Tabela 3.1. Etapas do processo de tratamento de uma ETAR e respetiva descrição (Cunha, 2014; Ada, 2021).....	10
Tabela 3.2. Tipos de coagulante e floculante e alguns exemplos (Verma, 2012).....	15
Tabela 3.3. Produtos adicionados no tratamento físico químico. ....	15
Tabela 3.4. Valores de parâmetros relativos ao regime de operação em alta, média e baixa carga (Interágua, 1999).....	18
Tabela 3.5. Produtos adicionados no tratamento terciário. ....	21
Tabela 3.6. Parâmetros de controlo obrigatórios segundo a licença de descarga de águas residuais. ...	23
Tabela 4.1. Coagulantes e floculantes testados.....	29
Tabela 5.1 Resultados da análise à água residual .....	33
Tabela 5.2. Dados relativos aos ensaios utilizando o coagulante Kemira PAX 10 e os floculantes Aquaprox MFA 9722, Aquaepur 520A, Aquaepur 530A e Superfloc A 150.....	35
Tabela 5.3. Dados relativos aos ensaios utilizando o coagulante Kemira PAX 18 e os floculantes Aquaprox MFA 9722, Superfloc A 150 e Aquaepur 530A. ....	37
Tabela 5.4. Dados relativos aos ensaios utilizando o coagulante AQUAPROX MFC 1013 e os floculantes Aquaprox MFA 9722 e Aquaepur 530A. ....	39
Tabela 5.5. Dados relativos aos ensaios utilizando o coagulante AQUAPROX MFC 1024 e os floculantes Aquaprox MFA 9722 e Aquaepur 530A. ....	41
Tabela 5.6. Dados relativos aos ensaios utilizando o coagulante Aquaprox MFC 9993 e os floculantes Aquaprox MFA 9722 e Aquaepur 530A.....	43
Tabela 5.7. Dados relativos aos ensaios utilizando o coagulante Aquaprox MFC 9997 e os floculantes Aquaprox MFA 9722 e Aquaepur 530A.....	45
Tabela 5.8. Dados relativos aos ensaios utilizando o coagulante sulfato de alumínio e o floculante Aquaprox MFA 9722.....	47
Tabela 5.9. Análise de custo aos coagulantes e floculantes testados. ....	50
Tabela 7.1. Diferentes tipos de tensoativos (adaptado de Daltin, 2011).....	56

## Nomenclatura

<b>CBO<sub>5</sub></b>	carência bioquímica de oxigénio (20 ° C, 5 dias)
<b>COT</b>	carbono orgânico total
<b>CQO</b>	carência química de oxigénio
<b>EHS</b>	<i>environmental, health and safety</i>
<b>UE</b>	União Europeia
<b>IBC</b>	contentor intermédio para granel ( <i>intermediate bulk container</i> )
<b>ETAR</b>	estação de tratamento de águas residuais
<b>FTU</b>	formazin turbidity units
<b>MLSS</b>	sólidos suspensos no licor misto ( <i>mixed liquor suspended solids</i> )
<b>MLVSS</b>	sólidos suspensos voláteis no licor misto ( <i>mixed liquor volatile suspended solids</i> )
<b>NT</b>	azoto total
<b>OD</b>	oxigénio dissolvido
<b>RIB</b>	resíduos industriais banais
<b>SBR</b>	reator sequencial por partidas ( <i>sequential batch reactor</i> )
<b>SIGR</b>	sistema integrado de gestão de resíduos
<b>SST</b>	sólidos suspensos totais
<b>SSV</b>	sólidos suspensos voláteis
<b>TRH</b>	tempo de retenção hidráulico
<b>TRS</b>	tempo de retenção de sólidos
<b>VLE</b>	valor limite de emissão

# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento

A sustentabilidade é cada vez mais um conceito privilegiado e tem vindo a tornar-se fundamental a gestão dos recursos adequadamente de forma a satisfazer as necessidades do presente sem comprometer os recursos das gerações futuras (Barata, 2013).

Um dos recursos naturais que tem sido alvo de maior preocupação é a água, visto ser essencial à sobrevivência dos seres vivos. Os impactos e efeitos negativos sobre os recursos hídricos podem comprometer a saúde pública e os ecossistemas. É necessário proteger este recurso tão essencial e evitar a sua contaminação (Barata, 2013).

Durante quase toda a história da Humanidade as águas residuais domésticas depositavam-se nas ruas dos centros urbanos e nos pátios (Monte, 2016). No entanto, com o rápido crescimento populacional e com a industrialização, a gestão das águas residuais dessa forma tornou-se impossível (Monte, 2016).

Como solução construíram-se canais para serem conduzidas a cursos de água, como já era feito, desde a antiguidade, em algumas zonas como no Paquistão e em Itália, especialmente em Roma. Mas surgiu a degradação da qualidade da água, o problema da poluição e, como consequência, o aumento das doenças e epidemias. Para o solucionar, instalaram-se filtros intermitentes de areia nos canais mas não era ainda suficiente (Monte, 2016).

Em 1907, perto de Berlim, foi construída uma Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) de leitos percoladores. Em 1920 aplicou-se o processo de tratamento de lamas ativadas numa nova ETAR no Reino Unido. A primeira ETAR construída em Portugal, em 1935, situava-se na cidade de Braga, que começou a funcionar em 1937. Esta ETAR era constituída por reatores biológicos (processo de lamas ativadas em regime de média carga) e decantadores. O tratamento das lamas incluía um espessador, digestores anaeróbios e um leito de secagem (Monte, 2016).

Numa ETAR o tratamento tem por objetivo a remoção dos poluentes que se encontram dissolvidos e/ou em suspensão e envolve as três fases: a fase líquida, constituída pela água residual, a fase sólida, constituída pelas lamas e areias, e a fase gasosa, que pode conter gás sulfídrico, dióxido de carbono, metano, entre outros. A fase sólida, depois de tratada, pode ser utilizada como fertilizante agrícola ou para produzir biogás (ERSAR, 2020).

O número de ETAR tem aumentado e em Portugal continental, no ano de 2019, existiam cerca de 2768 (ERSAR, 2020). Atualmente, com a ameaça em todo o planeta relacionada com a diminuição da disponibilidade e da qualidade da água, têm sido implementados tratamentos de afinação que permitam a reutilização da água tratada.

A Europa, nos últimos trinta anos, tem vindo a impor limites cada vez mais restritivos relativamente ao tratamento de águas residuais de forma a promover a reabilitação dos cursos de água (Sousa, 2016).

As ETAR tornam-se cada vez mais uma importante e fundamental forma de proteção do meio ambiente. Têm surgido processos de tratamento mais eficientes e equipamentos cada vez mais avançados que contribuem para a reutilização e redução do consumo de água (Santos, 2018).

A sociedade tem vindo a preocupar-se com a qualidade dos meios hídricos e, por isso, tem havido um esforço crescente para as águas residuais serem geridas da melhor forma possível, suportado pela criação de ações legislativas cada vez mais meticolosas (Domingues, 2019).

A poluição ambiental resultante das indústrias é um problema grave. Geralmente estas águas residuais são mais concentradas que as de origem doméstica e são produzidas em elevadas quantidades (Moura, 2008). Para se aplicar o tratamento adequado, é necessário conhecer-se a composição da água residual detalhadamente, o que permite atuar também a montante na redução da produção de substâncias indesejáveis (Moura, 2008).

## **1.2 Tema e objetivos do estágio**

O objetivo principal deste trabalho é identificar problemas e situações sujeitas a melhoria no processo de tratamento da ETAR localizada na empresa H.B. Fuller Mindelo, de forma a garantir a maior eficiência possível.

Para tal foram definidos alguns objetivos específicos:

- avaliação das condições de operação da ETAR através da caracterização da água residual ao longo do processo de tratamento;
- avaliação da adequabilidade do tratamento às características da água residual a tratar;
- apresentação de propostas de adequação/melhoria do processo de tratamento.

## **1.3 Organização do relatório**

Este relatório encontra-se organizado em 6 capítulos.

No primeiro capítulo é feito um breve enquadramento, a descrição da empresa onde o estágio foi realizado e são apresentados o tema, os objetivos do estágio e, por fim, descreve-se a forma como se encontra organizado este relatório. No segundo capítulo apresenta-se a empresa H.B. Fuller, a sua missão e aborda-se os processos produtivos de cada área da empresa. Ao longo do terceiro capítulo descrevem-se as diferentes fases de tratamento de uma ETAR, o processo de tratamento da ETAR da H.B. Fuller e o respetivo fluxograma. Neste capítulo incluem-se também as condições de operação da ETAR. No quarto capítulo apresentam-se os materiais e métodos dos ensaios realizados no laboratório e no quinto a descrição experimental. O sexto capítulo contém os resultados e discussão dos ensaios laboratoriais. No sétimo descrevem-se as alterações sugeridas ao processo de fabrico e os testes realizados para avaliar o efeito ao nível do tratamento dessas alterações.

O oitavo capítulo inclui as sugestões de melhoria a aplicar ao processo de tratamento e o nono inclui as sugestões de automação e de aplicação das melhores técnicas disponíveis apresentada pela empresa *VentilAQUA*.

## 2 Apresentação da empresa

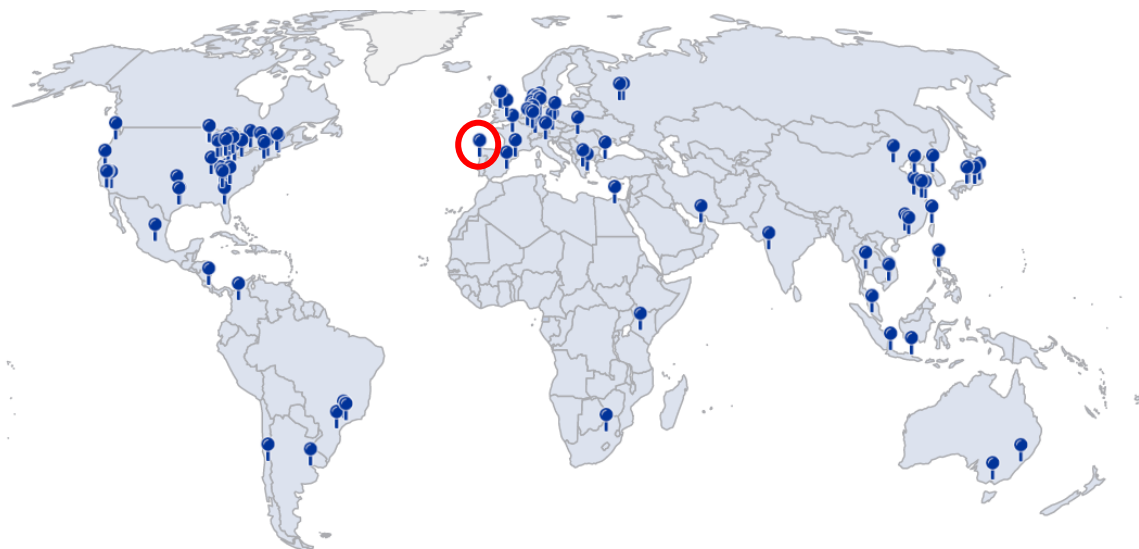
A H.B. Fuller é uma empresa de colas e adesivos sediada nos Estados Unidos da América, que fabrica produtos para diversos segmentos de mercado como os setores das indústrias têxtil e automóvel, telecomunicações, construção civil, eletrónica, madeira e compósitos, embalagem e rotulagem, transportes, produção de energias limpas (nomeadamente a eólica e solar), indústria de papel, filtros de ar e para beleza e higiene.

### 2.1 Breve história da empresa

A funcionar desde 1887, inicialmente a empresa dos Estados Unidos da América dedicava-se à produção de colas a partir de uma pasta de farinha e água. Em 1915 fundou-se a H.B. Fuller e em 1938 desenvolveu-se um novo e revolucionário adesivo termofusível (H.B. Fuller, 2021).

Ao longo dos anos foi crescendo e espalhando-se por diferentes áreas como África, Europa, Ásia, Índia, Canadá, Austrália e Nova Zelândia, América Central e do Sul, Estados Unidos e Médio Oriente (*Figura 2.1*).

Atualmente fornece adesivos para todo o Mundo e está situada em 99 sítios diferentes, como pode ser observado na *Figura 2.1*.



*Figura 2.1. Diferentes localizações da H.B. Fuller. Rodeada a vermelho encontra-se a H.B. Fuller Portugal (H.B. Fuller, 2021).*

Uma das localizações na região europeia é a H.B. Fuller Portugal situada no distrito do Porto, no concelho de Vila do Conde, freguesia de Mindelo, abrangendo dois locais físicos distintos, designados por Fuller North e Fuller South.

Na Fuller North encontram-se apenas áreas administrativas de serviços partilhados, como as áreas financeiras, serviço ao cliente, etc.

Na Fuller South encontram-se áreas produtivas e áreas de suporte, como armazéns, ETAR, manutenção, posto médico, laboratórios de investigação e desenvolvimento e de controlo de

qualidade, escritórios dos departamentos de Environmental, Health and Safety (EHS), logística, controlo de produção, etc..

Na *Figura 2.2* encontram-se imagens da H.B. Fuller South e da North e as respetivas áreas que se encontram situadas em cada uma.



*Figura 2.2. H.B. Fuller Mindelo que se divide em Fuller South (do lado esquerdo) e Fuller North (do lado direito) (H.B. Fuller, 2021).*

Legenda:

- 1) Posto médico
- 2) Escritórios
- 3) Unidade de produção de colas de base solvente
- 4) Unidade de produção de *hot melt*
- 5) Unidade de produção de colas brancas
- 6) Laboratório de controlo de qualidade
- 7) Unidade de produção de polímeros
- 8) Manutenção
- 9) Estação de Tratamento de Água Residual
- 10) Laboratórios de investigação e desenvolvimento e escritórios
- 11) Unidade de produção *small pack*
- 12) Parque de matérias-primas
- 13) Departamento financeiro
- 14) Departamento de serviço ao cliente

Dependendo da área, a empresa divide-se ainda em H.B. Fuller Isar-Rakoll S.A. e H.B. Fuller Portugal Produtos Químicos, S.A..

A H.B. Fuller Isar-Rakoll S.A. é constituída por 240 funcionários distribuídos por diversos departamentos como por exemplo o de auditoria interna, o departamento financeiro, serviço de apoio ao cliente, laboratórios de desenvolvimento, etc.

A H.B. Fuller Portugal Produtos Químicos, S.A. possui 155 funcionários e centra-se na área mais produtiva que inclui a produção, áreas de planeamento de produção, logística, manutenção, ETAR, EHS, etc.

O volume produtivo da empresa tem vindo a crescer ao longo dos anos e no ano de 2021 foi de 22 843 toneladas.

O objetivo principal da empresa consiste em atender às necessidades, ouvir e colaborar com os clientes tendo sempre uma orientação permanente para a criatividade, inovação e novas oportunidades de mercado. A inovação técnica e científica na criação de novos produtos, a melhoria dos produtos existentes e o desenvolvimento de novas formas de fabricar produtos são a base da metodologia de trabalho.

## **2.2 Descrição do processo produtivo**

A H.B. Fuller Mindelo South possui quatro áreas produtivas: a produção de colas de base solvente (solventes, endurecedores, halogenantes e diluentes), colas termofusíveis (*hot melts*), colas de base aquosa (colas brancas) e polímeros.

Todas as áreas possuem processos de produção compostos por três etapas principais: a preparação de cargas, a produção de cola e a descarga para embalagens finais ou para tanque de armazenamento.

### **2.2.1 Unidade de produção de colas base solvente**

Os produtos desta área produtiva destinam-se a mercados que exigem elevados níveis de resistência, como, por exemplo, os setores do calçado ou automóvel.

A produção de colas de base solvente consiste na mistura de diversos solventes com borrachas naturais cujas características se modificam, sendo feita a temperatura controlada e com agitação.

As máquinas possuem condensadores que permitem diminuir as perdas por evaporação e consequentemente aumentar a eficiência do processo e um sistema integrado de inertização com azoto que garante que a quantidade de oxigénio dentro das máquinas seja inferior a 6% e, como resultado, um manuseamento em segurança de produtos inflamáveis.

Após o período de mistura, as colas prontas são dispostas em embalagens individuais e armazenadas a aguardar expedição.

Na *Figura 2.3* encontra-se um esquema representativo do processo de produção de colas de base solvente.

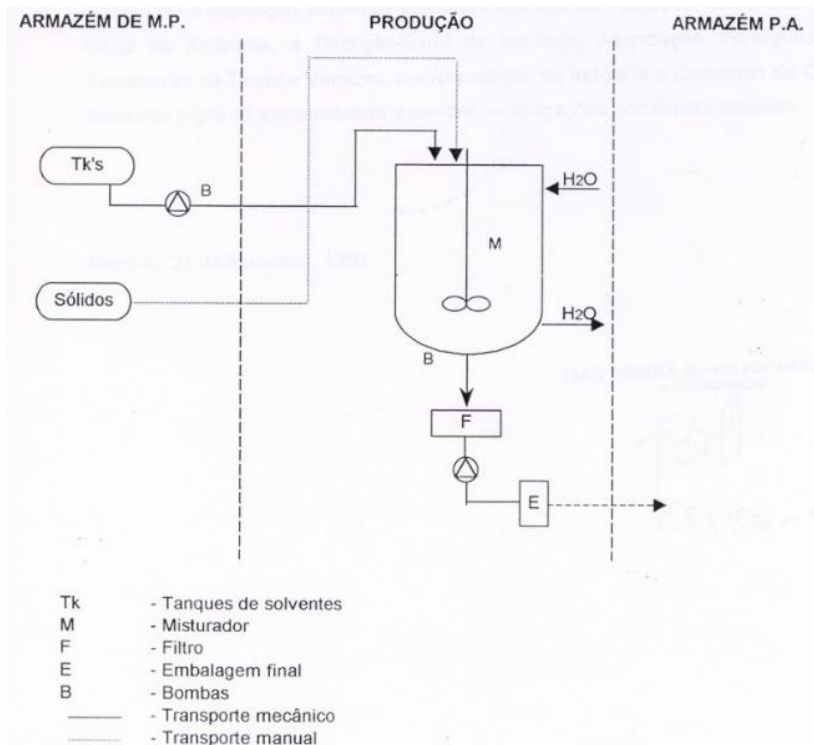


Figura 2.3. Processo de produção de colas de base solvente (H.B. Fuller, 2021).

### 2.2.2 Unidade de produção de colas termofusíveis (*hot melt*)

A unidade de produção de *hot melt* destina-se à produção de adesivos termofusíveis. Ou seja, adesivos que quando submetidos a uma determinada temperatura adquirem as propriedades das colas.

Em primeiro lugar realiza-se a preparação de cargas em que as embalagens de matérias-primas de menor dimensão são pesadas manualmente e as de maior dimensão são manuseadas com o auxílio de uma garra mecânica. Outra matéria-prima utilizada nesta área produtiva é o carbonato de cálcio, que se encontra num silo na parte exterior da fábrica. Seguidamente, as cargas são encaminhadas para os misturadores, seguindo a ordem de adição estabelecida, que se fundem por ação da temperatura e do tempo de mistura.

Depois ocorre o embalamento do produto, que pode ser realizado diretamente nas embalagens ou pode ser embalado e vendido na forma de esferas. Quando embalado e vendido na forma de esferas, o produto final necessita de passar por duas etapas adicionais, num granulador que confere ao produto a forma esférica e num banho de água para arrefecimento e posteriormente secagem e revestimento por um anti-aglomerante. A última fase do processo é uma separação das esferas com tamanhos indesejados para que sejam incluídas na próxima ordem de produção e reaproveitadas. O produto final embalado é posteriormente armazenado.

Na Figura 2.4 encontra-se um fluxograma do processo produtivo de colas *hot melt*.

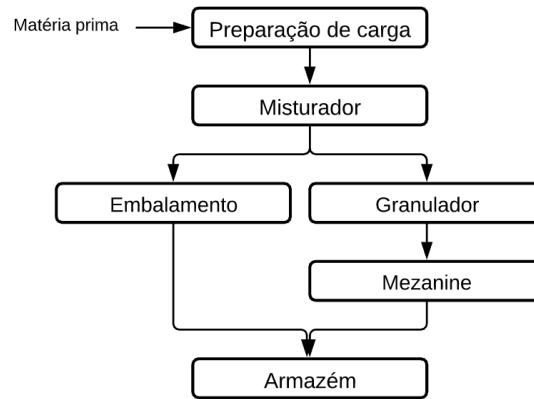


Figura 2.4. Processo de produção de colas hot melt (H.B. Fuller, 2021).

### 2.2.3 Unidade de produção de colas de base aquosa

As colas de base aquosa abrangem colas etilénicas, acrílicas e estirénicas, entre outras. São colas cuja gama de aplicação é muito alargada, podendo ir desde o mercado mobiliário até rotulagem de garrafas de bebidas.

Relativamente ao fluxo produtivo, este inicia-se com a preparação de cargas onde todas as matérias-primas que não sejam provenientes de tanques de armazenamento são pesadas.

A produção da cola é feita, seguindo instruções de produção detalhadas, num vaso misturador e assistida através de um software de supervisão de produção. Nesta secção todo o produto final é armazenado em embalagens individuais para ser posteriormente expedido.

Na Figura 2.5 encontra-se a descrição do processo produtivo das colas de base aquosa.

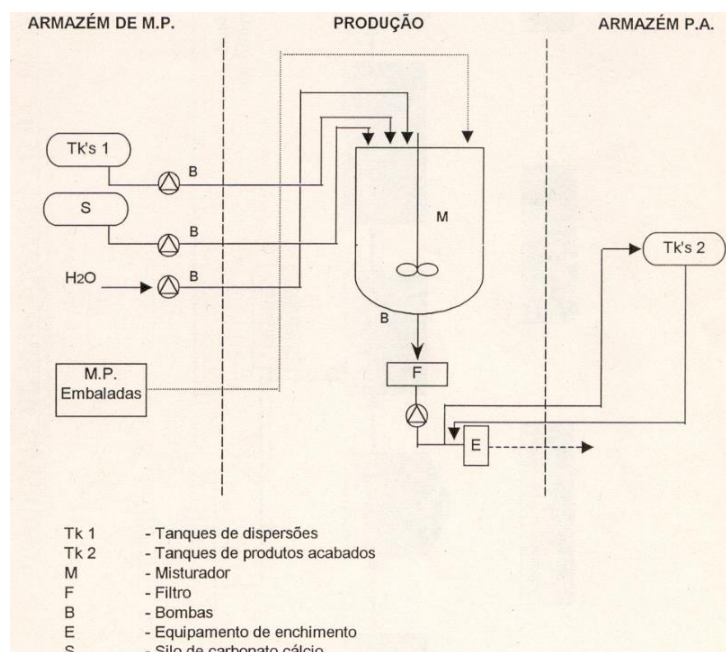


Figura 2.5. Processo produtivo de colas de base aquosa (H.B. Fuller, 2021).

## 2.2.4 Unidade de produção de polímeros

A unidade de produção dos polímeros destina-se à produção de resinas sintéticas vinílicas e acrílicas em emulsão aquosa que se destinam ao fabrico de colas, tintas, materiais têxteis não tecidos e revestimentos de papel.

O fabrico de resinas sintéticas é realizado por um processo de reação química de polimerização em condições de temperatura controlada e meio aquoso.

O processo inicia-se com a preparação do meio aquoso no preparador de colóide, onde se obtém uma emulsão aquosa ou uma solução de colóides protetores dissolvidos na fase aquosa, que posteriormente são descarregados no reator. Para facilitar a dissolução dos colóides protetores o vaso é provido de aquecimento.

No preparador de monómeros é efetuada a pesagem e mistura de monómeros a reagir, segundo uma receita. Algumas das matérias-primas mais utilizadas são transportadas a partir do parque de matérias-primas por circuitos fechados.

No reator inicia-se a reação de polimerização, pelo aquecimento do meio de reação e adição de um iniciador. Depois, a reação é mantida através do doseamento da mistura do preparador de monómeros segundo um perfil caudal/temperatura definido.

Dado tratar-se de um processo exotérmico, é necessário recorrer à refrigeração do reator para controlo da temperatura de reação. Os vapores libertados durante o processo são captados e condensados, sendo novamente introduzidos em contínuo no reator. No final da reação é aplicado vácuo no reator, através do condensador, de forma a separar o monómero do polímero e retirar o que não reagiu.

Todo o processo é controlado automaticamente através de um autómato programável e monitorizado por computador.

Concluído o processo de fabrico, os produtos são transferidos para um tanque de armazenamento. Dependendo do produto, este pode ser usado internamente como matéria-prima na produção de colas de base aquosa ou expedido para o cliente final de várias formas, sendo a mais comum o envio a granel (em cisterna).

Na [Figura 2.6](#) encontra-se o esquema representativo do processo produtivo dos polímeros.

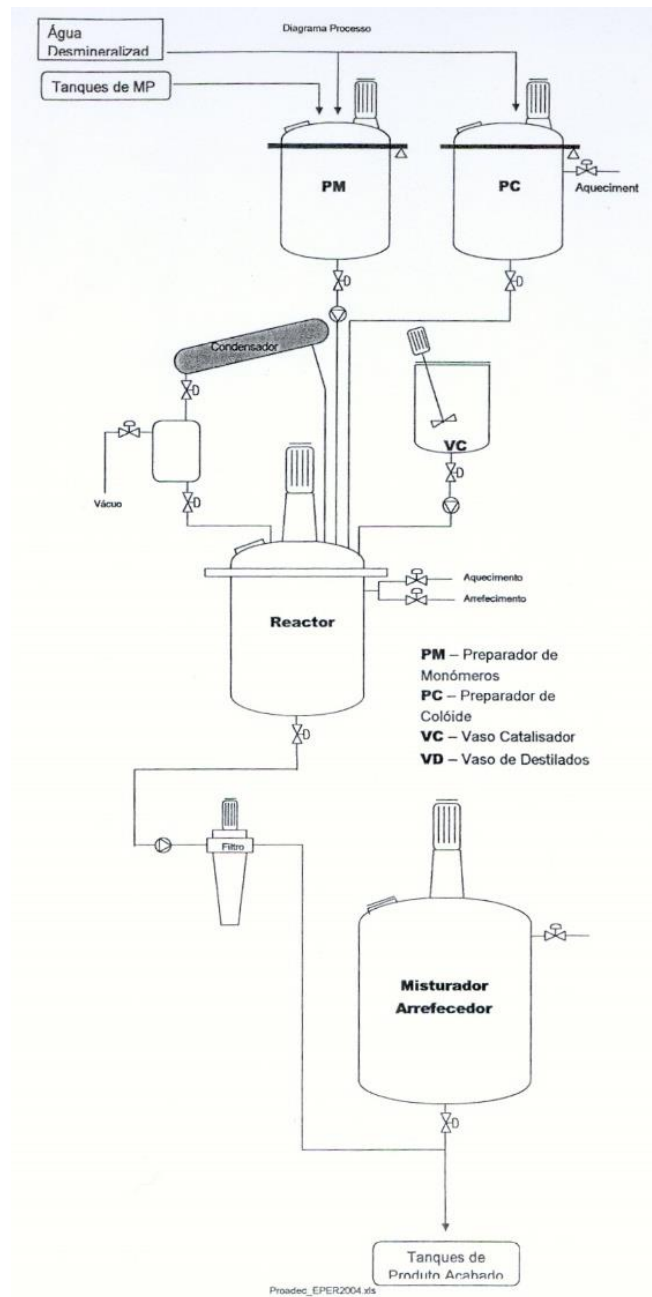


Figura 2.6. Processo produtivo de polímeros (H.B. Fuller, 2021).

### 2.2.5 Unidade de enchimento *Small pack*

O *Small pack*, em vez de uma unidade de produção, consiste numa unidade de enchimento destinada ao mercado de *Bricolage* e de *Do It Yourself*. Isto é, nesta unidade realiza-se o enchimento, num conjunto variado de pequenas embalagens (de 30 g a 2,5 kg de capacidade), de produtos provenientes de outras unidades de produção, nomeadamente os solventes e as colas brancas.

A unidade é constituída por várias linhas de enchimento em que se dispõem os produtos finais em embalagens, as embalagens em caixas e as caixas em paletes.

## 3 Estação de Tratamento de Águas Residuais

### 3.1 Descrição Geral do Tratamento

O processo de uma Estação de Tratamento de Água Residual (ETAR) pode dividir-se em cinco etapas: tratamento preliminar, tratamento primário, secundário, terciário e tratamento de lamas.

O tratamento preliminar consiste na remoção de sólidos e gorduras e tem como objetivo proteger os órgãos de tratamento seguintes e aumentar a eficiência do tratamento (Monte, 2016).

O tratamento primário é realizado por processos físico-químicos e em geral deverá assegurar uma diminuição de matéria orgânica biodegradável de 20%, avaliada através da carência bioquímica de oxigénio ao fim de 5 dias ( $CBO_5$ ) e 50% de sólidos suspensos totais (SST). Para a remoção de sólidos que se encontrem em suspensão recorre-se a técnicas como a sedimentação (decantação) (Monte, 2016).

No tratamento secundário, que inclui processos biológicos e físico-químicos, em geral a redução de  $CBO_5$  superior a 70-90%, correspondendo a uma redução de matéria orgânica quimicamente oxidável, avaliada através da carência química de oxigénio (CQO) de cerca de 75%. Os processos de tratamento biológicos são sempre mais vantajosos que os químicos porque para além do custo de operação reduzido, também formam menos lamas. Os microrganismos, nas condições adequadas, multiplicam-se e degradam grande parte da matéria orgânica (Monte, 2016).

Para complementar as etapas anteriores, faz-se o tratamento terciário de forma a remover poluentes específicos que não tenham sido removidos nas etapas anteriores (como por exemplo nutrientes) e assegurar a qualidade do efluente tratado (Monte, 2016).

Dentro destas etapas existem diversas operações unitárias e processos possíveis. A sua seleção e aplicação depende de diversos fatores, como as características do efluente a tratar (especificação e biodegradabilidade dos poluentes), a qualidade requerida do efluente tratado e os custos envolvidos (Monte, 2016).

Na [Tabela 3.1](#) apresentam-se as diferentes operações e processos utilizadas no processo de tratamento de uma ETAR.

Tabela 3.1 Etapas do processo de tratamento de uma ETAR e respetiva descrição (Cunha, 2014; Ada, 2021).

<b>Tratamento</b>	<b>Operações e processos</b>	<b>Descrição</b>
<b>Preliminar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gradagem e tamisagem</li> <li>- Desarenação</li> <li>- Desengorduramento</li> </ul>	<p>Remoção de sólidos de maiores dimensões; Remoção de materiais mais pesados; Remoção de gorduras por flutuação.</p>
<b>Primário</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coagulação/floculação</li> <li>- Flotação</li> <li>- Decantação primária</li> </ul>	<p>Remoção de parte dos sólidos suspensos totais (SST), da matéria orgânica e inorgânica.</p>
<b>Secundário</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lamas Ativadas</li> <li>- Leitos Percoladores</li> <li>- Discos Biológicos</li> <li>- Lagoas (Anaeróbias, Aeróbias, etc.)</li> <li>- Digestão anaeróbia</li> <li>- Decantação Secundária</li> </ul>	<p>Remoção da matéria orgânica biodegradável, com formação de biomassa microbiana em condições ambientais favoráveis e sólidos suspensos que é removida posteriormente por decantação.</p>
<b>Terciário</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Filtração</li> <li>- Adsorção em carvão ativado</li> <li>- Permuta iónica</li> <li>- Osmose inversa</li> <li>- Desinfecção</li> </ul>	<p>Remoção de sólidos suspensos, nutrientes (azoto e fósforo) e de determinados poluentes que persistem após o tratamento secundário.</p>
<b>Lamas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Espessamento</li> <li>- Digestão anaeróbia</li> <li>- Desidratação</li> <li>- Higienização</li> </ul>	<p>Estabilização das lamas resultantes do tratamento da água residual; Inativação de organismos patogénicos; Redução do volume das lamas.</p>

## 3.2 Estação de Tratamento de Água Residual da empresa H.B. Fuller

### 3.2.1 Origem das águas residuais

A ETAR da empresa H.B. Fuller, operacional desde 1999, trata águas residuais industriais e domésticas e recebe as águas da bacia de retenção do parque de matérias-primas e das utilidades da empresa. O parque de matérias-primas é constituído por tanques de grandes dimensões com as matérias-primas mais utilizadas que alimentam a produção de colas brancas e de polímeros.

O efluente industrial é proveniente de três áreas existentes na empresa: as colas de base aquosa, os polímeros e lavagem de embalagens. Estes efluentes misturam-se no tanque de homogeneização que se encontra na zona das lavagens de embalagens utilizadas no acondicionamento de produto final e, posteriormente, são conduzidos para o tratamento físico-químico da ETAR. Neste efluente, recorrentemente aparecem sólidos (que consistem em restos de cola seca, em “películas” que se formam na parte de cima da cola contida nos reatores ou até de lama do tanque das lavagens que provêm da lavagem de filtros na produção dos polímeros e da lavagem de contentores intermédios para granel (IBCs). O efluente industrial pode também, por vezes, apresentar óleos e gorduras na sua constituição provenientes da atividade de manutenção e limpeza de máquinas. A presença dos óleos, gorduras e dos sólidos prejudica o bom funcionamento das bombas e, conseqüentemente, o tratamento posterior.

O efluente doméstico é constituído pelas águas residuais provenientes das casas de banho de toda a fábrica, dos banhos nos balneários e das perdas do circuito de arrefecimento das esferas produzidas nos *hot melt*.

Em períodos de chuva ou de temperaturas muito altas em que é necessário arrefecer os tanques de matérias-primas, a água das bacias de retenção é posteriormente encaminhada para tratamento na ETAR. Estas podem ser encaminhadas para a zona das lavagens ou os tanques de equalização 1 ou 2, de acordo com as suas características ao nível do pH e da CQO.

Outro efluente que é produzido na fábrica é proveniente das utilidades que é encaminhado para o tanque de homogeneização com destino ao ponto de descarga de água residual tratada da ETAR que é encaminhada para o coletor municipal. É constituído por descargas intermitentes de água provenientes: da purga das torres de refrigeração, das bombas de vácuo utilizadas na produção de adesivos termofusíveis, do rejeitado da osmose inversa e água de lavagem dos filtros antes da osmose inversa.

### 3.2.2 Fluxograma da ETAR

Na *Figura 3.1* encontra-se um fluxograma representativo do processo de tratamento da ETAR localizada na H.B. Fuller Mindelo. A azul representou-se a adição de reagentes (coagulantes, floculantes, e os usados para ajuste de pH) ao longo do processo, a verde todas as etapas pelas quais passa o tratamento da fase líquida e a rosa e laranja o circuito de tratamento das lamas biológicas e físico-químicas, respetivamente.

Apresentam-se na *Figura 3.1*, os pontos de amostragem (seguindo a sequência do tratamento):

- 1) Efluente industrial das colas brancas

- 2) Início do tratamento físico-químico
- 3) Final do tratamento físico-químico
- 4) Início do tratamento biológico
- 5) Final do tratamento biológico
- 6) Início do tratamento terciário
- 7) Final do tratamento terciário sem filtros
- 8) Final do tratamento terciário após passagem nos filtro de carvão ativado e/ou areia
- 9) Água residual tratada

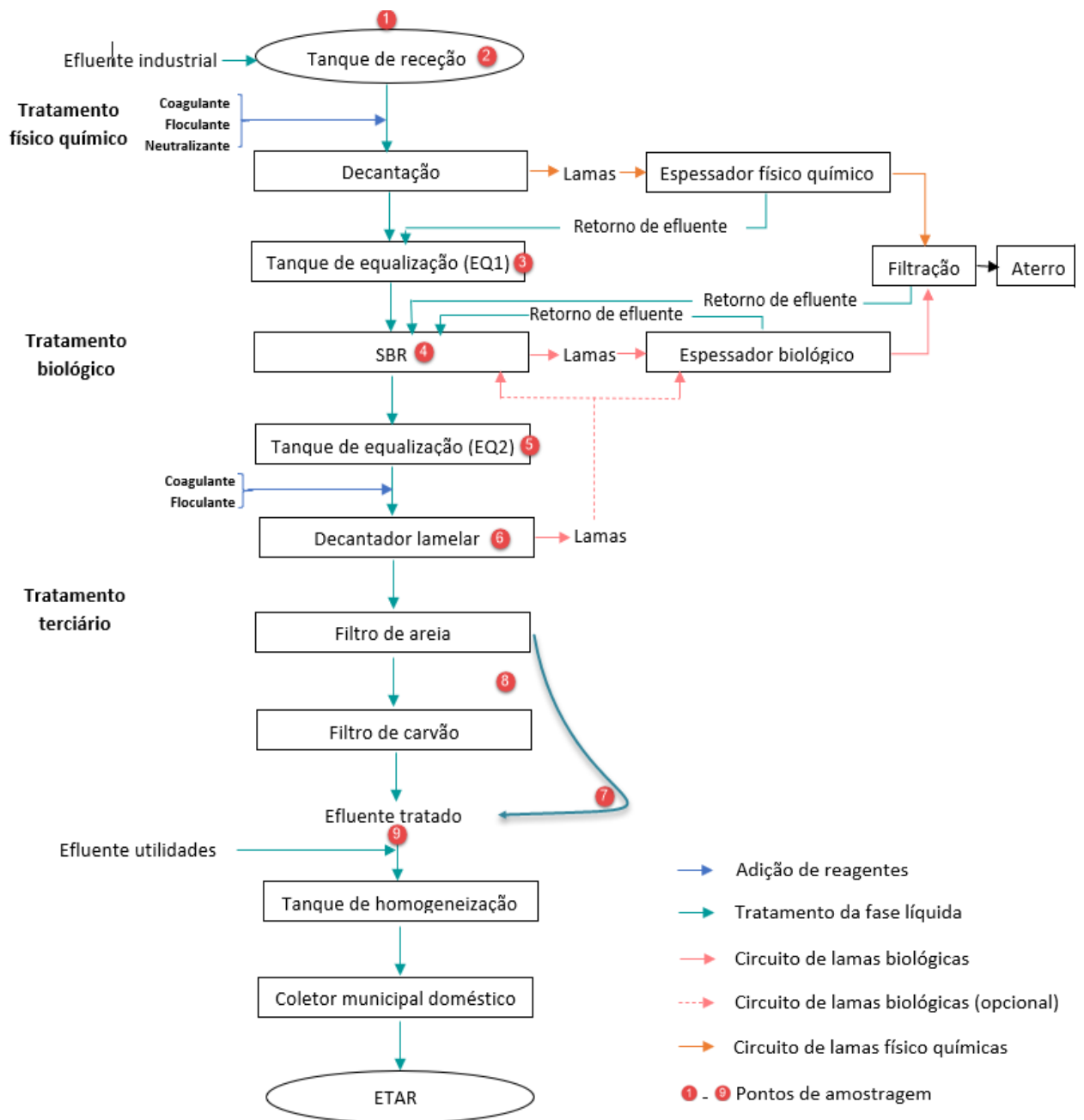


Figura 3.1. Fluxograma do processo de funcionamento da ETAR H.B. Fuller Mindelo.

### 3.2.3 Descrição do processo de tratamento

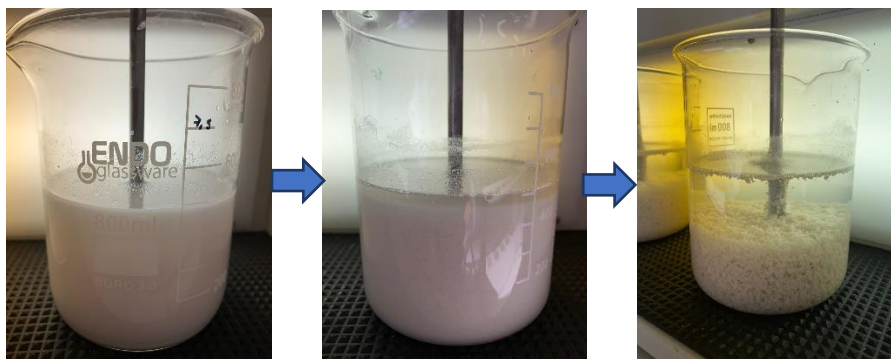
O tratamento destes efluentes é realizado por um processo que se divide em tratamento primário (físico-químico), secundário (biológico) e terciário. Ao longo do tratamento vão-se formando subprodutos, nomeadamente lamas, tanto provenientes do tratamento biológico como do tratamento físico-químico, que também irão sofrer tratamento. As cargas e descargas de efluente para tratar são realizadas segundo os cálculos que se apresentam no Anexo A.

#### 3.2.3.1 Tratamento primário

O tratamento primário ou físico-químico inicia-se pela descarga do efluente industrial proveniente do tanque de homogeneização no decantador primário. A composição do efluente industrial é variável ao longo do tempo, visto que os produtos produzidos na empresa variam de dia para dia.

A descarga do efluente industrial para o tanque onde se inicia o tratamento geralmente tem uma duração de duas horas por dia e o caudal médio que é descarregado por hora é de aproximadamente 16 m<sup>3</sup>. A ETAR funciona 5 dias por semana ou, quando necessário, 6 dias.

Nesta etapa inicial realiza-se um tratamento por coagulação/floculação (*Figura 3.2*) para que as partículas sólidas em suspensão se agreguem e sedimentem.



*Figura 3.2. Figura representativa do processo de coagulação/floculação.*

A coagulação/floculação é o processo de destabilizar partículas coloidais por adição de um coagulante químico, de forma que as partículas entrem em colisões (coagulação) e se aglomerem formando partículas maiores (floculação) (Metcalf & Eddy, 2003).

O coagulante é o produto químico adicionado para destabilizar as partículas coloidais presentes nas águas residuais, permitindo a sua aglomeração em flocos. Um floculante é um produto químico, normalmente orgânico, adicionado para melhorar o processo de floculação (Metcalf & Eddy, 2003). Os coagulantes e floculantes típicos incluem respetivamente sais de metais ou metais pré-hidrolisados e polímeros orgânicos naturais e sintéticos (Metcalf & Eddy, 2003). Na *Tabela 3.2* encontram-se os diferentes tipos de coagulantes e floculantes (naturais e sintéticos) e alguns exemplos de cada tipo.

*Tabela 3.2. Tipos de coagulante e floculante e alguns exemplos (Verma, 2012).*

<b>Tipos de Coagulante e floculante</b>	
Naturais	<u>Polímeros naturais</u> (quitosana, taninos, moringa)
Sintéticos	<u>Sais metálicos hidrolisados</u> (sulfato de alumínio ou ferro, cloreto férrico, alumínio)
	<u>Sais metálicos pré-hidrolisados</u> (cloreto de polialumínio, cloreto poliférrico, sulfato de polialumínio)
	<u>Polímeros sintéticos</u> (poliamina, aminometil poliacrilamida)

No decantador do tratamento físico-químico adicionam-se hidróxido de sódio, para ajuste do pH, Kemira PAX 10 como coagulante e Aquaprox MFA 9722 como floculante. O processo de coagulação/floculação deve ocorrer na gama de pH ótima. Esta gama varia consoante o coagulante utilizado e será otimizada para que o tratamento seja eficaz com a quantidade mínima de coagulante. A quantidade adicionada de coagulante/floculante é regulada mediante a realização de ensaios laboratoriais com avaliação visual. A adição de hidróxido de sódio é controlado pela medição prévia do pH (com papel indicador) nesses ensaios.

Na *Tabela 3.3* apresenta-se uma breve descrição dos produtos adicionados nesta fase de tratamento físico-químico.

*Tabela 3.3. Produtos adicionados no tratamento físico químico.*

<b>Nome do produto</b>	<b>Constituinte principal</b>	<b>Preparação</b>	<b>Função</b>
Soda cáustica	Hidróxido de sódio	20 L em 180 L de água	Base forte para controlo de pH
Kemira PAX-XL 10 (puro)	Polihidroxiclorosulfato de alumínio	Produto puro	Coagulante
Aquaprox MFA 9722	Floculante aniónico de elevado peso molecular	100 a 500 g por cada 100 L de água	Floculante

No decantador primário (*Figura 3.3*), os flocos formados depositam-se no fundo por ação da gravidade e pelo aumento de peso. O conjunto dos sólidos sedimentáveis que se acumulam no fundo do decantador primário designa-se por lama primária ou lama do tratamento físico-químico. Posteriormente, esta é encaminhada para o espessador gravítico de lamas (*Figura 3.3*) para depois serem desidratadas no filtro prensa. O efluente resultante desta etapa do tratamento, efluente final do tratamento físico-químico, é conduzido até ao tanque de equalização 1.



Figura 3.3. Decantador primário (do lado direito) e espessador gravítico (do lado esquerdo).

### 3.2.3.2 Tratamento secundário

O tratamento secundário é realizado por um processo biológico aeróbio de lamas ativadas.

O processo de lamas ativadas baseia-se num processo biológico aeróbio de biomassa em suspensão, no qual os microrganismos se desenvolvem e simultaneamente promovem a remoção de compostos orgânicos dissolvidos (Ascensão, 2014).

Na *Figura 3.4* encontra-se um esquema representativo do sistema de lamas ativadas e os diferentes tipos de alimentação e regimes de operação.

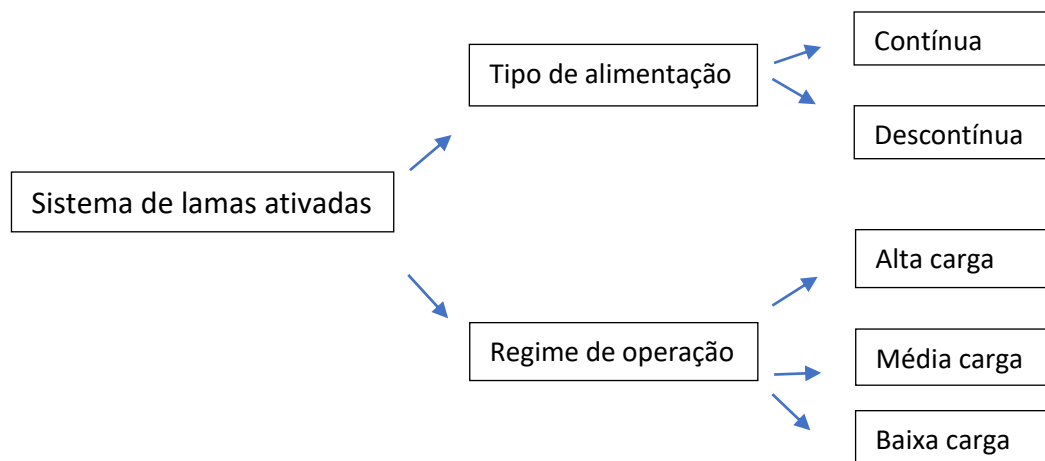


Figura 3.4. Variantes do sistema de lamas ativadas.

O sistema de lamas ativadas pode ser operado em contínuo ou descontínuo/por partidas, num *sequencial batch reactor* (SBR). No caso da operação em contínuo, a suspensão constituída pela água residual e pela biomassa é encaminhada para um decantador secundário. No caso da presente ETAR a

operação é do tipo SBR, em que as várias etapas do processo decorrem sequencialmente no mesmo órgão de tratamento: enchimento, arejamento, sedimentação e descarga (Ascensão, 2014).

De acordo com a carga mássica aplicada, podem distinguir-se três tipos de regime de operação, o de alta carga, média carga ou arejamento convencional, e de baixa carga ou arejamento prolongado (Carvalho, 2016).

Na *Tabela 3.4* encontram-se os intervalos de valores de alguns parâmetros relativos aos três diferentes regimes de operação de uma ETAR, que se apresentam a seguir.

- Carga orgânica mássica

A carga mássica corresponde à razão entre a quantidade de alimento disponível para os microrganismos ( $A$ ) e a quantidade de microrganismos existentes no tanque em que é realizado o tratamento biológico ( $M$ ) (Meireles, 2011).

- Carga orgânica volumétrica

A carga orgânica volumétrica corresponde à quantidade de substrato por volume do tanque de arejamento, por dia (Interágua, 1999).

- Tempo de Retenção Hidráulico (TRH)

O TRH é um parâmetro fundamental que assegura que a água residual a ser tratada permanece o tempo necessário em cada etapa. No tratamento biológico, corresponde ao tempo de residência médio dos microrganismos e, por essa razão, relaciona-se com a velocidade de crescimento dos mesmos (Interágua, 1999).

- Tempo de retenção de sólidos (TRS)

O tempo de retenção de sólidos ou idade das lamas, que corresponde ao tempo de retenção celular, consiste na relação entre a massa de microrganismos no interior do reator e o caudal de microrganismos removidos a partir do circuito de recirculação (Interágua, 1999).

- $Q_r/Q$

Este parâmetro corresponde à razão entre o caudal da corrente de recirculação de lamas ao reator,  $Q_r$ , e o caudal de efluente em tratamento,  $Q$  (Interágua, 1999).

- SSV/SST

Este parâmetro corresponde à razão entre sólidos suspensos voláteis (concentração de biomassa) e sólidos suspensos totais e representa a fração orgânica dos sólidos (Interágua, 1999).

*Tabela 3.4. Valores de parâmetros relativos ao regime de operação em alta, média e baixa carga (Interágua, 1999).*

Parâmetro	Alta carga	Média carga	Baixa carga
Carga orgânica mássica (kg CBO5/kg SSV.dia)	1,5 – 5	0,2 – 0,6	0,02 – 0,15
Carga orgânica volumétrica (kg CBO/kg SSV.dia)	1,2 - 2,3	0,8 – 2,0	0,1 – 0,4
Tempo de retenção hidráulico, TRH (horas)	1,5 - 3	3 - 6	18 – 3
Tempo de retenção celular, TRS (dias)	1 - 4	5 - 15	20 – 30
Qr/Q (se aplicável)	1,0 – 5,0	0,25 – 1,0	0,8 – 1,5
Biomassa (mgSSV/L)	500- 1000	3000-5000	3500-5000
SSV/SST	0,8	0,75	0,6
Nitrificação	Não	Iniciada	Sim
Estado da biomassa	Crescimento exponencial	Fase de declínio	Fase endógena

No caso da ETAR da H.B. Fuller a alimentação ao reator é descontínua, do tipo SBR. No que se refere ao TRH a ETAR opera em regime de baixa carga visto que em média o TRH varia de 8 a 10 dias.

O enchimento do SBR é realizado a partir do tanque de equalização 1, onde são recebidos o sobrenadante resultante do tratamento primário e o efluente doméstico (*Figura 3.5*). Geralmente a etapa de enchimento possui uma duração de 1 hora por dia.



*Figura 3.5. Tratamento biológico por SBR.*

A remoção da matéria orgânica (que pode ser quantificada pela  $CBO_5$  e pela  $CQO$ ) e dos nutrientes (azoto e fósforo) depende do desenvolvimento dos microrganismos que constituem a biomassa em suspensão. São necessárias condições ideais de pH (7,2 a 8,0), temperatura (deve variar entre 22 a 37 °C) e oxigénio dissolvido (acima de  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ ) para o desenvolvimento e multiplicação destes microrganismos (Ascensão, 2014; Fleck, 2015).

O arejamento promove a agitação do meio líquido fazendo com que a matéria permaneça em suspensão e o fornecimento de oxigénio à biomassa que oxida a matéria orgânica e o azoto amoniacal (Ascensão, 2014). Este é realizado por dois arejadores tipo tornado (que se encontra representado na *Figura 3.6*).



*Figura 3.6. Arejador tipo tornado.*

Inicialmente, ocorre a biodegradação aeróbia da matéria orgânica carbonácea tendo como produtos finais água e dióxido de carbono. Seguidamente, ocorre a nitrificação em que o azoto amoniacal se oxida a nitritos (nitritação) e depois a nitratos (nitratação) (Carvalho, 2016).

Pode ocorrer uma fase anóxica, que consiste na diminuição da concentração de oxigénio dissolvido (OD), durante o processo de sedimentação. Esta fase traduz-se numa redução dos nitratos a azoto gasoso e denomina-se desnitrificação (Carvalho, 2016).

No caso de o substrato (CBO) se tornar limitante, a biomassa poderá entrar em processo de respiração endógena, isto é, a auto-oxidação. A respiração endógena tem como objetivo a obtenção de energia pelas células reduzindo a biomassa celular (Carvalho, 2016).

Por vezes forma-se espuma devido à adição de tensioativos durante o processo produtivo das colas. Durante o arejamento, pode ser necessário adicionar um produto que se denomina como Foamaster MO NDW, cuja função é evitar a formação de espuma. A adição é feita de forma manual no SBR.

Normalmente o arejamento é realizado à sexta feira e ao sábado durante 1 ou 2 horas. O tempo de arejamento e de paragem é definido pelo operador da ETAR consoante as exigências da água residual.

A etapa de sedimentação das lamas demora aproximadamente doze horas e de repouso quatro horas.

Como a efluência de água residual é grande e o tempo de sedimentação e repouso é longo, não se tem vindo a realizar o arejamento por cada partida mas sim duas vezes por semana. A falta de arejamento pode depois causar problemas nos resultados das análises laboratoriais externas ao parâmetro azoto.

O efluente clarificado proveniente do SBR descarrega-se para o tanque de equalização 2 (EQ2). A descarga de efluente pode ser realizada uma ou duas vezes por dia durante 1 hora. A segunda descarga apenas é feita se, quando observado visualmente, o efluente estiver pouco turvo. Após a descarga, caso o SBR se encontre com excesso de lamas, parte delas são retiradas para o espessador de lamas do biológico e posteriormente prensadas no filtro prensa.

### 3.2.3.3 Tratamento terciário

Nesta fase, recorre-se novamente a um tratamento por coagulação/floculação ao efluente proveniente do SBR, denominado como final SBR, com adição de sulfato de alumínio sólido (coagulante) e Aquaprox MFA 9722 (floculante). O ajuste das dosagens de reagentes realiza-se de forma visual através de uma análise ao decantador lamelar. Ou seja, se não forem visíveis flocos ou se os mesmos não sedimentarem ajustam-se as dosagens de reagentes, espera-se cerca de 15 minutos e volta-se a observar o decantador lamelar para comprovar o efeito.

Na *Figura 3.7* apresenta-se o interior da estrutura do decantador lamelar da ETAR que é constituído por elementos (lamelas) que aumentam expressivamente a área superficial para a sedimentação das partículas.



*Figura 3.7. Estrutura do decantador lamelar, lamelas em pormenor e compartimento para o qual é encaminhado o efluente.*

Na *Tabela 3.5* apresentam-se os reagentes utilizados no tratamento terciário, o seu constituinte principal, a forma como se preparam e a respetiva função.

*Tabela 3.5. Produtos adicionados no tratamento terciário.*

Nome do produto	Constituinte principal	Preparação	Função
<b>Sulfato de alumínio sólido</b>	Sulfato de alumínio	12 kg em 200 L de água	Coagulante
<b>Aquaprox MFA 9722</b>	Floculante aniónico de elevado peso molecular	100 a 500 g por cada 100 L de água	Floculante

O decantador lamelar auxilia o tratamento da água residual uma vez que as partículas sólidas com densidades maiores que a do efluente chocam com os elementos tubulares (lamelas) inclinados e formam flocos sedimentáveis.

Na *Figura 3.8* apresenta-se um exemplo do tratamento de efluente da ETAR no decantador lamelar (o fluxo do efluente é da direita para a esquerda).



*Figura 3.8. Decantador lamelar.*

A fase sólida, depois de sedimentada no decantador lamelar, pode ser encaminhada para o tanque SBR ou para o espessador biológico. Geralmente é encaminhada para o tanque SBR porque necessita ainda de tratamento adicional. Se não for necessário o tratamento, a fase sólida é encaminhada para o espessador e para a etapa de desidratação.

A fase líquida é encaminhada para filtros de areia para que algumas partículas sólidas pequenas que ainda possam existir fiquem retidas e de carvão ativado para adsorção de compostos orgânicos.

Na *Figura 3.9* apresenta-se a linha de tratamento terciário do processo de tratamento da ETAR da H.B. Fuller.



*Figura 3.9. Linha de tratamento terciário.*

Após o tratamento terciário, a água residual tratada em conjunto com o efluente das utilidades (vácuo da área produtiva dos *hot melt*, o rejeitado da osmose inversa e a purga da torre de refrigeração) são descarregados para o coletor municipal de efluente doméstico e encaminhados para a ETAR municipal de Leça da Palmeira após verificar se os parâmetros analisados estão abaixo do valor limite de emissão definidos para o coletor municipal.

Na *Tabela 3.6* apresentam-se os parâmetros de controlo obrigatórios segundo a licença de descarga de águas residuais da empresa com os respetivos valores limite de emissão (VLE). Todos os parâmetros necessitam de ser controladas no efluente tratado (à saída da ETAR) e os cinco primeiros necessitam de ser controlados também no efluente das utilidades. O controlo deve ser feito trimestralmente.

Os VLE consultaram-se no Regulamento n.º 586/2010, de 7 de julho de Serviços Públicos Municipais de Abastecimento de Água e Saneamento do Concelho de Vila do Conde da Indaqua.

*Tabela 3.6. Parâmetros de controlo obrigatórios segundo a licença de descarga de águas residuais.*

<b>Parâmetros</b>	<b>VLE</b>	<b>Unidades</b>
<b>pH</b>	5,5-9,5	Escala Sorensen
<b>SST</b>	1000	mg SST/L
<b>Condutividade</b>	3000	µS/cm
<b>Carência química de oxigénio (CQO)</b>	1000	mg O <sub>2</sub> /L
<b>Temperatura</b>	30	°C
<b>Hidrocarbonetos totais</b>	15	mg/L
<b>Óleos e Gorduras</b>	100	mg/L
<b>Cloretos</b>	1000	mg Cl/L
<b>Sulfatos</b>	1000	mg SO <sub>4</sub> /L
<b>Alumínio total</b>	10	mg Al/L
<b>Nitratos</b>	50	mg NO <sub>3</sub> /L
<b>Azoto amoniacal</b>	60	mg NH <sub>4</sub> /L
<b>Azoto total</b>	90	mg N/L
<b>Sulfuretos</b>	2,0	mg S/L
<b>Fenóis</b>	10	(mg C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH/L)
<b>Boro</b>	1,0	mg B/L
<b>Ferro total</b>	2,5	mg Fe/L
<b>Manganês total</b>	2,0	mg Mn/L
<b>Fósforo total</b>	20	mg P/L
<b>Cloro residual disponível total</b>	1,0	mg Cl <sub>2</sub> /L
<b>Carência bioquímica de oxigénio, ao fim de 5 dias (CBO<sub>5</sub>)</b>	500	mg O <sub>2</sub> /L
<b>Aldeídos</b>	1,0	mg/L
<b>Coliformes fecais</b>	10,0E+8	UFC/100mL

### 3.2.3.4 Tratamento de lamas

As lamas passam inicialmente por uma etapa de espessamento para garantir o envio da menor quantidade de água possível para a desidratação no filtro prensa. O filtro é constituído por telas filtrantes que necessitam de um revestimento com uma solução aquosa em suspensão de água com carbonato de cálcio para que as lamas não colmatem as telas. No processo de alimentação ao filtro-prensa, a pressão interna aumenta, acumulando os sólidos no interior do filtro. As escorrências de efluente que resultam da prensagem são encaminhadas para o SBR. No final da etapa de alimentação e compactação o equipamento é aberto e descarregado por gravidade e se necessário, com auxílio manual do operador da ETAR. Posteriormente, as lamas prensadas são armazenadas em *Big-Bags*, como representado na *Figura 3.10* e encaminhadas para o Sistema Integrado de Gestão de Resíduos (SIGR) competente. O destino final é um aterro de Resíduos Industriais Banais (RIB).



*Figura 3.10. Filtro prensa para o tratamento de lamas.*

Na *Figura 3.11* encontra-se uma imagem exemplificativa do aspeto das lamas depois de prensadas. Geralmente são lamas de textura dura.



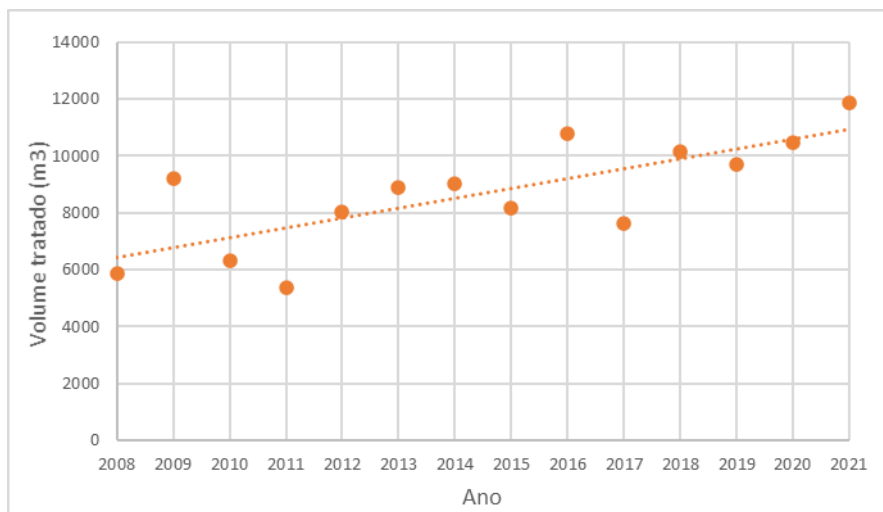
*Figura 3.11. Aspeto das lamas depois de prensadas.*

### 3.3 Condições de operação

Têm sido desenvolvidos novos produtos e o volume produtivo também tem vindo a crescer de ano para ano. Por esta razão, é notável o aumento do volume do efluente que chega à ETAR da empresa H.B. Fuller para tratar.

O tempo de duração da descarga do efluente industrial para dar início ao processo de tratamento por dia é em média 2 horas e o caudal médio é de 16 m<sup>3</sup>/h.

Na *Figura 3.12* representaram-se os volumes de água residual tratada anuais (em m<sup>3</sup>), desde 2008 até ao ano de 2021.



*Figura 3.12. Volume de água residual tratada de 2008 a 2021.*

Através da análise da *Figura 3.12* observou-se que o volume de água residual tratada tem vindo a aumentar ao longo do tempo. Em 2008 o volume tratado foi de 5868 m<sup>3</sup> e no ano de 2021 o volume tratado foi de 11882 m<sup>3</sup>. Portanto, em 13 anos o volume tratado na ETAR da empresa duplicou.

Com o aumento de caudal de efluente a necessitar de tratamento têm surgido dificuldades ao longo do processo nomeadamente no tratamento primário, na etapa de coagulação/floculação, e no tratamento secundário. A melhoria do desempenho desta etapa contribui para um aumento da eficiência global do processo de tratamento.

Este trabalho pretende contribuir para melhorar, adequar e otimizar o tratamento primário, atendendo às características do efluente e tendo também em consideração o custo dos reagentes empregues e o seu desempenho.

## 4 Descrição experimental

### 4.1 Caracterização da água residual

O controlo analítico do processo de tratamento fornece uma avaliação imediata do estado do processo de tratamento (Inocêncio, 2012).

As análises são usualmente realizadas por um laboratório externo. Os parâmetros que costumam ter valores elevados (acima do VLE) são o ferro, o azoto amoniacal e total, a CBO<sub>5</sub> e CQO. Por essa razão, esses vão ser os principais parâmetros a ser analisados neste trabalho.

As análises laboratoriais realizaram-se no laboratório de Tecnologia Química, do Departamento de Engenharia Química do ISEP.

A caracterização à água residual realizou-se em diferentes pontos de amostragem (representados no fluxograma da *Figura 3.1*). Existem vários pontos de amostragem possíveis na empresa, um deles encontra-se fora das instalações da ETAR da empresa, designado como industrial das colas brancas, onde se reúne toda a água residual proveniente da limpeza de máquinas e da respetiva secção. O efluente industrial consiste na mistura dos efluentes das colas brancas, da área produtiva dos polímeros (de limpeza de reatores, misturadores e da utilização da técnica de vácuo) e da lavagem de embalagens. Os restantes pontos (início e final do tratamento físico-químico, início e final do tratamento biológico e início e final do tratamento terciário) acompanham o funcionamento dos três tipos de tratamento realizados no processo, e por isso foram os pontos de amostragem utilizados.

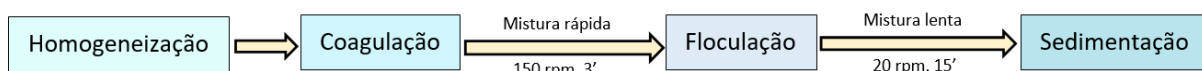
A caracterização executada nos pontos vários de amostragem permite diferenciar a contribuição das águas residuais provenientes de diferentes áreas, e uma avaliação da eficiência de cada etapa.

Foram realizados estudos para os efluentes industriais correspondentes aos produtos que são produzidos de forma mais frequente para otimizar o respetivo processo de tratamento. Para a caracterização da água residual antes e após os tratamentos testados, analisaram-se parâmetros como pH, condutividade, turvação (Metcalf & Eddy, 2003), carbono orgânico total (COT), azoto total, ferro e carência química de oxigénio (CQO) (APHA, 2012).

### 4.2 Otimização do tratamento primário

Realizaram-se testes com diferentes coagulantes e floculantes para se avaliar quais os mais adequados ao tratamento primário e fazer a respetiva otimização das condições de operação. Pretende-se avaliar se existe a necessidade de mudar os reagentes que atualmente se usam e avaliar se estão a ser utilizados nas condições mais adequadas.

Para a realização de ensaios de controlo à escala laboratorial utilizou-se o método Jar Test, *Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water*, cuja metodologia se encontra representada na *Figura 4.1*.



*Figura 4.1 Metodologia da utilização do método Jar Test.*

O objetivo dos testes de coagulação/floculação é a otimização, tanto dos custos de operação (consumo de reagentes) como do seu desempenho.

A identificação do pH e dosagens ótimas permite reduzir o custo do tratamento tendo sempre em vista o melhor desempenho possível, isto é, sobrenadante o mais clarificado possível e volume de lamas menor. Pretende-se obter dos menores índices de cor e turvação possíveis e assegurar a ausência de matéria dissolvida e coloidal no efluente. Neste processo de decisão, entre um volume mais baixo e um mais elevado com resultados semelhantes, o ideal é optar-se pela dosagem menor.

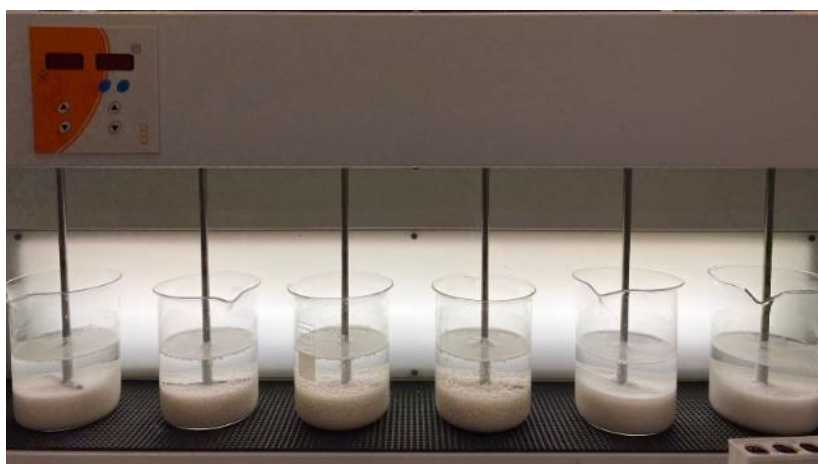
As amostras de efluente industrial bruto para a realização dos ensaios foram recolhidas nos meses de março, abril e maio, em dois dias por semana. O efluente recolhido apresentava cor branca opaca com aparência leitosa e odor é muito semelhante ao da cola.

Na *Figura 4.2* encontra-se um exemplo da aparência do efluente industrial bruto.



*Figura 4.2 Efluente industrial bruto*

Foi utilizado o equipamento Jar Test da marca ISCO, representado na *Figura 4.3*, que é composto por seis pás de agitação com igual configuração e tamanho que agitam a velocidade controlada e por uma iluminação que auxilia na observação de formação de flocos (Couceiro, D.).



*Figura 4.3 Equipamento Jar Test.*

As etapas do procedimento são:

- Determinação da dosagem mínima de coagulante (isto é, a dosagem mínima que produz microflocos visíveis a olho nu) a pH 7. Aplicar a mesma dosagem mínima e ajustar a diferentes valores de pH (6; 6,5; 7; 7,5; 8; 9) com o intuito de se avaliar o valor de pH ótimo. Para a realização dos acertos de pH utilizaram-se soluções de hidróxido de sódio e ácido clorídrico. Agitar rapidamente durante 3 minutos a uma velocidade de 150 rpm e 15 minutos lentamente a 20 rpm;
- Adição de dosagens crescente de coagulante a partir da mínima e ajustar ao valor de pH ótimo com o objetivo de identificar a dosagem de coagulante ótima. Submeter a agitação rápida e lenta tal como na etapa anterior;
- Com o propósito de avaliar o efeito da adição de um floculante e as respetivas dosagens, em ensaios contendo a dosagem ótima de coagulante e com ajuste ao pH ótimo, adicionam-se volumes crescentes de floculante no início da etapa de agitação lentamente (Soares, et al., 2012). Em alguns casos houve mais do que uma dosagem a obter bons resultados (sobrenadante límpido e boa velocidade de sedimentação dos flocos). Nesses casos, retiraram-se amostras dos diferentes volumes adicionados do mesmo floculante e compararam-se os resultados.
- As amostras de sobrenadante dos ensaios com melhores resultados visuais foram caracterizadas.

A descrição detalhada do procedimento encontra-se no Anexo B.

A finalidade destes ensaios consiste na avaliação da razão custo/benefício entre as diferentes dosagens consoante os resultados obtidos.

Neste trabalho testaram-se sete coagulantes e quatro de floculantes que se identificam na *Tabela 4.1*. Entre parêntesis apresentam-se as designações para cada um dos coagulantes e floculantes que se utilizaram ao longo do trabalho. As fichas técnicas de cada coagulante e floculante utilizados encontram-se no Anexo C.

*Tabela 4.1. Coagulantes e floculantes testados.*

Função	Produto comercial	Função	Produto comercial
Coagulante	AQUAPROX MFC 1013 (C1013)	Floculante	Superfloc A 150 (FSUPERFLOC)
	AQUAPROX MFC 1024 (C1024)		
	AQUAPROX MFC 9993 (C9993)		AQUAPROX MFA 9722 (F9722)
	AQUAPROX MFC 9997 (C9997)		
	Kemira PAX 10 (CPAX10)		AQUAEPUR 520A (F520A)
	Kemira PAX 18 (CPAX18)		
	Sulfato de alumínio (CSULFALMUN)		AQUAEPUR 530A (F530A)

Começou-se pela realização de testes com o coagulante (Kemira PAX 10) e floculante (Aquaprox MFA 9722) utilizados na ETAR atualmente. Depois testaram-se os sete coagulantes e os quatro floculantes.

Para avaliar a eficiência dos ensaios de coagulação/floculação, foram retiradas amostras antes do tratamento e dos sobrenadantes de cada ensaio realizado e analisaram-se alguns parâmetros físico-químicos.

### 4.3 Parâmetros avaliados

Descrevem-se em seguida os vários parâmetros avaliados na água residual.

- pH

A concentração de iões de hidrogénio é um importante parâmetro de qualidade tanto de águas naturais quanto de efluentes. As águas residuais que contém uma grande concentração de iões de hidrogénio são extremamente difíceis de tratar pela via biológica. O tratamento ao efluente resulta melhor na faixa de pH entre 6,5 e 8,5 (Metcalf & Eddy, 2003).

O equipamento utilizado na medição era da marca WTW e o modelo é pH 340.

- Condutividade

A condutividade elétrica consiste numa medida da capacidade de uma solução para conduzir uma corrente elétrica. Como a corrente elétrica é transportada pelos iões em solução, a condutividade aumenta à medida que a concentração de iões aumenta. Este parâmetro pode ser usado para estimar a concentração total de sólidos dissolvidos (TDS) na água residual (Metcalf & Eddy, 2003).

Neste trabalho a condutividade foi medida através de um eletrodo da marca Hach. As unidades SI de condutividade elétrica são expressas em mS/m (Metcalf & Eddy, 2003).

- Turvação

As matérias sólidas em suspensão originam turvação (Couceiro, 2018). A turvação consiste numa medida da transmissão da luz na água e depende do número, do tipo e da dimensão dos materiais que se encontram suspensos e mede-se em formazin turbidity units (FTU). Se a matéria coloidal suspensa estiver presente, absorve a luz e impede a transmissão da mesma (Metcalf & Eddy, 2003).

Geralmente, quando a água residual possui níveis de turvação mais elevados são necessárias, maiores dosagens de coagulante. Isto porque as partículas estão mais concentradas na água e é necessário provocar mais colisões entre as mesmas (Alves, 2010).

O tratamento da água residual é tanto mais eficiente, quanto menor a turvação da água (Carneiro, 2013). Para a medição da turvação utilizou-se o equipamento DR/2000 *Direct Reading Spectrophotometer* (450 nm).

- Ferro

O método utilizado para determinar o ferro neste trabalho foi o da absorção atómica. A absorção atómica consiste na absorção da radiação eletromagnética por átomos gasosos no seu estado fundamental. Geralmente é utilizada para a determinação quantitativa de elementos como o ferro e pode ser utilizada numa gama de amostras muito variada como águas, solos, etc (Krug, 2004).

O atomizador utilizado neste trabalho foi a chama e as determinações realizaram-se na unidade de mg/L. O equipamento utilizado é o espectrofotómetro de absorção atómica GBC 904AA.

- Azoto total

O azoto total consiste na soma de todas as formas de azoto presentes na água, isto é, inclui o azoto orgânico, amoniacal, nitratos e nitritos. Neste trabalho determinou-se o teor de azoto total por um método de oxidação catalítica a temperatura elevada (680 °C), utilizando-se um equipamento COT-V CSN em conjunto com uma unidade de determinação de azoto total TNM-1 da marca *Shimadzu*. Este equipamento é de análise automática e fornece-nos resultados em mg/L de azoto total (Shimadzu, 2022).

- Carbono orgânico total

O carbono orgânico total (COT) mede a quantidade de carbono orgânico presente na água residual. Neste trabalho determinou-se o teor de carbono orgânico no efluente da ETAR utilizando-se um equipamento COT-V CSN da marca *Shimadzu* que possui a capacidade de realizar o processo de oxidação para compostos orgânicos. Este equipamento é de análise automática e mede o CO<sub>2</sub> correspondente à componente do carbono inorgânico, e a componente do carbono total em que oxida todos os compostos para a forma de CO<sub>2</sub>. A partir dos valores do carbono total e o inorgânico, o equipamento calcula o COT (Shimadzu, 2022).

- Carência bioquímica de oxigénio

A carência bioquímica de oxigénio (CBO<sub>5</sub>) mede a quantidade de oxigénio consumida pelos microrganismos na degradação da matéria orgânica a uma temperatura de 20 °C durante 5 dias.

O método utilizado para a determinação do CBO é o respirométrico (5210 CBO<sub>5</sub> D) e é indicado para determinação da biodegradação de químicos, tratamento de resíduos orgânicos industriais, entre outros (APHA, 2012).

Os respirómetros usados são os manométricos nos quais se relaciona o consumo de oxigénio com a mudança de pressão causada pelo consumo do mesmo, mantendo um volume constante. Os resultados são recolhidos automaticamente em formato digital. O decréscimo de pressão determina o consumo de oxigénio, uma vez que na presença de hidróxido de sódio o dióxido de carbono é absorvido.

Realiza-se a determinação utilizando tampas OxiTop (WTW). Os primeiros passos são a homogeneização e o ajuste a pH neutro. Quando aplicável, pode realizar-se a diluição da amostra com água de diluição (água desionizada com nutrientes e o inóculo). A incubação é realizada a 20 °C durante 5 dias ao abrigo da luz (APHA, 2012).

- Carência química de oxigénio

A carência química de oxigénio (CQO) mede a matéria orgânica e inorgânica quimicamente oxidável presente na água, avaliada através do consumo de oxigénio equivalente ao dicromato consumido na oxidação química (em condições específicas).

A determinação da CQO é geralmente realizada por digestão em refluxo fechado (5220 CQO D) pois é um método mais económico, requer menor volume de reagentes, produz menor quantidade de resíduo perigoso mas, em contrapartida, requer maior cuidado de homogeneização das amostras para que os resultados sejam reprodutíveis (APHA, 2012).

O método utilizado foi o método colorimétrico. As substâncias orgânicas (e inorgânicas oxidáveis) presentes na amostra são oxidadas com uma mistura de dicromato de potássio e ácido sulfúrico levada à ebulição (150 °C) durante 2 horas, isto é, o  $\text{Cr}^{6+}$  oxida a matéria orgânica e reduz-se a  $\text{Cr}^{3+}$ . Estes iões de crómio possuem cor e absorvem na região de comprimento de onda visível do espectro. O ião dicromato absorve intensamente na região de 400 nm enquanto que o ião  $\text{Cr}^{3+}$  absorve pouco a esse comprimento de onda. O  $\text{Cr}^{3+}$  absorve na região dos 600 nm e o dicromato praticamente não absorve. A determinação é realizada utilizando uma curva de calibração (APHA, 2012).

As análises de ferro e CQO com resultados elevados podem estar relacionadas visto que o  $\text{Fe}^{2+}$  pode ser oxidado ao mesmo tempo do que a matéria orgânica (APHA, 2012).

## 5 Resultados e discussão

### 5.1 Caracterização da água residual

Caracterizou-se a água residual nos pontos de amostragem que se encontram ao longo do processo tratamento da ETAR quanto aos parâmetros pH, condutividade, turvação, CQO, COT, azoto total e ferro. A amostra retirada após o tratamento biológico não foi submetida à etapa de decantação que ocorre no tanque de equalização 2, no entanto este foi o ponto de amostragem escolhido por questões de segurança. Considerou-se o final do tratamento biológico igual ao início do tratamento terciário.

Os resultados da caracterização apresentaram-se na *Tabela 5.1* e comparam-se com os respetivos VLE que foram consultados no Regulamento de Serviços Públicos Municipais de Abastecimento de Água e Saneamento do Concelho de Vila do Conde.

*Tabela 5.1 Resultados da análise à água residual.*

	pH	Condutividade (mS/cm)	Turvação (FTU)	CQO (mg/L)	COT (mg/L)	Azoto total (mg/L)	Ferro (mg/L)
<b>VLE</b>	<b>5,5- 9,5</b>	3,00	-	<b>1000</b>	-	90	2,5
<b>Início FQ</b>	6,36	3,27	6225	19925	6952	382,77	< LOQ
<b>Final FQ</b>	6,9	3,53	1975	5300	1894	398,65	< LOQ
<b>Início Biológico</b>	7,25	4,26	775	1010	1084	513,81	< LOQ
<b>Final Biológico</b>	7,4	4,28	3775	5750	2044	529,17	< LOQ
<b>Final Terciário</b>	7,37	3,92	351	803	725,30	520,70	< LOQ

Com esta caracterização foi possível concluir-se que a condutividade se encontra ligeiramente acima do VLE permitido pela licença de descarga da ETAR da empresa H.B. Fuller, gerida pela Indaqua.

Como a condutividade não tem tido registo de valores acima do VLE nas análises feitas trimestralmente pelo laboratório externo estes resultados não foram considerados relevantes.

O valor final de CQO foi elevado mas cumpriu com o VLE.

O teor de azoto total foi muito elevado, mesmo depois de todo o tratamento realizado. A justificação para a obtenção deste resultado pode ser a falta de arejamento na data em que foi recolhida a amostra.

As amostras não apresentaram ferro visto que os resultados obtidos foram todos abaixo da curva de calibração que se apresenta no Anexo D.

Na *Figura 5.2* representaram-se na forma gráfica os resultados de percentagem de remoção de cada parâmetro ao longo do processo de tratamento (final FQ, final biológico e final terciário e global).

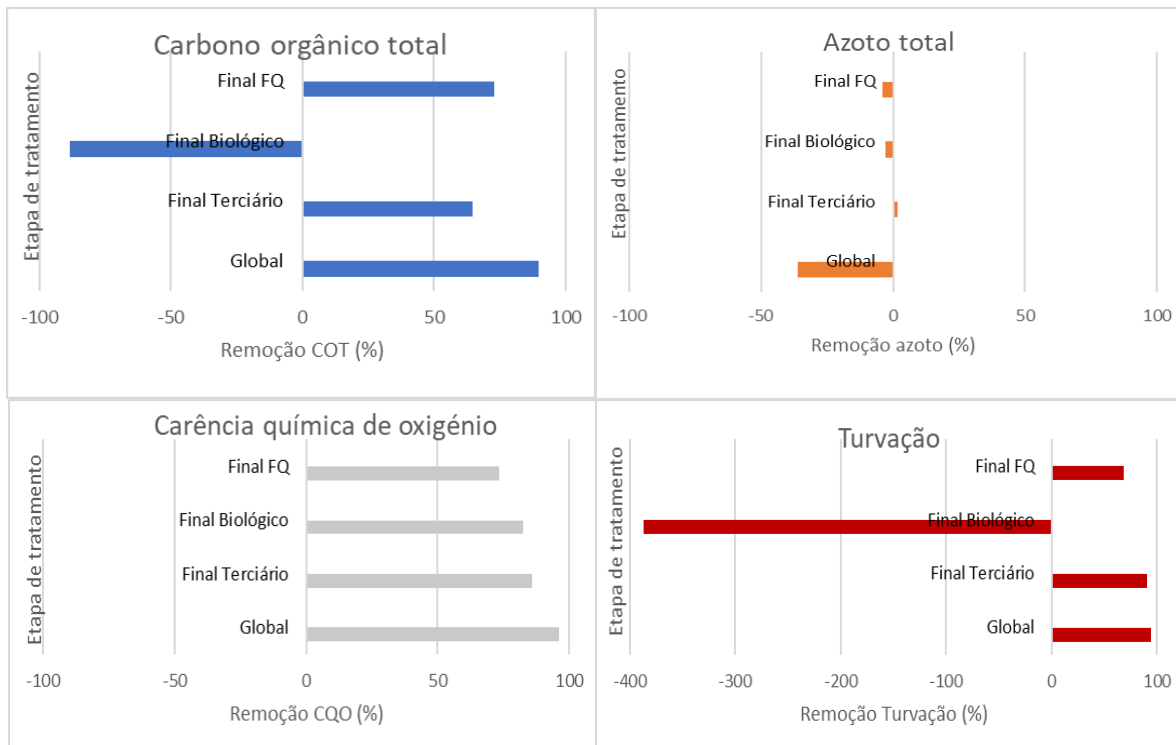


Figura 5.1. Resultados da remoção de COT, azoto total, CQO e turvação, em %, ao longo do processo de tratamento e de forma global.

Da análise conjunta da *Tabela 5.1* e da *Figura 5.1* concluiu-se que a maioria a remoção de COT e turvação ocorre exclusivamente no tratamento primário e terciário. A CQO foi removida gradualmente ao longo do tratamento, sendo que a remoção global foi de 95%. A remoção de azoto total apenas ocorreu no tratamento terciário (1,6%). Ao longo do tratamento físico químico e biológico o teor de azoto aumentou.

De facto o tratamento secundário (biológico) não contribui para o tratamento global devido à baixa biodegradabilidade do efluente industrial. A razão  $CBO_5/CQO$  que consiste no parâmetro que indica a biodegradabilidade de um efluente, nas análises de controlo realizadas por um laboratório externo geralmente varia de 0,1 a 0,4. Isto significa que a água residual da empresa não é facilmente biodegradável e, por essa razão, não seria de esperar uma elevada remoção de COT e CQO. Por outro lado, o facto de se ter recolhido a amostra pós tratamento biológico antes da etapa de decantação influenciou significativamente os valores dos parâmetros COT, CQO e turvação.

Assim, considerou-se que a otimização do funcionamento da etapa de coagulação/ floculação, incluída no tratamento primário, seria a melhor estratégia para melhorar a eficiência global do tratamento.

## 5.2 Testes de tratabilidade (Jar Test)

### 5.2.1 Kemira PAX 10

Os primeiros ensaios no *Jar Test* realizaram-se com o coagulante Kemira PAX 10, que tem vindo a ser utilizado na ETAR da empresa, cuja composição é polihidroxiclorsulfato de alumínio. O objetivo foi replicar o tratamento primário (físico-químico) que atualmente está a ser utilizado na ETAR e

avaliar se o coagulante e o floculante estavam a ser utilizados nas condições de pH e dosagem adequadas.

A partir de uma análise visual ao aspeto de sobrenadante, tamanho e velocidade de sedimentação dos flocos formados, concluiu-se que a dosagem mínima de coagulante era de 6 mL por cada 1 L de água residual, coincidindo com o valor da dosagem ótima. O pH ótimo era de 7,0.

Para este coagulante realizaram-se ainda ensaios com diferentes floculantes: Aquaprox MFA 9722, Aquaepur 520A, Aquaepur 530A e Superfloc A 150. O pH e as dosagens de coagulante e floculante apresentam-se na *Tabela 5.2*.

*Tabela 5.2. Dados relativos aos ensaios utilizando o coagulante Kemira PAX 10 e os floculantes Aquaprox MFA 9722, Aquaepur 520A, Aquaepur 530A e Superfloc A 150.*

pH	Coagulante	Dosagem de coagulante ótima (mL/m <sup>3</sup> )	Floculante	Dosagem de floculante (mL/ m <sup>3</sup> )
7,0	Kemira Pax 10	6000	AQUAPROX MFA 9722	2000
				5000
			AQUAEPUR 520A	3000
			AQUAEPUR 530A	2000
				3000
			Superfloc A 150	6000

Na *Figura 5.2* apresentam-se os resultados obtidos dos parâmetros analisados para os vários ensaios realizados com o coagulante Kemira PAX 10 comparativamente com a água residual industrial sem tratamento. As dosagens de coagulante e floculante encontram-se em mL/L de água residual.

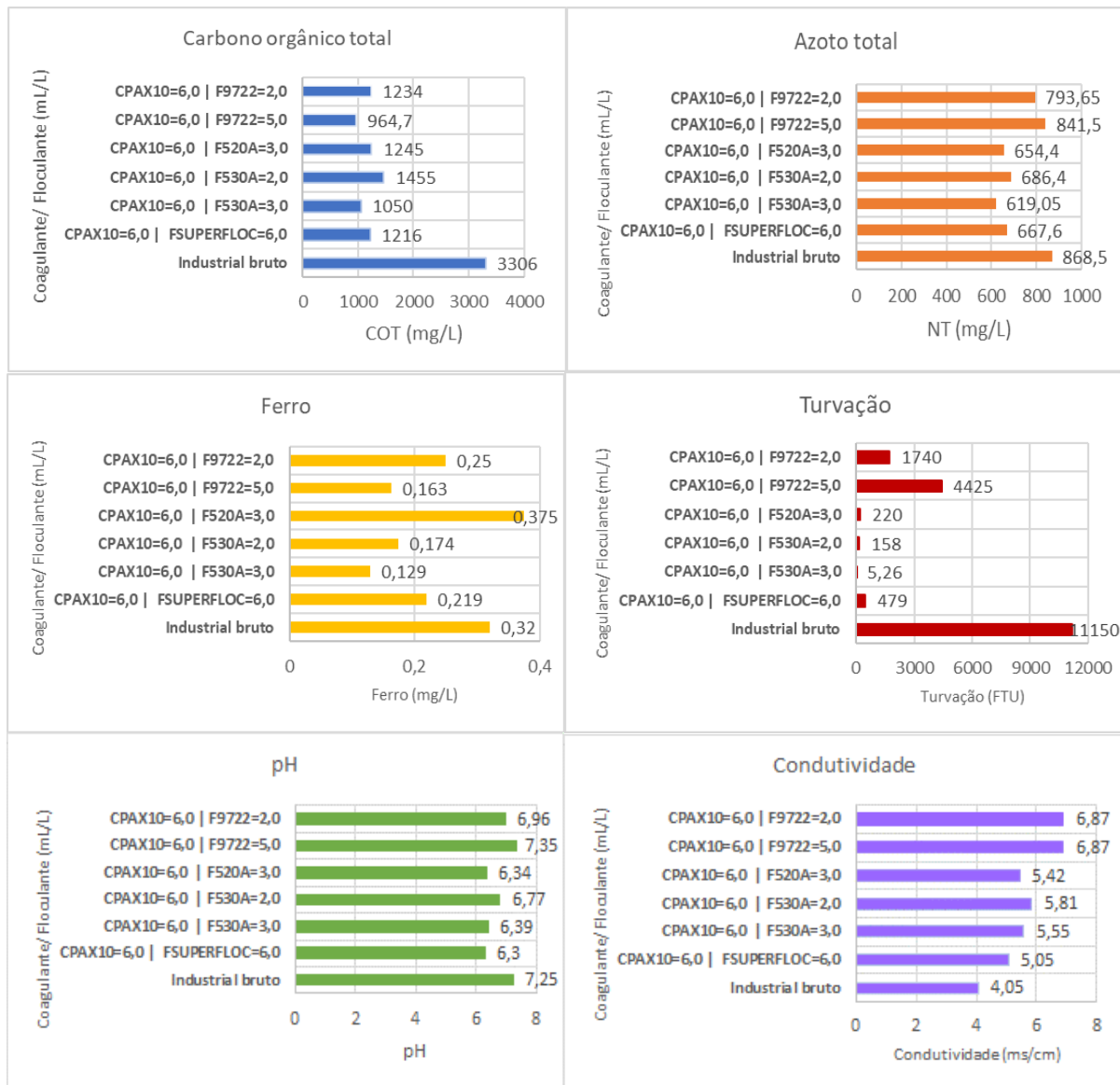


Figura 5.2 Resultados de carbono orgânico total e azoto total, ferro, turvação, pH e condutividade utilizando o coagulante Kemira PAX 10 para diferentes dosagens de floculante.

Através da observação da figura pode-se concluir que, comparativamente com os resultados das análises à água residual sem tratamento, após a adição do coagulante e do floculante verificou-se uma diminuição significativa, de 55 (CPAX10=6,0 | F530A=2,0) a 70% (CPAX10=6,0 | F9722=5,0) no teor de COT e uma diminuição ainda mais significativa, de 60 (CPAX10=6,0 | F9722=5,0) a 99% (CPAX10=6,0 | F530A=3,0) na turvação.

Verificou-se apenas uma ligeira diminuição no teor de azoto total, entre 3 (CPAX10=6,0 | F9722=5,0) e 29% (CPAX10=6,0 | F530A=3,0), relativamente à água residual sem tratamento. Portanto, depois de passar pelo tratamento físico-químico, a água residual apresentava ainda valores de azoto total acima do VLE (90 mg/L) permitido pela licença de descarga da empresa H.B. Fuller no coletor Municipal (gerido pela Indaqua). Para cumprir o VLE é necessário continuar o tratamento à água residual de forma a diminuir o teor de azoto.

O teor de ferro foi semelhante em todas as amostras (variou entre 0,1 a 0,4 mg Fe/L). De acordo com a licença de descarga da ETAR o VLE é de 2,5 mg Fe/L, e por isso o VLE é respeitado.

O pH final dos ensaios variou entre 6 e 7,5, cumprindo sempre a gama regulamentada. Uma vez que o pH utilizado no ensaio realizado com o floculante Aquaprox MFA 9722 foi 6,0, a adição do coagulante ou floculante levou a um aumento do pH. No ensaio com o floculante Superfloc A 150 o pH da água residual tratada aumentou ligeiramente, enquanto que nos ensaios em que foram utilizados os floculantes Aquaepur 520A e 530A o pH diminuiu ligeiramente.

A condutividade aumentou ligeiramente com a adição do coagulante/ floculante em relação à água residual industrial sem tratamento, no entanto este aumento não é significativo.

De forma global, o ensaio com melhores resultados foi o realizado com o coagulante Kemira PAX 10 e o floculante Aquaepur 530A (CPAX10=6,0 | F530A=3,0) visto que foi o apresentou um menor teor de carbono orgânico total, de azoto (embora acima do VLE), ferro e o segundo melhor resultado de condutividade. Para além disso, este foi o ensaio em que se removeu mais turvação.

## 5.2.2 Kemira PAX 18

Realizaram-se também ensaios com o coagulante Kemira PAX 18 cujo principal componente é polihidroxiclreto de alumínio.

A partir da observação do aspeto de sobrenadante, tamanho e velocidade de sedimentação dos flocos formados, concluiu-se que a dosagem mínima de coagulante era de 2 mL por cada 1 L de água residual e o pH ótimo era de 6,5.

Para este coagulante realizaram-se ainda ensaios com diferentes floculantes: Aquaprox MFA 9722, Aquaepur 520A, Aquaepur 530A e Superfloc A 150. Os resultados obtidos encontram-se na [Tabela 5.3](#). O conjunto do coagulante com o floculante Aquaepur 520A não resultou porque não se formaram flocos logo não foi retirada uma amostra a esse ensaio e, por essa razão, não se encontra apresentada na [Tabela 5.3](#).

*Tabela 5.3. Dados relativos aos ensaios utilizando o coagulante Kemira PAX 18 e os floculantes Aquaprox MFA 9722, Superfloc A 150 e Aquaepur 530A.*

pH	Coagulante	Dosagem de coagulante ótima (mL/m <sup>3</sup> )	Floculante	Dosagem de floculante (mL/m <sup>3</sup> )
6,5	Kemira Pax 18	3000	AQUAPROX MFA 9722	2000
				3000
			AQUAEPUR 530A	2000
				3000
			Superfloc A 150	3000

Analisaram-se alguns parâmetros para os vários ensaios realizados com o coagulante Kemira PAX 18 comparativamente com a água residual industrial sem tratamento. Os resultados apresentam-se na [Figura 5.3](#), as dosagens de coagulante e floculante encontram-se em mL/L de água residual.

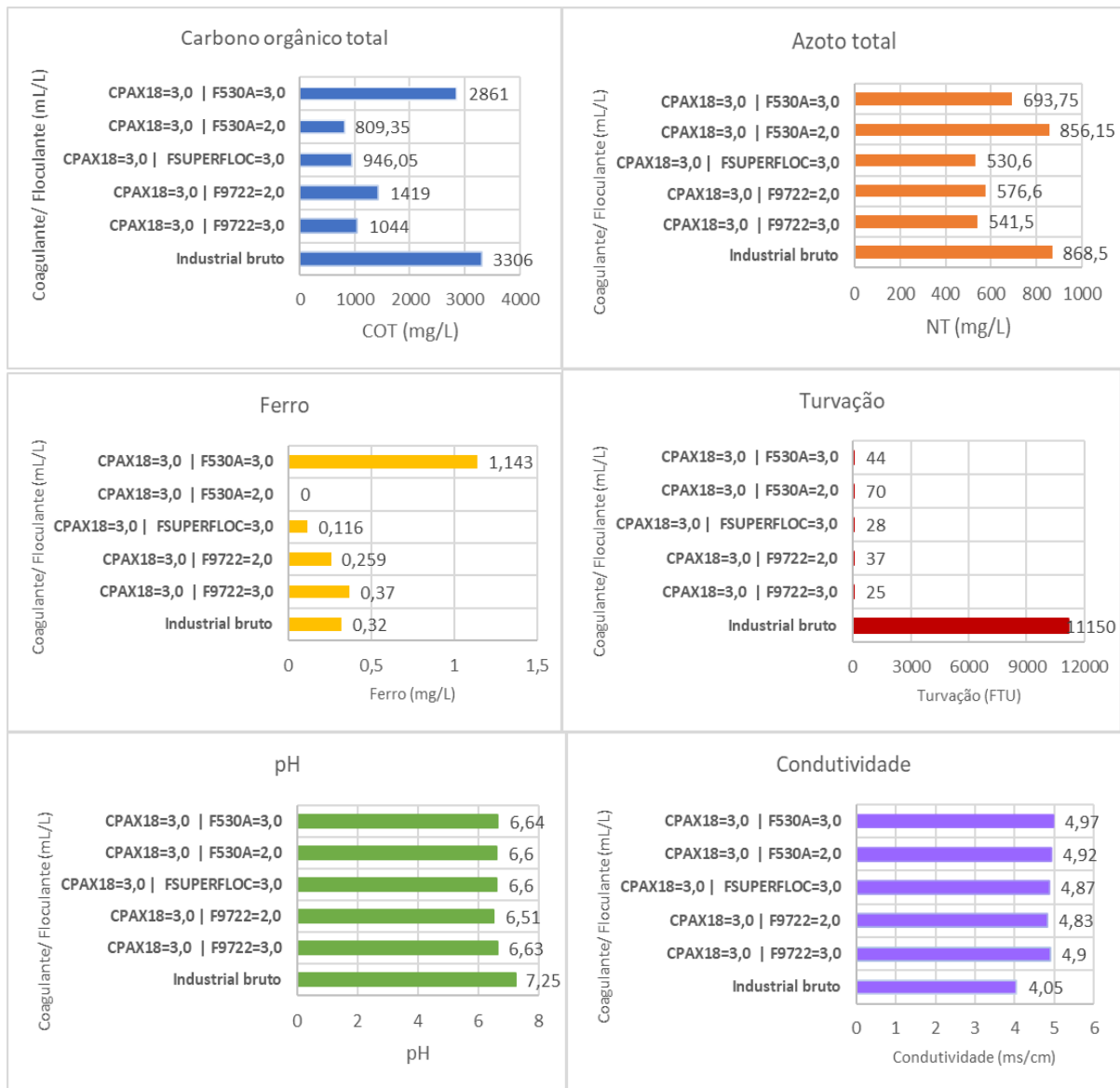


Figura 5.3. Resultados de carbono orgânico total e azoto total, ferro, turvação, pH e condutividade utilizando o coagulante Kemira PAX 18 para diferentes dosagens de floculante.

Através da observação da figura conclui-se que, relativamente aos resultados das análises à água residual sem tratamento, a adição do coagulante e do floculante diminui consideravelmente o teor de COT, tendo-se verificado uma remoção mínima de 13 (CPAX18=3,0 | F530A=3,0) e máxima de 75% (CPAX18=3,0 | F530A=2,0).

Embora a adição do coagulante permita diminuir substancialmente a turvação, a adição do floculante vem aumentar muito a eficiência de remoção atingindo-se pelo menos 99% em todos os ensaios.

Através da análise ao gráfico do azoto total pode notar-se uma diminuição entre 1 (CPAX18=3,0 | F530A=2,0) e 39% (CPAX18=3,0 | FSUPERFLOC=3,0) quando comparado com a água residual sem tratamento. Mesmo depois do tratamento, a água depois do tratamento físico químico ainda continha teores de azoto total acima do VLE (90 mg/L) permitido pela licença de descarga da empresa no coletor Municipal. No entanto, como a água residual ainda vai sofrer outras etapas de tratamento e o

VLE é definido para o efluente descarregado no coletor municipal, é necessário verificar se após essas etapas o VLE está a ser cumprido.

O teor de ferro, sendo baixo na água residual antes do tratamento, permaneceu abaixo do VLE após tratamento tendo-se registado valores entre inferiores a 1,4 mg Fe/L.

Quanto ao pH da água residual com adição de coagulante/floculante a variação foi muito pequena entre os ensaios (entre 6,5 e 6,7) encontrando-se na gama 5,5 a 9,5 prevista para a descarga desta água residual.

Comparativamente com a água residual industrial sem tratamento, a condutividade aumentou ligeiramente com a adição do coagulante/ floculante embora não seja uma alteração muito significativa.

Os ensaios que se destacaram devido aos seus melhores resultados foram com o coagulante Kemira PAX 18 e o floculante Superfloc A 150 (CPAX18=3,0 | FSUPERFLOC=3,0) e com o floculante Aquaprox MFA 9722 (CPAX18=3,0 | F9722=3,0), em termos dos parâmetros de carbono orgânico total, azoto e de ferro. A redução de turvação também foi muito elevada correspondendo a 99,7%, o que representa uma elevada remoção dos sólidos em suspensão.

### 5.2.3 AQUAPROX MFC 1013

Testou-se também um coagulante com componentes de origem biológica, o Aquaprox MFC 1013, que é constituído por taninos (que são polifenóis de origem vegetal).

Analisando visualmente o aspeto de sobrenadante, o tamanho e velocidade de sedimentação dos flocos formados determinou-se que a dosagem mínima de coagulante era de 7 mL por cada 1 L de água residual, que coincide com a dosagem ótima. O pH ótimo foi de 7,0.

Executaram-se ensaios com os floculantes Aquaprox MFA 9722 e Aquaepur 530A e retiram-se amostras dos melhores resultados. O pH e as dosagens de coagulante e floculante apresentam-se na *Tabela 5.4*.

*Tabela 5.4. Dados relativos aos ensaios utilizando o coagulante AQUAPROX MFC 1013 e os floculantes Aquaprox MFA 9722 e Aquaepur 530A.*

pH	Coagulante	Dosagem de coagulante ótima (mL/m <sup>3</sup> )	Floculante	Dosagem de floculante (mL/m <sup>3</sup> )
7,0	AQUAPROX MFC 1013	7000	AQUAPROX MFA 9722 AQUAEPUR 530A	2000

Na *Figura 5.4* apresentam-se os resultados da análise de alguns parâmetros aos ensaios nos quais, visualmente, se verificaram melhores eficiências de remoção de lamas. As dosagens de coagulante e floculante encontram-se em mL/L de água residual.

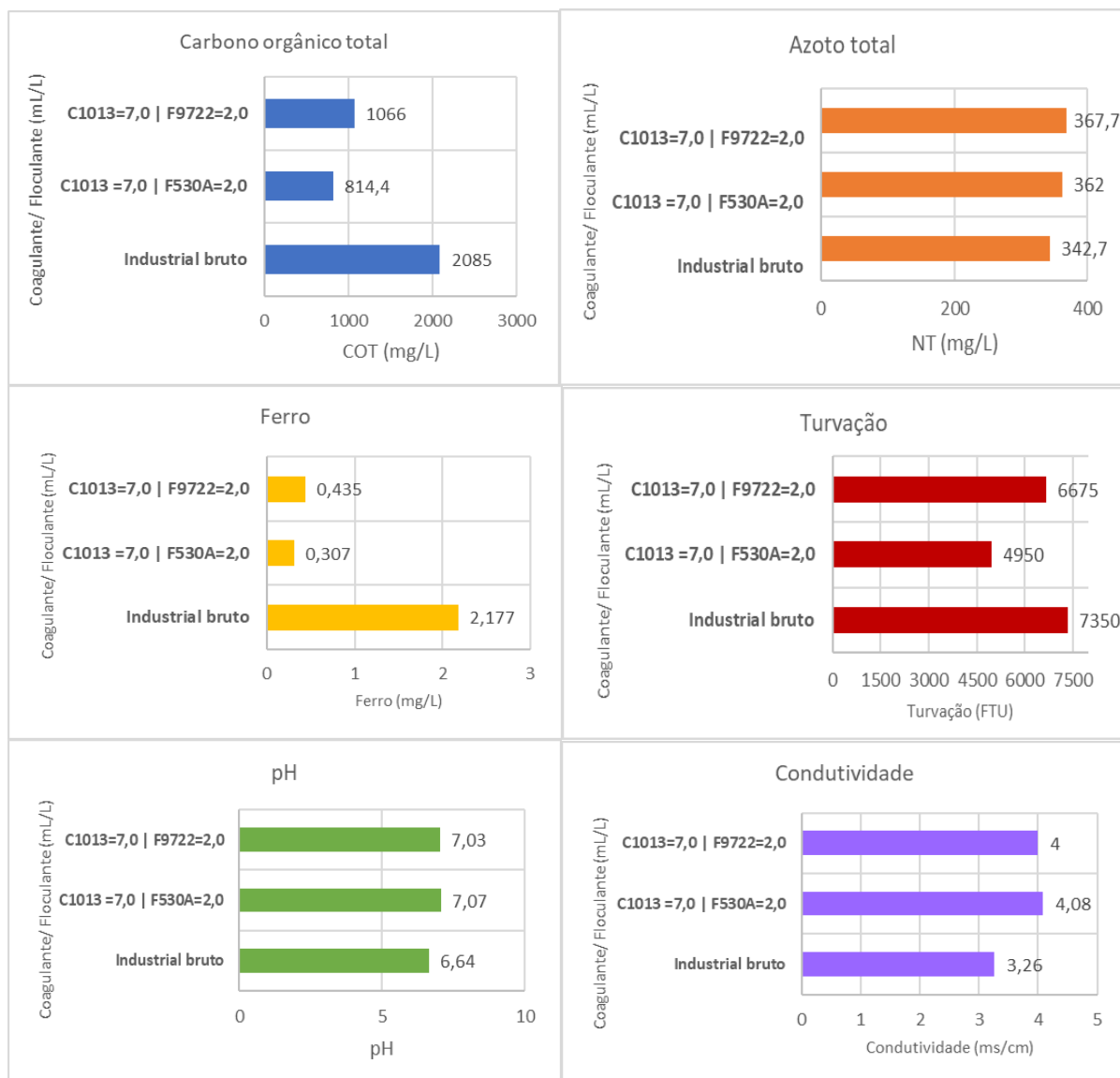


Figura 5.4. Resultados de carbono orgânico total e azoto total, ferro, turvação, pH e condutividade utilizando o coagulante Aquaprox MFC 1013 para diferentes dosagens de floculante.

Observando a figura pode-se concluir que, relativamente aos resultados das análises à água residual sem tratamento, a adição do coagulante e do floculante reduziu o teor de COT cerca de 13% no ensaio C1013 =7,0 | F530A=2,0 e 26% no ensaio C1013=7,0 | F9722=2,0.

Verificou-se uma remoção de turvação de 9% quando utilizado o floculante Aquaprox MFA 9722 (C1013=7,0 | F9722=2,0) e 32% quando utilizado o Aquaepur 530A (C1013 =7,0 | F530A=2,0). Por esse motivo, pode-se constatar que, quanto à turvação, o último foi o floculante que resultou melhor.

O teor de azoto total aumentou cerca de 5% no ensaio C1013 =7,0 | F530A=2,0 e 7% no ensaio C1013=7,0 | F9722=2,0, em comparação com a água residual sem tratamento. Logo, a água residual tratada possui um valor de azoto total acima do VLE (90 mg/L) que é permitido pela licença de descarga.

O teor de ferro encontra-se dentro do VLE permitido tanto na água residual sem tratamento como na tratada. A adição do coagulante/ floculante fez com que o teor de ferro diminuisse ligeiramente, o que

se pode deduzir que se deve à adição de coagulante visto que nos outros ensaios com coagulantes e floculantes diferentes o mesmo não aconteceu.

Quanto ao pH da água residual com adição de coagulante/floculante a variação foi mínima entre os ensaios (variação de 0,04).

A água residual tratada aumentou ligeiramente a condutividade com a adição do coagulante/floculante. O aumento não foi significativo.

Conclui-se que o ensaio C1013 =7,0 | F530A=2,0 se destaca em relação ao C1013=7,0 | F9722=2,0 em virtude dos seus baixos resultados no carbono orgânico total, azoto total, ferro e turvação. Como exceção tem-se o parâmetro da condutividade mas, considerando que a diferença entre os dois ensaios foi de 0,08 mS/cm, não é significativa.

## 5.2.4 AQUAPROX MFC 1024

O Aquaprox MFC 1024 consiste num coagulante com uma mistura de composição de origem orgânica e mineral, em que a parte orgânica provém do amido.

Na realização dos ensaios realizou-se uma análise visual ao aspeto de sobrenadante, tamanho e velocidade de sedimentação dos flocos formados pelo que foi possível concluir que a dosagem mínima de coagulante era de 6 mL por cada 1 L de água residual. Foram utilizados os floculantes Aquaprox MFA 9722 e Aquaepur 530A e testaram-se dois valores de pH, 6,0 e 7,0. Na *Tabela 5.5*, apresentam-se os valores de pH e as dosagens de coagulante e floculante, correspondentes aos melhores ensaios.

*Tabela 5.5. Dados relativos aos ensaios utilizando o coagulante AQUAPROX MFC 1024 e os floculantes Aquaprox MFA 9722 e Aquaepur 530A.*

pH	Coagulante	Dosagem de coagulante ótima (mL/m <sup>3</sup> )	Floculante	Dosagem de floculante (mL/m <sup>3</sup> )
7,0	AQUAPROX MFC 1024	7000	AQUAPROX MFA 9722	2000
7,0			AQUAEPUR 530A	4000
7,0				3000
6,0				3000

Os resultados obtidos das análises ao sobrenadante representaram-se na *Figura 5.5* e as dosagens de coagulante e floculante encontram-se em mL/L de água residual.

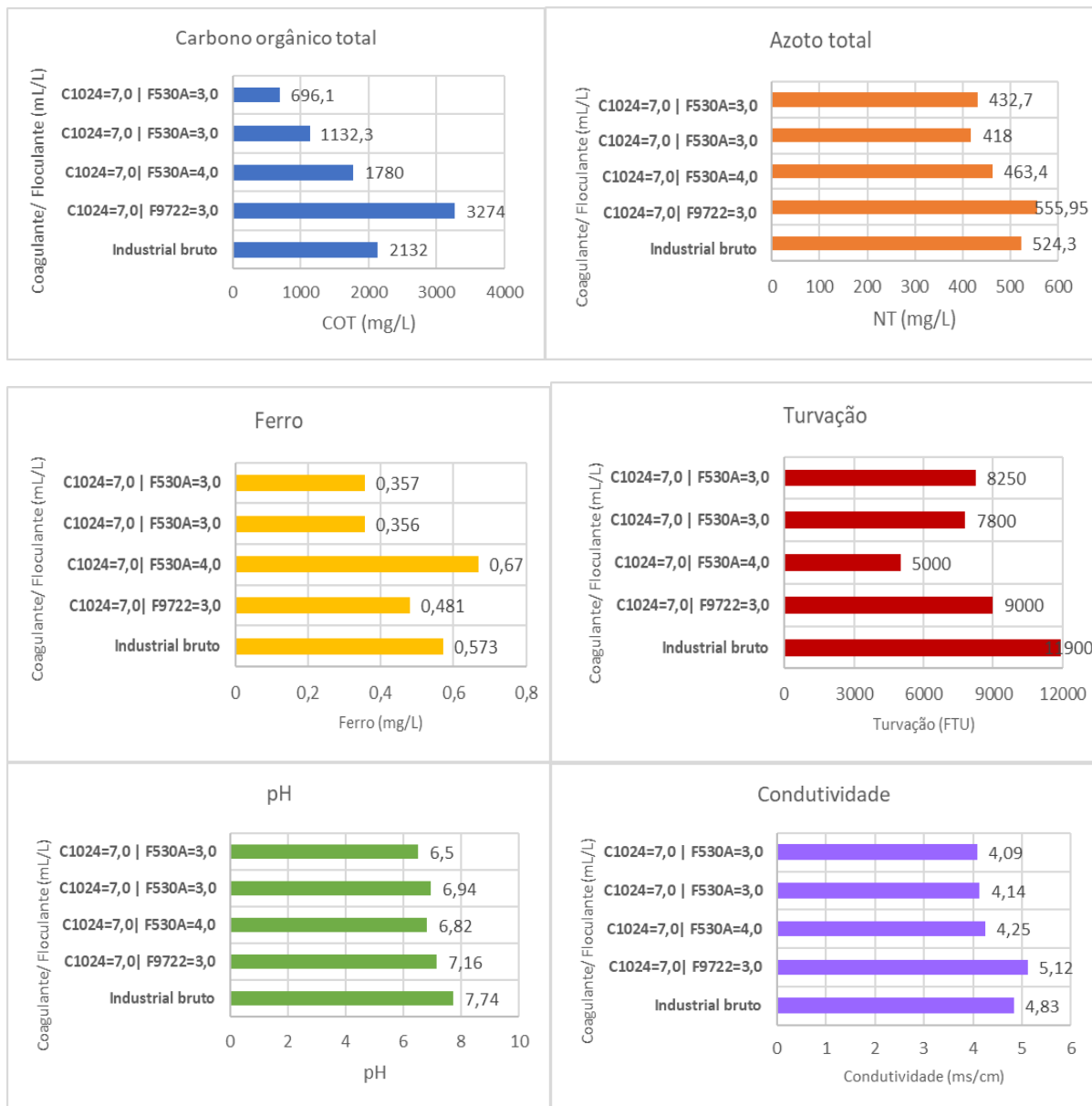


Figura 5.5 Resultados de carbono orgânico total e azoto total, ferro, turvação, pH e condutividade utilizando o coagulante Aquaprox MFC 1024 para diferentes dosagens de floculante.

O teor de COT diminuiu com a adição do floculante Aquaprox 530 A de 16 (C1024=7,0 | F530A=4,0) a 67% (C1024=7,0 | F530A=3,0) e aumentou 53% com o floculante Aquaprox 9722 (C1024=7,0 | F9722=3,0).

O azoto total, quando utilizado o floculante 530A, reduziu de 11 (C1024=7,0 | F530A=4,0) a 20% (C1024=7,0 | F530A=3,0), enquanto que utilizando o floculante 9722 aumentou cerca de 6% (C1024=7,0 | F9722=3,0).

O teor de ferro diminuiu 16% no ensaio C1024=7,0 | F9722=3,0. Nos ensaios C1024=7,0 | F530A=3,0 e C1024=7,0 | F9722=3,0 o teor de ferro foi semelhante (diminuiu 37% em relação ao efluente industrial sem tratamento) e no ensaio C1024=7,0 | F530A=4,0 aumentou 16% em comparação com o efluente industrial sem tratamento.

A turvação diminuiu de 24 (C1024=7,0 | F9722=3,0) a 57% (C1024=7,0 | F530A=4,0). A gama de pH variou entre 6,5 e 7,7 nos ensaios realizados.

A condutividade foi superior no ensaio C1024=7,0 | F9722=3,0 (5,12 mS/cm) (superior também à condutividade do efluente industrial) e inferior no ensaio C1024=7,0 | F530A=3,0 (4,09 mS/cm).

De forma global, o ensaio C1024=7,0 | F530A=3,0 pH = 7,0 possui resultados intermédios de COT, azoto, condutividade e o mais alto resultado de teor de ferro, ainda que dentro do VLE. Este ensaio destacou-se pela sua elevada remoção de turvação em relação ao efluente sem tratamento.

### 5.2.5 AQUAPROX MFC 9993

O Aquaprox MFC 9993 é um coagulante orgânico, formulado sem metais pesados, e que tem como função reduzir a formação de lama.

Antes da realização dos ensaios, determinou-se a dosagem mínima do coagulante Aquaprox MFC 9993 que foi de 4 mL por cada litro de água residual e o pH utilizado ao longo dos ensaios foi 7,0. A dosagem mínima e o valor de pH foram determinados através de uma análise visual à aparência do sobrenadante e também à dimensão e velocidade de sedimentação dos flocos formados.

Testaram-se dois floculantes, o Aquaprox MFA 9722 e o Aquaepur 530A, com diferentes dosagens de floculante (de 1,0 a 2,0 mL). Analisaram-se as amostras do sobrenadante dos melhores ensaios (sobrenadante límpido, boa separação), cujos resultados se apresentam na *Tabela 5.6*, relativamente ao valor de pH utilizado, as dosagens de coagulante ótima e as respetivas dosagens de cada floculante testado.

*Tabela 5.6. Dados relativos aos ensaios utilizando o coagulante Aquaprox MFC 9993 e os floculantes Aquaprox MFA 9722 e Aquaepur 530A.*

pH	Coagulante	Dosagem de coagulante ótima (mL/m <sup>3</sup> )	Floculante	Dosagem de floculante (mL/m <sup>3</sup> )
7,0	AQUAPROX MFC 9993	5000	AQUAPROX MFA 9722	2000
			AQUAEPUR 530A	3000

Na *Figura 5.6* representam-se os resultados das análises aos parâmetros. As dosagens de coagulante e floculante encontram-se em mL/L de água residual.

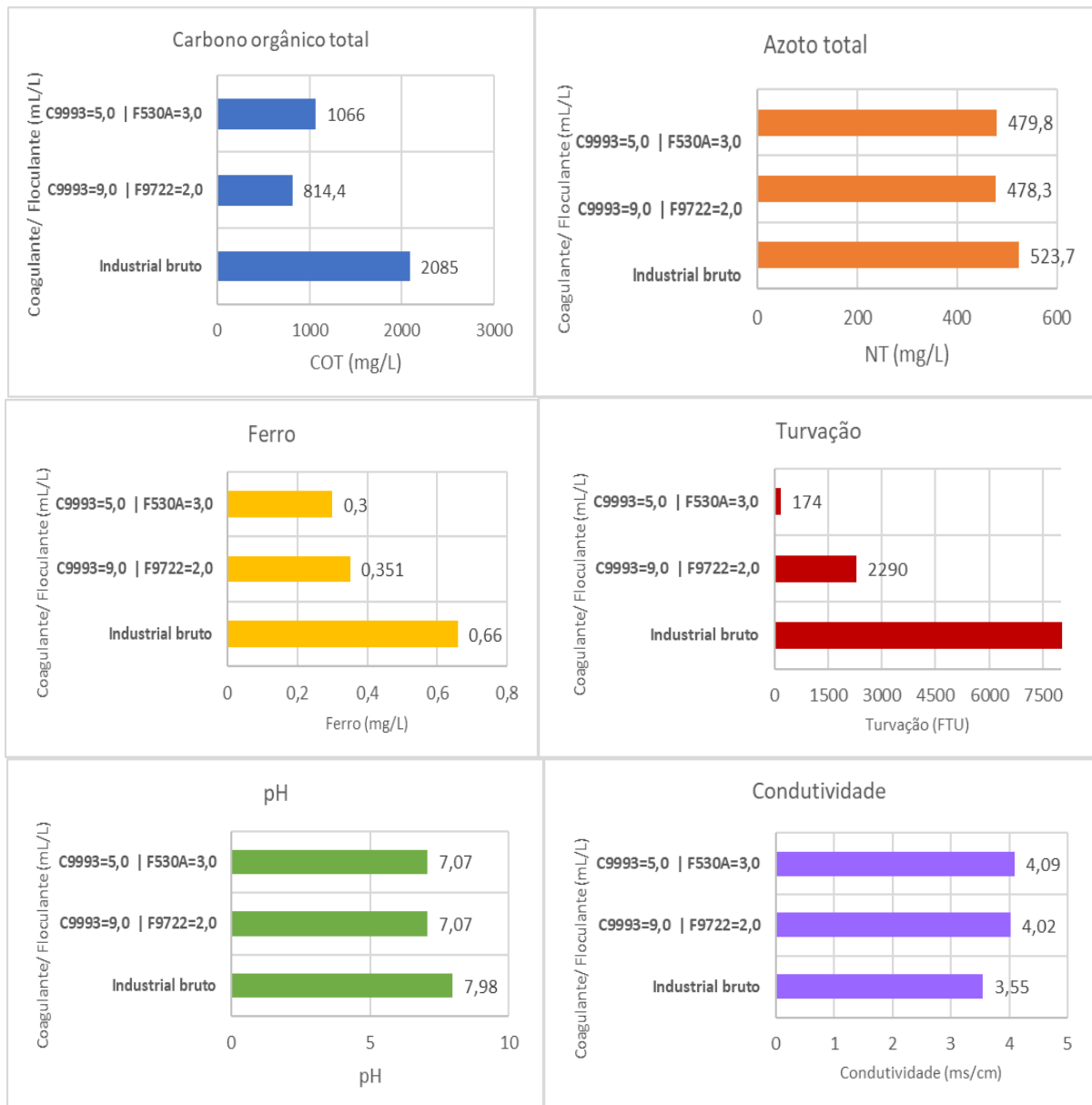


Figura 5.6. Resultados de carbono orgânico total e azoto total, ferro, turvação, pH e condutividade utilizando o coagulante Aquaprox MFC 9993 para diferentes dosagens de floculante.

Através da análise da figura pode concluir-se que a adição do coagulante/ floculante provocou uma diminuição dos valores de todos os parâmetros avaliados, exceto a condutividade.

Quanto ao teor de COT, a diminuição foi de 60% no caso do ensaio C9993=9,0 | F9722=2,0 e 48% no caso do C9993=5,0 | F530A=3,0 relativamente ao efluente industrial bruto.

O teor de azoto total foi muito semelhante nos dois ensaios em que foi utilizado o coagulante/floculante. A redução foi de 8% em ambos, no entanto, a redução precisava de ser superior para que o azoto total estivesse em cumprimento com o VLE consentido. O VLE é definido apenas para o efluente a ser descarregado sendo que, no restante processo de tratamento, ainda pode ser diminuído o teor de azoto total.

O teor de ferro respeitou o VLE permitido pela licença de descarga da ETAR da empresa, sendo que o resultado foi semelhante nos ensaios com coagulante e floculante (cerca de 0,30 mg/L).

Quanto ao parâmetro turvação, obtiveram-se os melhores resultados no ensaio C9993=5,0 | F530A=3,0. A percentagem de remoção de remoção, comparativamente com o efluente industrial foi de 99% enquanto que no ensaio C9993=9,0 | F9722=2,0 foi de 88%.

A condutividade aumentou com a adição do coagulante e floculante cerca de 0,5 mS/cm em relação à água residual sem tratamento.

Globalmente, o ensaio C9993=5,0 | F530A=3,0 teve um excelente desempenho a nível da turvação e um menor resultado de teor de ferro. Mas, comparativamente com o C9993=9,0 | F9722=2,0, obteve-se valores de COT, azoto total e condutividade ligeiramente superiores.

### 5.2.6 AQUAPROX MFC 9997

O Aquaprox MFC 9997 é um coagulante orgânico formulado sem metais pesados. A sua função principal é reduzir a lama originada.

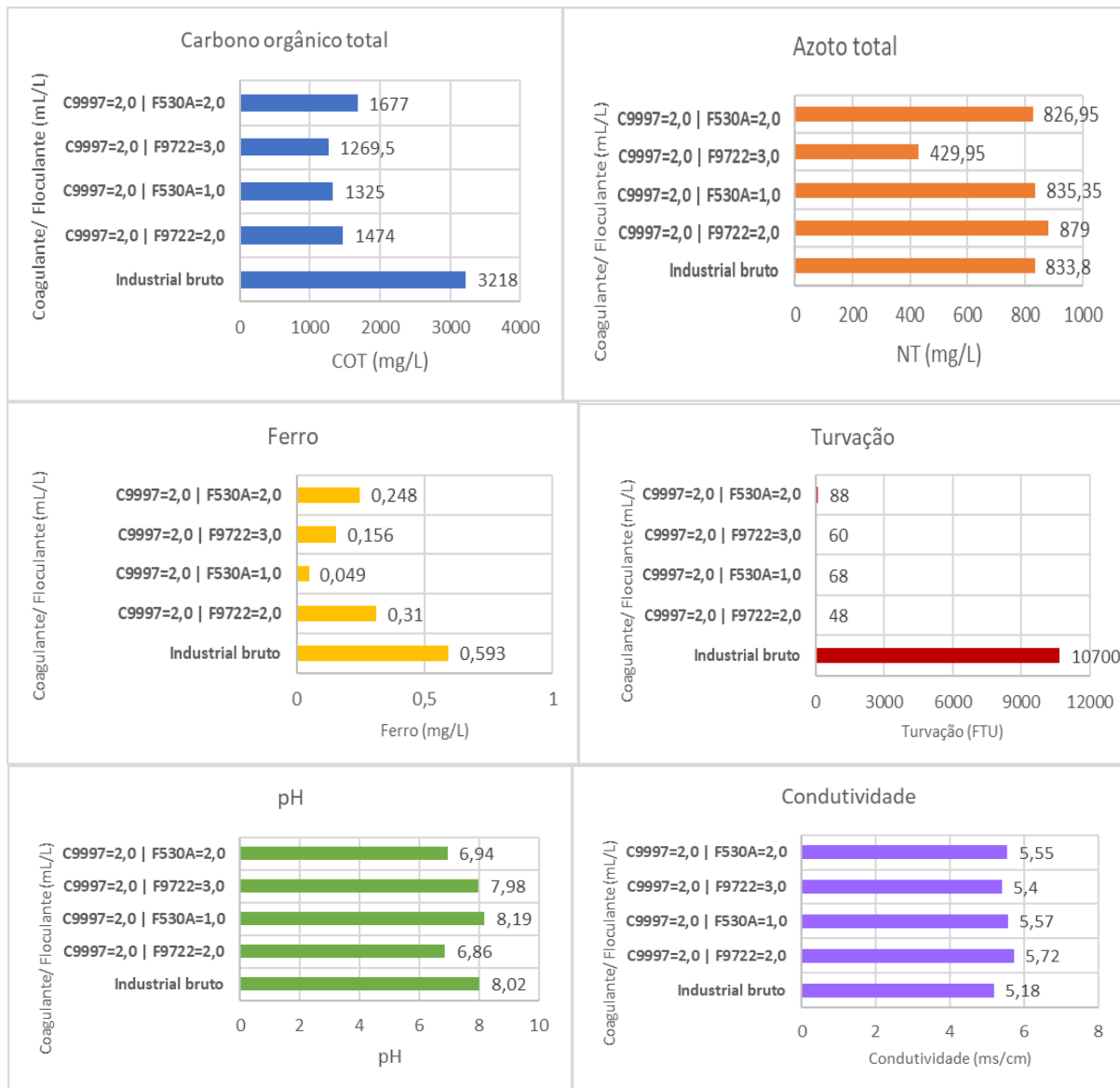
No decorrer dos ensaios determinou-se que o volume mínimo adicionado era de 2 mL por cada litro de água residual, o que coincidiu com o volume ótimo.

Testaram-se os floculantes Aquaprox MFA 9722 e Aquaepur 530A para dosagens entre 1 e 3 mL/L a pH 7,0 e 8,0. Na *Tabela 5.7* apresentam-se as dosagens de coagulante e floculante ótimas e valor de pH correspondentes aos melhores ensaios.

*Tabela 5.7. Dados relativos aos ensaios utilizando o coagulante Aquaprox MFC 9997 e os floculantes Aquaprox MFA 9722 e Aquaepur 530A.*

pH	Coagulante	Dosagem de coagulante ótima (mL/m <sup>3</sup> )	Floculante	Dosagem de floculante (mL/m <sup>3</sup> )
7,0	AQUAPROX MFC 9997	2000	AQUAPROX MFA 9722	2000
8,0				3000
8,0			AQUAEPUR 530A	1000
7,0				2000

Na *Figura 5.7* encontram-se representados os resultados das análises realizadas às amostras retiradas relativamente aos parâmetros estudados. As dosagens de coagulante e floculante encontram-se em mL/L de água residual.



*Figura 5.7. Resultados de carbono orgânico total e azoto total, ferro, turvação, pH e condutividade utilizando o coagulante Aquaprox MFC 9997 para diferentes dosagens de floculante.*

Pela observação da figura pode-se notar que o teor de COT reduziu muito por efeito da adição do coagulante e do floculante. A remoção foi de 47% (C9997=2,0 | F530A=2,0) a 60% (C9997=2,0 | F9722=3,0) em comparação com a água residual sem tratamento.

O teor de azoto total foi semelhante ao do efluente industrial bruto na maior parte dos ensaios, exceto no C9997=2,0 | F9722=3,0 mL/L, que foi inferior.

Quanto ao ferro, observou-se que a maior quantidade existente era no efluente industrial bruto. Verificou-se um diminuição de 47% (C9997=2,0 | F9722=2,0) a 91% (C9997=2,0 | F530A=1,0) em relação à água residual sem tratamento. No entanto, as concentrações de ferro presentes nas amostras não eram elevadas.

No gráfico da turvação verificou-se uma remoção quase completa de sólidos suspensos. Em todos os ensaios analisados a remoção foi de aproximadamente 99% quando comparada ao efluente bruto.

A condutividade aumentou com a adição do conjunto de coagulante/floculante. A subida foi de 4 (C9997=2,0 | F9722=3,0) a 10% (C9997=2,0 | F9722=2,0).

Conclui-se que o melhor floculante para ser utilizado com este coagulante é o Aquaprox MFA 9722 a pH 8,0. Constata-se que o C9997=2,0 | F9722=3,0 é o ensaio com menor teor de COT, de azoto total, o segundo melhor em relação ao ferro (ser o segundo não é significativo dado que está dentro do VLE permitido) e o com menor condutividade. Para além disso, neste ensaio foi removida 99,4% da turvação, correspondente a uma remoção quase completa dos sólidos suspensos totais.

### 5.2.7 Sulfato de alumínio

Nos ensaios com o coagulante sulfato de alumínio, a dosagem mínima foi de 8 mL por cada litro de água residual. Testou-se o coagulante com o floculante Aquaprox MFA 9722.

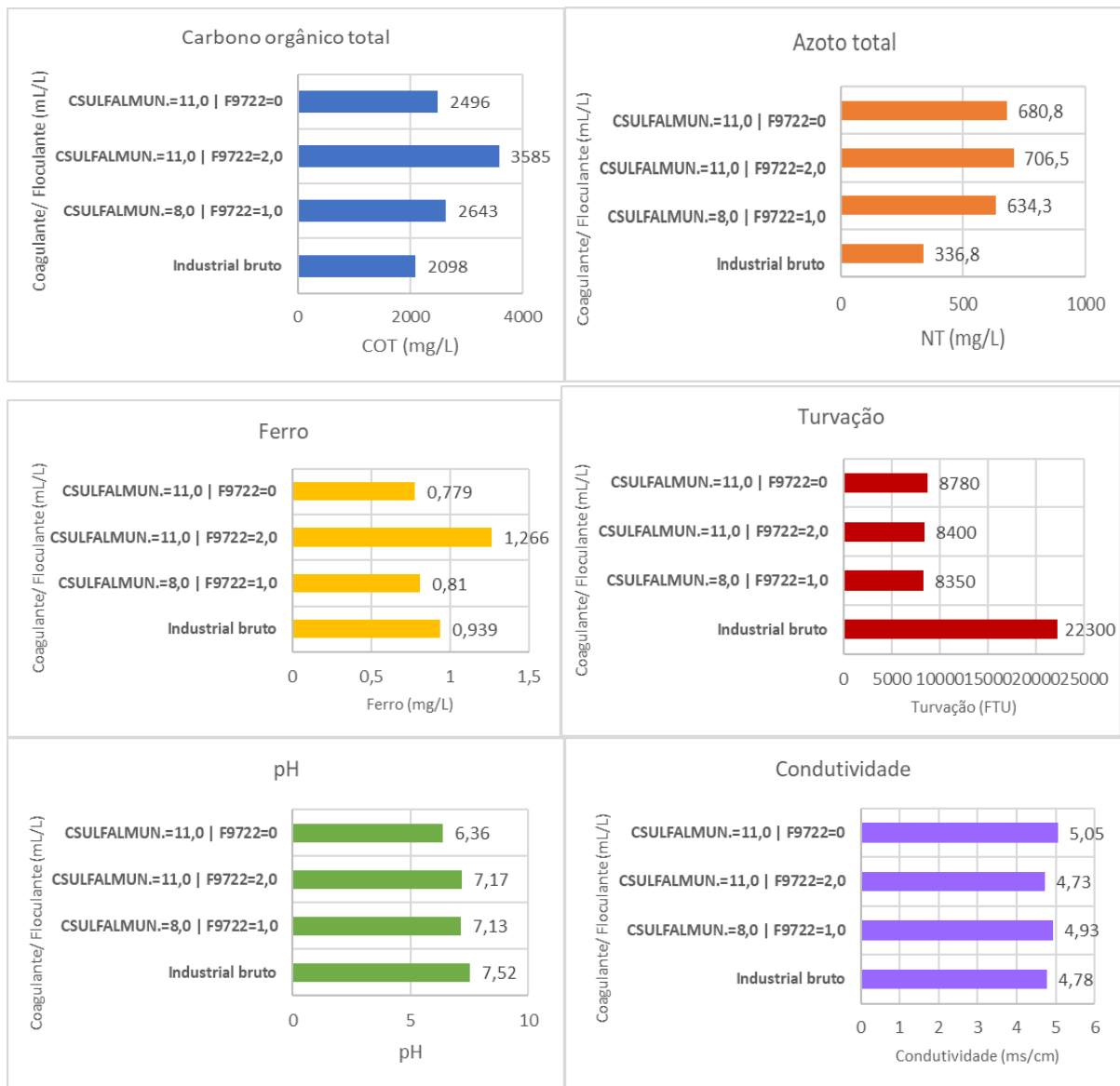
Retiraram-se amostras de sobrenadante para os resultados que visualmente pareceram melhores. No entanto, quando comparados com os ensaios anteriores, os resultados obtidos (análise visual) foram piores. O volume de lamas que se obteve foi muito grande e o sobrenadante ficou apenas ligeiramente menos turvo do que o efluente industrial bruto. Os flocos formaram-se em muito pouca quantidade.

Na [Tabela 5.8](#) apresentam-se as dosagens de coagulante e floculante ótimas, com o respetivo valor de pH para esses resultados.

*Tabela 5.8. Dados relativos aos ensaios utilizando o coagulante sulfato de alumínio e o floculante Aquaprox MFA 9722.*

pH	Coagulante	Dosagem de coagulante ótima (mL/m <sup>3</sup> )	Floculante	Dosagem de floculante (mL/m <sup>3</sup> )
7,0	Sulfato de alumínio	11000	AQUAPROX MFA 9722	0
		11000		2000
		8000		1000

Na [Figura 5.8](#) encontram-se representados graficamente os resultados deste ensaio de coagulação/floculação. As dosagens de coagulante e floculante encontram-se em mL/L de água residual.



*Figura 5.8. Resultados de carbono orgânico total e azoto total, ferro, turvação, pH e condutividade utilizando o coagulante sulfato de alumínio para diferentes dosagens de floculante.*

Os parâmetros COT, azoto total e ferro aumentaram com a adição do coagulante/floculante quando comparados com o efluente industrial.

Comparativamente com a água residual sem tratamento, o teor de COT aumentou 18 (CSULFALMUN.=11,0 | F9722=0) a 70% (CSULFALMUN.=11,0 | F9722=2,0).

Já o teor de azoto duplicou em todos os ensaios que incorporaram coagulante e floculante.

O maior teor de ferro foi de 1,266 mg/L no ensaio CSULFALMUN.=11,0 | F9722=2,0 e o menor foi de 0,779 mg/L no ensaio CSULFALMUN.=11,0 | F9722=0.

Em comparação com o efluente industrial bruto a turvação foi removida em 60 (CSULFALMUN.=11,0 | F9722=0) e 62% (CSULFALMUN.=8,0 | F9722=1,0). É de notar que a remoção de turvação pelos outros coagulantes foi muito maior do que pelo sulfato de alumínio.

A condutividade do ensaio CSULFALMUN.=11,0 | F9722=2,0 foi menor do que no efluente industrial, enquanto que os outros ensaios possuem uma maior condutividade do que o industrial sem tratamento.

Conclui-se que o ensaio com melhores resultados é o CSULFALMUN.=8,0 | F9722=1,0 porque possui baixo teor de carbono orgânico total, azoto total e ferro. Quanto à condutividade este ensaio foi o segundo melhor resultado. A remoção da turvação foi de 62%, o que é razoável pois consiste numa remoção de mais de metade dos sólidos suspensos.

### **5.3 Resumo dos coagulantes e floculantes testados**

Através da análise dos resultados e da análise visual feita ao longo dos ensaios pode concluir-se que os coagulantes Kemira PAX 18 e Aquaprox MFC 9997 foram os que reduziram mais a turvação na água residual industrial. Os valores dos parâmetros azoto e carbono orgânico total reduziram bastante, mas ainda assim continuaram elevados após o tratamento por coagulação/ floculação. Isto significa que deverão ser alvo de diminuição no restante processo de tratamento.

O Kemira PAX 18 resultou bem tanto com o floculante Aquaprox MFA 9722 como com o Superfloc A 150, enquanto que o Aquaprox MFC 9997 apenas resultou com o Aquaprox MFA 9722.

O teor de ferro foi muito baixo em todos os testes o que significa que a razão pela qual as análises de ferro estejam elevadas não se encontrava no tratamento físico-químico. Suspeita-se que o teor de ferro elevado pode ter origem nos filtros de areia e carvão ativado porque o seu exterior apresenta escorrências de ferrugem.

O valor de pH variou entre 6,0 e 9,0 em todos os ensaios realizados, o que está de acordo com a gama admitida para descarga.

A condutividade não apresentou grandes variações.

Para uma análise mais detalhada, que tem em conta a eficiência e o custo de cada reagente realizou-se uma análise de custos para concluir quais as melhores alternativas de tratamento.

### **5.4 Análise de custos das melhores alternativas de tratamento**

Depois de realizados os ensaios realizou-se uma comparação dos custos dos diferentes reagentes com o objetivo de se identificar o conjunto coagulante e floculante mais favorável para a empresa.

Para isso, calculou-se o custo de reagente por cada m<sup>3</sup> de água residual que é tratada com base na densidade, na dosagem utilizada em cada ensaio e nos preços indicados pelos fornecedores.

A análise de custos centrou-se no preço dos coagulantes e floculantes e não considerou os custos das soluções de acerto de pH pelo motivo de não representar um custo significativo para o tratamento, visto que se utilizam pequenas quantidades.

Na *Tabela 5.9* apresentam-se as densidades, as dosagens, os preços dos reagente e custos, em €/m<sup>3</sup> de efluente tratado, para cada dosagem de coagulante e floculante em que se obtiveram melhores resultados neste trabalho. No caso do coagulante Kemira PAX 18, como os resultados foram semelhantes com dois dos floculantes usados, apresentaram-se ambos os floculantes na tabela (Superfloc A 150 e Aquaprox MFA 9722). Os custos de cada coagulante e floculante em separado

encontram-se alinhados de forma vertical na tabela. Na última linha da tabela apresentaram-se a soma dos custos de cada conjunto coagulante/ floculante.

*Tabela 5.9. Análise de custo aos coagulantes e floculantes testados.*

Coagulante								
	Kemira PAX 10	Kemira PAX 18	AQUAPROX MFC 1013	AQUAPROX MFC 1024	AQUAPROX MFC 9993	AQUAPROX MFC 9997	Sulfato de alumínio	
Densidade (kg/L)	1,24	1,37	1,06	1,18	1,06	1,17	0,0610	
Dosagem (L/m <sup>3</sup> )	6,00	3,00	7,00	7,00	5,00	2,00	8,00	
Preço (€/kg)	0,32	0,30	3,35	2,48	4,25	4,75	0,35	
Custo (€/m <sup>3</sup> )	2,38	1,23	24,86	20,49	22,53	11,12	0,171	
Floculante								
	Aquaepur 530A	Superfloc A 150	Aquaprox MFA 9722	Aquaepur 530A	Aquaepur 530A	Aquaepur 530A	Aquaprox MFA 9722	Aquaprox MFA 9722
Densidade (kg/L)	0,80	0,90	0,0155	0,80	0,80	0,80	0,0155	0,0155
Dosagem (L/m <sup>3</sup> )	3,00	3,00	3,00	2,00	3,00	3,00	3,00	1,00
Preço (€/kg)	4,20	3,15	5,00	4,20	4,20	4,20	5,00	5,00
Custo (€/m <sup>3</sup> )	10,08	8,51	0,233	6,72	10,08	10,08	0,233	0,0775
<b>Custo total coagulante + floculante (€/m<sup>3</sup>)</b>	<b>12,46</b>	<b>9,74</b>	<b>1,46</b>	<b>31,58</b>	<b>30,57</b>	<b>32,61</b>	<b>11,35</b>	<b>0,249</b>

Consultando-se a tabela pode observar-se que o custo total menor foi o do coagulante sulfato de alumínio com o floculante Aquaprox MFA 9722 (0,249 € por cada m<sup>3</sup> de efluente tratado) todavia a turvação removida nesse ensaio foi baixa quando comparado com os outros coagulantes (62%).

O conjunto coagulante/ floculante com o segundo menor custo total foi o Kemira PAX 18 e Aquaprox MFA 9722 (1,46 € por cada m<sup>3</sup> de efluente tratado). Como os resultados obtidos com este conjunto foram bons, remoção de turvação em 99,7%, concluiu-se que este é o conjunto que deve ser testado na linha de tratamento físico-químico da ETAR da empresa.

O conjunto coagulante Aquaprox MFC 9997 com o floculante Aquaprox MFA 9722, embora eficiente revelou-se uma solução menos económica (11,35 € por cada m<sup>3</sup> de efluente tratado).

## 5.5 Testes em linha de tratamento

Nos testes na linha de tratamento, substituiu-se o coagulante Kemira PAX 10, que estava a ser usado, pelo Kemira PAX 18. O floculante Aquaprox MFA 9722 manteve-se em uso visto ter sido aquele que produziu melhores resultados com o coagulante Kemira PAX 18.

Após a substituição do coagulante, foi possível notarem-se melhorias no aspeto do sobrenadante. Analisado de forma visual, o mesmo ficou significativamente mais límpido com a utilização deste novo conjunto coagulante/ floculante. Observou-se a formação de flocos de tamanho médio, levando a uma melhor sedimentação mais rápida pelo aumento de peso dos flocos e também um sobrenadante mais límpido. Posteriormente, a lama foi encaminhada para o espessador gravítico de lamas e o sobrenadante para a próxima etapa de tratamento. Como a separação sólido líquido foi eficiente e a lama possui uma composição maioritariamente constituída por sólidos, e a sua desidratação no filtro prensa demora menos tempo.

A caracterização do sobrenadante também demonstrou melhorias significativas nos parâmetros avaliados, demonstrando que foi conveniente a alteração do coagulante que estava a ser utilizado no tratamento (Kemira PAX 10) para o coagulante Kemira PAX 18.

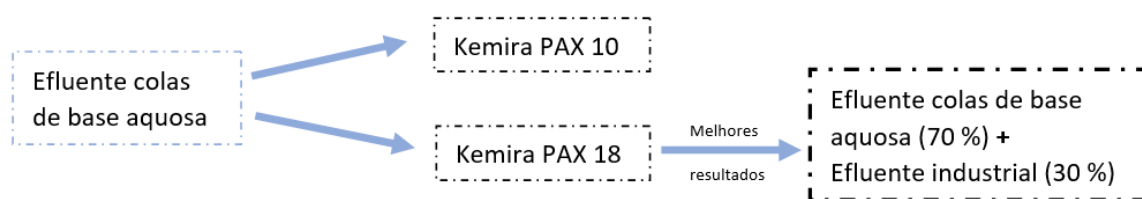
## 6 Alterações processuais

Para o próximo ano, 2023, está prevista a realização de uma obra que irá representar um aumento bastante significativo de produtividade (cerca de 70%) na área de colas de base aquosa da empresa.

Tendo em conta que este aumento significativo se baseia na produção de um produto específico em grandes quantidades, realizaram-se também ensaios Jar Test para a água de lavagem das máquinas desta área produtiva depois de ter sido produzido o produto.

Testaram-se os coagulantes Kemira PAX 10, que estava a ser utilizado na ETAR, e o Kemira PAX 18, que revelou ser o melhor relativamente à relação custo/eficiência. Começou-se por testar no efluente proveniente da água de lavagem de máquinas das colas brancas. Depois, como foi com o coagulante Kemira PAX 18 com que se obtiveram melhores resultados, testou-se o uso deste coagulante no efluente das colas de base aquosa misturado com água do tratamento físico químicos numa proporção de 70 para 30%. Escolheu-se esta proporção porque esta será a futura proporção de efluente a chegar à ETAR, visto que o aumento produtivo irá ser cerca de 70%.

Na *Figura 6.1* representa-se um esquema com a sequência da realização dos ensaios em Jar Test para a replicação das alterações processuais futuras e para avaliar a eficácia dos coagulantes no tratamento da água residual.



*Figura 6.1. Sequência da realização do método Jar Test.*

Retiraram-se amostras do sobrenadante e analisaram-se os parâmetros de COT, azoto total, turvação, pH e condutividade. Neste ensaio excluiu-se a análise de ferro porque nos testes anteriores o teor de ferro foi sempre muito diminuto.

Nos ensaios em que se utilizou o coagulante Kemira PAX 10 no efluente de colas base aquosa e no que se utilizou o Kemira PAX 18 na mistura de efluentes utilizou-se pH 6,5. No ensaio em que se utilizou o Kemira PAX 18 no efluente de colas base aquosa o pH ótimo foi de 7,0.

A dosagem ótima de coagulante utilizada no ensaio com o Kemira PAX 10 foi de 7,0 mL/L, tal como no ensaio em que se utilizou o Kemira PAX 18 na mistura de efluentes. Já com o Kemira PAX 18, no efluente das colas brancas a dosagem ótima foi de 9,0 mL/L

Na *Figura 6.2* encontram-se os resultados das análises aos parâmetros para os dois coagulantes testados. Nos gráficos representou-se o efluente industrial bruto sem tratamento, a mistura de efluente das colas de base aquosa com água do tratamento físico químicos numa proporção de 70 para 30% e o efluente das colas de base aquosa. Para cada coagulante usado nos ensaios testaram-se dois floculantes.

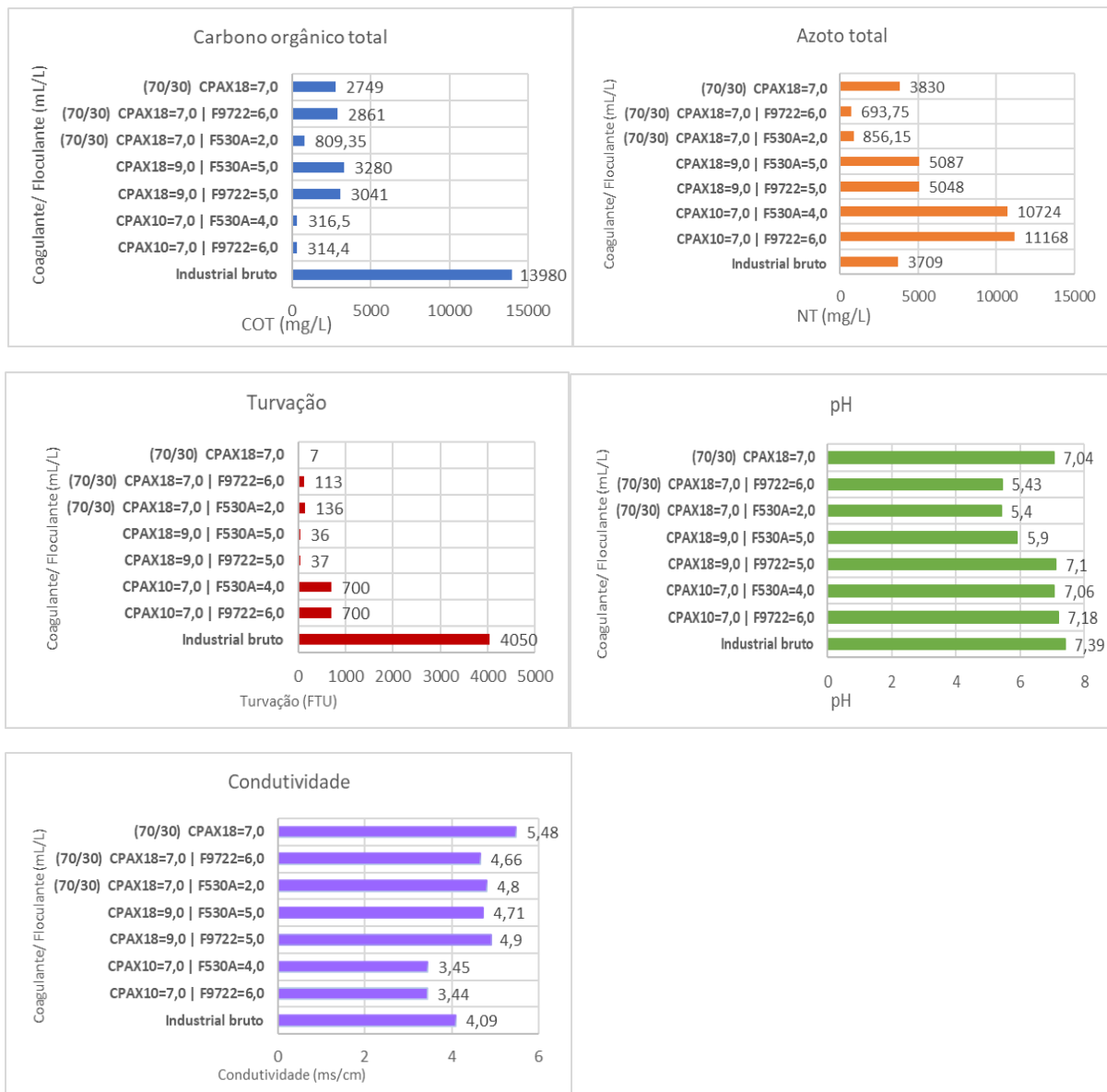


Figura 6.2. Resultados dos análises aos parâmetros de carbono orgânico total, azoto total, pH, condutividade e turvação.

A partir da análise da Figura 6.2 pode concluir-se que, em comparação com o efluente industrial bruto, a taxa de remoção de COT em ambos os ensaios utilizando o coagulante Kemira PAX 10 foi de 97%. Nos ensaios em que se utilizou o coagulante Kemira PAX 18 a taxa de remoção mínima de COT foi de 76% e a máxima foi de 78%. Quando utilizado o Kemira PAX 18 na mistura de efluente de cola base aquosa e de efluente industrial a remoção de COT variou entre 79 e 94%.

O azoto total diminuiu entre 76 e 81% no ensaio da mistura de efluentes de colas base aquosa e industrial quando comparado com o industrial bruto. Nos ensaios realizados com o efluente de colas base aquosa o teor de azoto foi superior ao do efluente industrial bruto.

O pH final foi entre 5,0 e 8,0 e, por isso, encontra-se dentro da gama admitida para a descarga desta água residual.

A condutividade variou entre 3,0 e 6,0 mS/cm no efluente já tratado e no efluente industrial, o que corresponde uma água com condutividade ligeiramente acima do VLE.

A melhor remoção de turvação ocorreu nos ensaios em que se utilizou o coagulante Kemira PAX 18, tanto com a mistura de efluentes como apenas com o efluente proveniente de colas base aquosa. A remoção de turvação com o Kemira PAX 18 variou entre 96% e 99% enquanto que com o Kemira PAX 10 a taxa de remoção foi de 82%, em comparação o efluente industrial sem tratamento.

O conjunto coagulante Kemira PAX 10 e floculante Aquaprox MFA 9722, quando utilizado no tratamento da mistura dos efluentes, foi o que apresentou piores resultados a nível de azoto, turvação e condutividade. O teor de COT foi ligeiramente superior com este conjunto coagulante/ floculante quando comparado com o Kemira PAX 18 e Aquaepur 530A.

Pode concluir-se que o coagulante Kemira PAX 18, mesmo com a mudança da composição do efluente, continua a ter um melhor desempenho no tratamento da água residual do que o Kemira PAX 10.

Assim sendo, como já nos ensaios realizados anteriormente com o efluente que está a chegar à ETAR foi o Kemira PAX 18 com o Aquaprox MFA 9722 o conjunto coagulante/ floculante que demonstrou tratar a água de forma mais eficiente e económica, nas alterações processuais propõe-se utilizar o mesmo conjunto.

## 7 Sugestão de melhorias no tratamento

### 7.1 Introdução de um pré-tratamento

No efluente industrial resultante das secções das colas brancas e dos polímeros e das lavagens de embalagens utilizadas pelas áreas produtivas, nota-se a presença de alguns sólidos (restos de cola seca, “películas” que se formam na parte de cima da cola ou até lama do tanque das lavagens). A presença destes sólidos prejudica o bom funcionamento das bombas, válvulas e tubagens e, consequentemente, o tratamento posterior.

Além disso, são lavados equipamentos contendo óleo na zona de lavagens. O óleo, por ser menos denso do que água, tende a flutuar sendo por isso a via preferível para a sua remoção.

Por essa razão, uma melhoria a implementar seria a introdução de um pré-tratamento que diminuiria a quantidade de sólidos e de óleo e gorduras constituído pelas etapas de gradagem/tamisagem e de flutuação.

#### 7.1.1 Gradagem/Tamisagem

A gradagem e a tamisagem consistem na etapa primária do pré-tratamento e têm como objetivo a remoção dos sólidos afluentes à ETAR. A diferença entre a gradagem e a tamisagem é que a gradagem retém os sólidos de maiores dimensões e na tamisagem retém-se os de menores dimensões. A remoção dos sólidos impede a ocorrência da maior parte dos problemas nos equipamentos e a diminuição da eficiência do processo de tratamento (ERSAR, 2020).

A solução pode consistir na colocação de grades formadas por barras ou varões metálicos numa posição longitudinal em relação ao canal ou nas tubagens com espaçamentos de cerca de 20 mm seguidas de um tamisador rotativo com uma abertura de malha de 3 mm. No caso da ETAR da empresa H.B. Fuller, a grade e o tamisador teriam de ser colocados na zona das lavagens, mais precisamente antes da tubagem que bombeia o efluente das lavagens para a ETAR ou através da construção de um canal para remoção de sólidos de maiores dimensões.

Na *Figura 7.1* encontra-se um exemplo de dois equipamentos utilizados na etapa de gradagem/tamisagem, isto é, uma grade e um tamisador rotativo.



*Figura 7.1. Exemplo de uma grade e de um tamisador.*

As grades e o tamisador devem ser limpos com frequência para que os resíduos não impeçam o efluente de passar e provoquem a subida do nível do tanque. A limpeza pode ser realizada mecanicamente ou, no caso das grades manualmente por um pente.

### 7.1.2 Flutuação

A etapa de flutuação é utilizada para remoção dos resíduos menos densos que flutuam como por exemplo as gorduras e as “películas” que as colas contêm. As gorduras podem se acumular nos reatores e prejudicar o tratamento biológico devido à redução da eficiência do arejamento (Sousa, 2016).

Na flutuação ocorre a separação de partículas sólidas ou líquidas através da introdução de um gás, normalmente ar, na fase líquida. Isto é, difusores imersos injetam ar no centro do reservatório fazendo com que as bolhas de ar se juntem às partículas mais leves e fltuem.

## 7.2 Automatizar a adição de antiespuma

Em algumas fases do tratamento pode ser necessária adição de um produto antiespuma. A espuma resulta da adição de tensoativos aos produtos finais, as colas.

Os tensoativos consistem em moléculas que possuem uma parte da cadeia polar solúvel em água e outra apolar que é solúvel em hidrocarbonetos, óleos e gorduras. Têm como função diminuir a tensão superficial do produto, ou seja, diminuir as forças de ação intermoleculares (Daltin, 2011).

Na *Tabela 7.1* encontram-se os vários tipos de tensoativos e as suas diferenças.

*Tabela 7.1. Diferentes tipos de tensoativos (adaptado de Daltin, 2011).*

Tensoativo	Classificação
Aniónico	Possuem um ou mais grupos funcionais que, ao se ionizarem em solução aquosa, a molécula adquire uma carga negativa responsável pela tensoatividade. São muito solúveis em água.
Catiónico	Possuem um ou mais grupos funcionais que, ao se ionizarem em solução aquosa, a restante molécula adquire uma carga positiva. São menos solúveis em água do que os tensoativos aniónicos.
Não iónico	As cargas estão dispersas em vários átomos de oxigénio na cadeia polimérica. São pouco sensíveis à água dura.
Anfótero	Comportam-se como aniónicos ou catiónicos, dependendo do pH da solução. Numa solução alcalina, a alta concentração de grupos hidróxido neutraliza a carga positiva comportando-se como tensoativo aniónico. Em meio ácido comporta-se como tensoativo catiónico.

Na H.B. Fuller utilizam-se principalmente os tensoativos não iónicos.

Os resíduos destes tensoativos causam dificuldades em algumas etapas do tratamento porque reduzem a dissolução do oxigénio na água e prejudicam a sedimentação dos flocos biológicos nos reatores de lamas ativadas (Daltin, 2011).

As situações mais propícias à formação de espuma ocorrem quando o efluente é agitado ou movimentado.

Na *Figura 7.2* encontra-se uma das situações propícias à formação de espumas, quando o carbonato de cálcio (adicionado para proteção das telas do filtro-prensa) é misturado com o efluente.



*Figura 7.2. Exemplo da formação de espuma no tanque de carbonato de cálcio.*

Depois da filtração, o efluente proveniente da desidratação das lamas é encaminhado para o tanque SBR através de uma tubagem. Na *Figura 7.3* encontra-se um exemplo da formação de espuma aquando da passagem do efluente para o tanque SBR.



*Figura 7.3. Passagem do efluente resultante da desidratação das lamas para o tanque SBR.*

A purga do decantador lamelar para o tanque SBR também pode originar espuma. Este é o pior dos casos, uma vez que a água passa com um caudal elevado e causa grandes movimentos.

Na *Figura 7.4* encontra-se um exemplo da formação da espuma resultante da purga do decantador lamelar.



*Figura 7.4. Purga do decantador lamelar para o tanque SBR.*

A solução para evitar a formação de espuma poderá ser a implementação de mais um tanque doseador no início do tratamento físico-químico do género dos apresentados na *Figura 3.3*.

No início do tratamento físico-químico existe um ponto de amostragem em que se pode retirar uma amostra e avaliar-se a formação de espuma. Sempre que necessário, liga-se a bomba e esta doseia o antiespuma. Preferencialmente, este deve ser biodegradável para que não prejudique nem o tratamento biológico nem o ambiente (ERSAR, 2020). Desta forma, controla-se a formação de espuma desde o início, o que pode ser benéfico para as etapas seguintes do tratamento.

### **7.3 Adição de uma solução ácida para acerto de pH**

Outra melhoria que poderia ser importante era a adição de uma solução ácida para acerto de pH devido à grande variabilidade do conteúdo do efluente de tratamento de dia para dia.

Desta forma, seria possível um melhor controlo de pH.

### **7.4 Valorização de lamas da ETAR**

As lamas consistem num produto proveniente do tratamento de água residuais cuja produção não se pode evitar.

Na ETAR da empresa, as lamas provêm de um tratamento físico-químico e do tratamento biológico em que a parte líquida do físico químico se mistura com o efluente doméstico e são posteriormente espessadas e encaminhadas para dois decantadores, o físico-químico e o biológico. Depois disso, encaminham-se para o filtro de prensa.

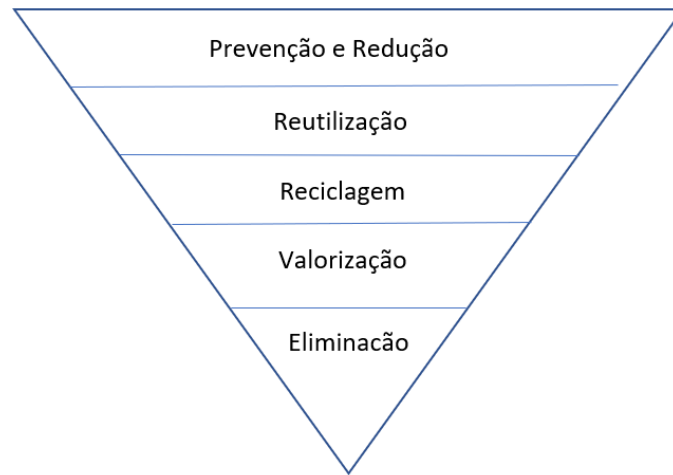
As lamas são produzidas em quantidades bastante significativas, sendo que por semana são produzidas cerca de duas toneladas. O destino final utilizado na ETAR atualmente é o aterro.

O aterro é cada vez menos usado porque a legislação da União Europeia tem-se tornado mais restrita devido à emissão de grandes quantidades de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (Gherghel, 2019).

Por essa razão, outras aplicações para a valorização das lamas têm vindo a ser estudadas.

Segundo o Decreto-Lei n.º 102-D/2020 a gestão de resíduos deve ser realizada segundo uma hierarquia (*Figura 7.5*) que tem como base a economia circular e a proteção dos vários recursos

naturais como o solo, o ar e as águas subterrâneas, superficiais e pluviais e deve ser aplicada às lamas provenientes das ETAR. Sendo a produção de resíduos uma inevitabilidade derivada das necessidades da população mundial, deve proceder-se a uma gestão adequada que deve ser realizada de acordo com a Hierarquia da gestão de resíduos.



*Figura 7.5. Hierarquia da gestão de resíduos.*

A primeira etapa da hierarquia é a prevenção e redução que consiste na necessidade de minimização dos resíduos criados, segue-se a reutilização, isto é, voltar a utilizar de forma a aumentar o ciclo de vida do resíduo. A terceira etapa é a reciclagem em que os materiais constituintes de resíduos devem ser, sempre que possível, transformados em produtos. A valorização traduz-se em dar uma segunda vida ao resíduo e privilegiar a sua valorização em vez do encaminhamento para aterro ou incineração. A última etapa da hierarquia é a eliminação, correspondente à deposição em aterro.

As lamas de origem orgânica, isto é lamas de ETAR doméstica, são biodegradáveis e por essa razão têm a possibilidade de serem valorizadas de forma orgânica em variadas aplicações como fertilizante na agricultura, compostagem, digestão aeróbia e digestão anaeróbia. As lamas de origem inorgânica podem ser utilizadas para a produção das matérias primas utilizadas na construção civil (Shi, 2018; Gherghel, 2019; Cusidó & Cremades, 2012).

As lamas da empresa são uma mistura da componente doméstica e industrial o que restringe as aplicações em que podem ser utilizadas. As aplicações das lamas industriais podem incluir a incorporação como matéria-prima noutros processos industriais semelhantes e a incineração para produção de energia térmica (Lopes, 2018).

A incorporação como matéria-prima requer que sejam verificadas as características do produto final, exigindo um controlo de qualidade desse produto para garantir as suas especificações.

A valorização energética, através da incineração, requer também a avaliação de algumas características das lamas, como a humidade e o poder calorífico das lamas, mas também a avaliação da formação de potenciais poluentes gasosos.

O poder calorífico da queima das lamas pode ser utilizado de forma que a energia térmica se transforme em energia elétrica (Azevedo, 2015).

A incineração consiste na queima em equipamentos específicos de forma a promover a diminuição do teor de humidade presente nas lamas e o respetivo volume das mesmas. Quando queimadas as lamas,

o objetivo é a queima dos compostos orgânicos combustíveis de tal forma que os gases e cinzas resultantes sejam inertes (Azevedo, 2015), no entanto isso pode não ocorrer em contexto de operação real.

Geralmente a incineração começa pela preparação dos resíduos a ser incinerados e segue-se a combustão que é realizada a alta temperatura. Depois disso devem ser controlados os poluentes libertados para a atmosfera e selecionado o destino final adequado às cinzas (aterro, utilização na produção de borracha, materiais de construção civil ou artesanato) (Azevedo, 2015).

O destino final desejável para cinzas seria a sua incorporação na produção de outros produtos mas, na impossibilidade disso, o facto da deposição apenas das cinzas em aterro em vez de toda a lama já é uma vantagem visto que estas ocupam muito menos espaço. A desvantagem da incineração é o alto custo de investimento no equipamento (Azevedo, 2015).

A incineração possui bons resultados nas lamas da ETAR visto que já foram realizados testes físicos na empresa. Porém, antes de serem encaminhadas para incineração, as lamas necessitam de uma etapa de secagem prévia para uma maior redução do teor de humidade. Ao reduzir-se o teor de humidade reduz-se também o volume das lamas e conseqüentemente o preço do seu transporte.

## 8 Proposta *VentilAQUA*

Com o propósito de melhorar o funcionamento da ETAR da empresa e tendo em conta o acréscimo de efluente previsto para a área produtiva das colas base aquosa, pediu-se apoio à empresa *VentilAQUA*.

A *VentilAQUA*, empresa com mais de 25 anos no mercado, cria soluções tecnológicas adequadas para tratamento de água que se desenvolvem para cada tipo de cliente. É uma empresa com experiência no tratamento de efluentes industriais, conhecida por desenvolver as soluções a pensar no meio ambiente e na economização da água (*VentilAQUA*, 2022).

O propósito do pedido de proposta a esta empresa foi avaliar as melhores técnicas disponíveis de tratamento, tentar automatizar o processo de forma a que as tarefas possam ser executadas sem a necessidade de interferência de um operador, integração de todas as etapas num único painel de comando e controlo e o cumprimento dos VLE de descarga estabelecidos.

No Anexo E é descrita a proposta de melhoria ao processo de tratamento apresentada pela *VentilAQUA*.

A *VentilAQUA* pôs como alternativa a utilização de outras tecnologias, como por exemplo a eletro-coagulação e eletro-oxidação. A eletro-coagulação é num processo eletroquímico de remoção de poluentes, sendo necessário o fornecimento de corrente elétrica para desencadear a ocorrência de reações químicas de oxidação-redução que originam espécies com ação coagulante. Ocorre depois a destabilização e agregação dos poluentes em suspensão. Os elétrodos usados na eletrocoagulação são geralmente de ferro ou alumínio de forma a originarem espécies que atuam como coagulantes. A eletro-oxidação também pode ser usada para remover poluentes por via eletroquímica, mas os elétrodos utilizados são de inox (Barata, 2013).

No entanto, a empresa concluiu que o melhor era manter as tecnologias existentes visto que com estas é possível obterem-se bons resultados e uma elevada viabilidade técnico-económica (*VentilAQUA*, 2022).

A empresa sugeriu a adição de uma etapa de gradagem para retenção de sólidos antes de se dar início ao tratamento, que também no capítulo de sugestões de melhoria no tratamento já tinha sido sugerida em conjunto com as etapas de tamisagem e de flutuação (*VentilAQUA*, 2022).

Outra sugestão apresentada pela empresa *VentilAQUA* foi a colocação de um tanque inicial de homogeneização em que se realizaria também uma pré-oxidação do efluente industrial. A existência deste tanque permitiria o arejamento dos efluentes promovendo uma oxidação prévia de uma parte da matéria orgânica.

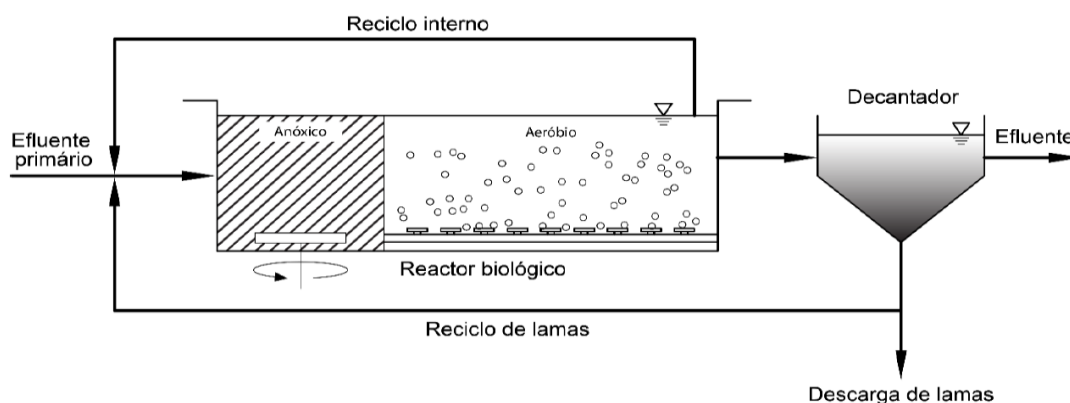
A homogeneização seria realizada por arejadores submersos, arejadores de superfície ou pela injeção de ar a partir de uma rede difusora inserida no fundo do tanque (*VentilAQUA*, 2022).

Recomendou também a adição de medidores de nível hidrostáticos para controlo dos níveis dos tanques e de um caudalímetro e de uma válvula modelante elétrica no tanque físico-químico para medição do caudal de alimentação ao tanque. Isto seria benéfico para a ETAR, de forma a evitar a necessidade de um controlo de forma visual realizada pelo operador da ETAR e permitir um controlo mais eficaz da quantidade de efluente industrial que se está a tratar no momento (*VentilAQUA*, 2022).

A instalação de caudalímetros e de medidores de nível hidrostáticos consistem em mudanças básicas mas importantes com vista a facilitar o trabalho do operador e permitir um controlo mais eficaz do tratamento e das quantidades a serem tratadas.

Com o objetivo de otimizar a mistura do efluente industrial com o doméstico a empresa sugeriu a incorporação de um compressor volumétrico que realize a insuflação de ar no tanque de homogeneização do biológico (tanque de equalização 1) e de difusores no tanque de arejamento (VentilAQUA, 2022). A incorporação de tanques de homogeneização é benéfico para a ETAR devido à grande variabilidade do efluente industrial que a empresa produz.

Quanto ao tratamento biológico, a *VentilAQUA* apresentou a proposta baseada na utilização de um reator do tipo SBR, onde se incluiria um medidor de pH e um medidor de oxigénio dissolvido, que a ETAR já está a utilizar atualmente (VentilAQUA, 2022). O reator dividir-se-ia em dois compartimentos (*Figura 8.1*): um compartimento anóxico onde ocorreria o processo de desnitrificação (em que as bactérias desnitrificadoras reduzem os nitratos a azoto livre na presença de matéria orgânica) e um compartimento aeróbio onde se oxidaria a matéria orgânica e onde se realizaria o processo de nitrificação (oxidação da amónia através de bactérias nitrificadoras cujo resultado é a produção de nitrato) (VentilAQUA, 2022). A sugestão do reator SBR dividido em dois compartimentos pode fazer com que o tratamento funcione com uma maior eficiência energética, com uma melhor gestão do efluente e de forma mais rápida dado que, em vez de o tratamento se dar em apenas um tanque, iriam ser em dois. Depois do aumento de efluente industrial para mais do dobro do que está a ser tratado neste momento a rapidez do tratamento irá ser um fator crucial para o bom funcionamento da ETAR.



*Figura 8.1. Esquema do reator dividido em dois compartimentos (VentilAQUA, 2022).*

Neste tanque de dois compartimentos ocorreriam quatro fases: enchimento do tanque; arejamento; sedimentação; descarga do efluente que seria realizada através de descarregadores flutuantes instalados no tanque biológico SBR (*Figura 8.2*) (VentilAQUA, 2022).



*Figura 8.2. Exemplo de um descarregador flutuante VentillaQUA (VentillaQUA, 2022).*

Neste tanque único seria também possível a descarga de lamas através de uma bomba submersível. As lamas seriam encaminhadas para o espessador biológico, tal como está ser feito atualmente (VentillaQUA, 2022).

Para controlo de nível do tanque de acumulação de água tratada do biológico seria também incorporado um medidor de nível hidrostático e um caudalímetro (VentillaQUA, 2022).

Para as lamas a sugestão foi a desidratação das mesmas através do filtro prensa para que o volume seja reduzido e consequentemente os custos de transporte. O filtro prensa é o equipamento a ser utilizado na ETAR, por isso, não seria necessário nenhuma alteração ao processo (VentillaQUA, 2022).

A ETAR iria ser programada apenas por um quadro elétrico de comando e controlo da instalação com um painel de comando com ecrã tátil, excepto o filtro prensa que teria o seu próprio quadro de comando (VentillaQUA, 2022). Esta sugestão irá facilitar também o trabalho do operador da ETAR tendo em conta que deixaria de ter de controlar três quadros de comando e passaria a controlar apenas dois, poupando tempo na deslocação entre os quadros de comando.

Como sugestão opcional a *VentillaQUA* sugeriu a adição de Sistema de Oxidação Química e Desinfecção como complemento ao tratamento terciário. Esta etapa de tratamento adicional deverá ser incorporada no caso de os VLE não estarem a ser cumpridos no coletor de descarga da ETAR que é gerido pela Indaqua (VentillaQUA, 2022).

## 9 Conclusão

O presente trabalho centrou-se na análise do funcionamento da ETAR da empresa H.B. Fuller e na identificação de oportunidades de melhoria, sendo uma delas a otimização do funcionamento do tratamento primário.

Tendo em conta os resultados dos ensaios laboratoriais realizados com diferente coagulantes e floculantes e a respetiva análise de custos de reagentes por  $m^3$  de efluente tratado, verificou-se que o coagulante mais vantajoso tanto a nível económico como de eficiência é o Kemira PAX 18 e o floculante é o Aquaprox MFA 9722 perfazendo um custo de 1,46 €/m<sup>3</sup>. Nos resultados laboratoriais com este conjunto de coagulante/ floculante o teor de COT diminuiu consideravelmente (57 a 68%) tal como o de azoto total (33 a 37%) quando comparados com o efluente industrial sem tratamento. O pH variou muito pouco e as amostras não continham ferro. Destacou-se o parâmetro de turvação visto que a mesma foi quase completamente removida (remoção de 99,7% quando comparado com o efluente industrial).

Nos ensaios laboratoriais e também nos ensaios em linha o conjunto coagulante Kemira PAX 18 floculante Aquaprox MFA 9722 produziu um sobrenadante límpido e flocos de tamanho médio com boa sedimentação. Estes resultados foram visualmente melhores que os obtidos com o coagulante Kemira PAX 10 e floculante Aquaprox MFA 9722, os utilizados na ETAR.

O conjunto coagulante/floculante mais económico foi o sulfato de alumínio com o Aquaprox MFA 9722 (0,249 €/m<sup>3</sup>) no entanto este conjunto não se revelou eficiente no tratamento do efluente industrial da empresa. Depois de tratado, o sobrenadante continuava turvo e a quantidade de flocos formada era muito diminuta.

Devido a uma alteração do volume produtivo na área produtiva de colas de base aquosa, realizaram-se também testes de coagulação/floculação com o efluente proveniente desta secção e com a mistura do efluente desta secção e do efluente industrial a ser tratado atualmente. Foram testados os coagulantes Kemira PAX 10 e 18 com dois floculantes diferentes, o Aquaprox MFA 9722 e o Aquaepur 530A. Os melhores resultados obtiveram-se com o conjunto coagulante Kemira PAX 18 e floculante Aquaprox MFA 9722. Logo, comprova-se que esta combinação será adequada mesmo depois do aumento produtivo previsto.

Ao longo do estudo identificaram-se três possíveis melhorias: a adição de uma fase de pré-tratamento com as etapas de gradagem, tamisagem e flutuação, de um doseador de antiespuma automático e de uma solução de acerto de pH ácida. Desta forma, o tratamento a jusante iria ser mais eficiente porque não iriam existir ou iriam ser reduzidos os tempos de espera pela manutenção às bombas e os problemas de espuma.

As lamas produzidas durante o tratamento provêm do tratamento físico-químico e do tratamento biológico. A quantidade produzida na empresa é de aproximadamente duas toneladas por semana e o destino final atual das lamas é o aterro.

A gestão e valorização de lamas de ETAR deve ser outra importante melhoria a implementar na empresa. O destino final alternativo sugerido foi a incineração. Como vantagem tem-se a produção de energia térmica e a redução de volume depositado em aterro, visto que apenas as cinzas resultantes da incineração das lamas se encaminhariam para aterro.

Para uma melhor preparação para o aumento de 70% na produção de efluente industrial, pediu-se auxílio à empresa *VentilAQUA*. O objetivo foi avaliar as melhores técnicas disponíveis de tratamento, automatizar o processo e cumprir os VLE de descarga estabelecidos.

A empresa perita em tecnologias de tratamento apresentou uma proposta à empresa H.B Fuller na qual fez várias sugestões, em alguns casos coincidentes com as propostas neste estudo. As sugestões passaram pela introdução de caudalímetros, medidores de nível hidrostáticos e arejadores em alguns tanques, a transformação do tanque SBR da ETAR num reator biológico com dois compartimentos, um aeróbio e outro anóxico e a compactação dos três quadros de comando existentes em dois, sendo um deles dedicado exclusivamente ao filtro prensa.

Este trabalho realizado contribuiu positivamente para a obtenção de um conhecimento mais aprofundado sobre as ETAR, assim como os diferentes tipos de processo de tratamento existentes.

Como sugestão de trabalho futuro seria interessante um estudo mais aprofundado das diferentes possibilidades de valorização das lamas da ETAR da empresa de forma a que nenhum resíduo tivesse de ser depositado em aterro.

## 10 Referências bibliográficas

Alves, A. (2010). Optimização do tratamento de um efluente aquoso resultante da utilização de cola nas máquinas de produção de placas de madeira. Mestrado em Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Águas do Algarve, Grupo Águas de Portugal (AdA). (2021). ETAR da Boavista. Acedido a 10/09/2021 em: <https://www.aguasdoalgarve.pt/content/etar-da-boavista-0>

APHA - American Public Health Association. (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd edition Edited by E.W. Rice, R.B. Baird, A.D. Eaton and L.S. Cleresci, American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF), Washington, D.C., USA.

Ascensão, V. (2014). Arranque e Exploração de ETAR. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra. Páginas 5-23

Azevedo, R. (2015). Gestão e valorização de lamas de ETAR. Naturlink - Gestão Ambiental. Acedido a 11/09/2021 em: <http://naturlink.sapo.pt/NaturezaeAmbiente/GestaoAmbiental/content/Gestaoe-valorizacaodelamasdeETAR?viewall=true&print=true>

Barata, M. (2013). Estudo dos Processos Eletroquímicos - Eletrooxidação e Eletrocoagulação -. Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro.

Cacheira, C. et al. (2013). Processo de coagulação-floculação. Escola Superior Agrária, Politécnico de Coimbra. Páginas 1–20.

Carneiro, T. (2013). Estudo da turvação em rede de abastecimento de água a alta pressão no grande Porto. Mestrado em Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Carvalho, J. (2016). Estudo Técnico dos Problemas Operacionais da ETAR de Palmeira em Braga e Elaboração de Soluções de Melhoria. MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE, FEUP.

Couceiro, S. (2018). Análise de eficiência de coagulantes em Estação de Tratamento de Água. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Cunha, A. (2014). Acompanhamento Analítico das Estações de Tratamento de Águas Residuais do Sousa (Lousada) e Serzedo (Guimarães). Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Cusidó, J., Cremades, L. (2012). Environmental effects of using clay bricks produced with sewage sludge: Leachability and toxicity studies. Waste Management. Volume 32, Issue 6, Pages 1202 - 1208.

Daltin, D. (2011). Tensoativos: química, propriedades e aplicações. Editora Blucher. Páginas 6-40

Decreto-Lei n.º 102-D/2020, de 10 de dezembro. Acedido a 28/04/2022 em: <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/102-d-2020-150908012>. Diário da República Eletrónico.

DIRECTIVA DO CONSELHO 86/278/CEE de 12 de Junho de 1986. Acedido a 06/06/2022 em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:31986L0278&from=PT>. Jornal Oficial das Comissões Europeias

Domingues, M. (2019). Análise e Otimização do Desempenho Ambiental de Área Fabril. Licenciatura em Ciências da Engenharia Química e Bioquímica, Universidade Nova de Lisboa.

ERSAR. (2020). Caracterização do Setor de Águas e Resíduos. RELATÓRIO ANUAL DOS SERVIÇOS DE ÁGUAS E RESÍDUOS EM PORTUGAL. Volume 1, Páginas 150-154.

Fleck, L.; Eyng, E.; Tavares, M. (2015). REMOÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO EM EFLUENTES LÍQUIDOS: UMA REVISÃO. Revista EIXO, Brasília-DF, Volume 4, n. 2, Páginas 78-88.

Gherghel, A.; Teodosiu, C.; Gisi, S. (2019). A review on wastewater sludge valorization and its challenges in the context of circular economy. Journal of Cleaner Production, Volume 228, Pages 244-263

H. B. Fuller. (2021). Acedido a 13/09/2021 em: <https://www.hbfuller.pt/pt/eimea/>

Inocência, S. (2012). Contribuição para o Estudo do Processo de Lamas Ativadas com vista à Redução de Custos de Operação. Faculdade de Ciências e Tecnologia

Interagua, Paralab, Tecminho. Sistema de Tratamento (secundário) de Águas Residuais: Manual de Operação e Manutenção. (1999). Projeto para Licenciamento. Isar-Rakoll Chemie Portuguesa, S.A.

Krug, F; Nóbrega, J.; Oliveira, P. (2004). Espectrometria de Absorção Atômica. Parte 1. Fundamentos e atomização com chama. Universidade de São Paulo.

Lopes, C. (2018). Valorização de Lamas de ETAR na Economia Circular: Desafios e Oportunidades. Universidade do Minho, Escola de Economia e Gestão

Lopes, P. (2019). Gestão e Valorização das Lamas da ETAR da OMNOVA Solutions. Área Departamental de Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

Meireles, M. (2011). Optimização da Estação de Tratamento de Águas Residuais de Crestuma. Instituto Superior de Engenharia do Porto

Mendes, A. (2009). Estudo Técnico-Económico de uma Unidade de Co-compostagem de Lamas de ETAR. Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Metcalf & Eddy. (2003). Wastewater Engineering – Treatment and Reuse, 4th edit. New York: McGraw-Hill Book Co. Pages 504-510

Moura, E. (2018). Descarga de Águas Residuais não Domésticas em Sistemas de Drenagem Urbanos - Avaliação do Impacto nas Redes e nos Meios Hídricos Receptores. Engenharia do ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Monte, H.; Santos, M.; Barreiros, A. e Albuquerque, A. (2016). Tratamento de Águas Residuais – Operações e Processos de Tratamento Físico e Químico. Cursos Técnicos – Lisboa

Regulamento n.º 586/2010, de 7 de julho - Regulamento de Serviços Públicos Municipais de Abastecimento de Água e Saneamento do Concelho de Vila do Conde, Indaqua. Acedido a 15/06/2022 em: <https://dre.pt/dre/detalhe/regulamento/586-2010-3082771>

Santos, A. (2018). Diagnóstico do desempenho operacional de Estações de Tratamento de Água Residual (ETAR) e avaliação do potencial de valorização agrícola do efluente tratado – Casos de estudo das ETAR de Montemor-o-Velho e da ETAR Norte de Leiria/Coimbrão. Escola Superior Agrária, Coimbra

Shi, S., Xu, G., Yu, H., & Zhang, Z. (2018). Strategies of valorization of sludge from wastewater treatment. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 93(4), Volume 93, Issue 4, Pages 936-944. SCI, Where Science Meets Business

Shimadzu, Excellence in Science. (2022). Acedido a 02/06/2022 em: <https://www.shimadzu.com/an/products/total-organic-carbon-analysis/COT-analysis/on-line-COT-vcsh/index.html>

Soares, P.; Duarte, F.; Freitas, O.; Matos, C.; Figueiredo, S.; Boaventura, R. (2012). Evaluating the Efficiency of a vegetal coagulant in the treatment of industrial effluents. *Fresenius Environmental Bulletin*. Volume 21 – No 8b. 2012

Sousa, J. (2011). Caracterização da Decantabilidade das Lamas Activadas da ETAR de Sobreiras, Porto, Via Determinação Fisiológica Global Através da Monitorização de Sour. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Sousa, T. (2016). Estações de Tratamento de Águas Residuais: Conceitos e Dimensionamento. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Ventilaqua. (2022). Acedido a 17/06/2022 em: <https://www.ventilaqua.com/>

## Anexos

### Anexo A. Cálculos dos volumes de carga e descarga no processo de tratamento

No processo de tratamento biológico de águas residuais é necessário verificar o estado dos diferentes tanques (altura livre do tanque de equalização 2 (EQ2) e do SBR).

O volume livre de EQ2 é calculado segundo a equação A.1.

$$V_{\text{livre EQ2}} = h_{\text{livre tanque EQ2}} \times 21 \quad (\text{equação A.1})$$

Em que:

$h_{\text{livre tanque EQ2}}$  - Altura (da superfície até ao nível do líquido) do tanque de equalização 2 (EQ2)

O volume de descarga e de lamas retirado do tanque SBR é calculado pela equação A.2.

$$V_{\text{desc.}} = (h_{\text{tanque SBR do dia anterior}} - h_{\text{tanque SBR do dia}}) \times 60 \quad (\text{equação A.2})$$

Em que:

$h_{\text{tanque SBR do dia anterior}}$  - Altura (da superfície até ao nível do líquido) do tanque de SBR do dia anterior

$h_{\text{tanque SBR do dia}}$  - Altura (da superfície até ao nível do líquido) do tanque de SBR do próprio dia

O volume de carga a partir do tanque de equalização 1 (EQ1) para o SBR é calculado pelas equações A.3 e A.4.

$$V_{\text{carga}} = (h_{\text{tanque SBR final carga}} - h_{\text{tanque SBR final descarga}}) \times 60 \quad (\text{equação A.3})$$

$$h_{\text{tanque SBR final carga}} = (h_{\text{total}} - h_{\text{livre tanque SBR}}) \quad (\text{equação A.4})$$

Em que:

$h_{\text{tanque SBR final carga}}$  - Altura ocupada com efluente do tanque SBR no final da carga

$h_{\text{tanque SBR final descarga}}$  - Altura (da superfície até ao nível do líquido) do tanque SBR no final da descarga

## **Anexo B. Procedimento detalhado dos ensaios Jar Test**

### **Anexo B.1. Determinação do volume mínimo de coagulante e otimização de pH**

1. Transferir para cada um dos seis gobelés 500 mL de efluente e acertar cada um aos diferentes valores de pH (6; 6,5; 7; 7,5; 8; 9);
2. No gobelé de pH=7 adicionar a solução de coagulante mL a mL até se observarem flocos. O volume adicionado corresponderá à dosagem mínima;
3. Adicionar o volume mínimo de coagulante a cada um dos gobelés e submeter os ensaios a 3 minutos de agitação rápida a uma velocidade de 150 rpm e 15 minutos de agitação lenta a 20 rpm;
4. Apreciar os resultados através de observação visual e/ou controlo analítico: pH ótimo, aspeto de sobrenadante, tamanho de flocos, velocidade de sedimentação, etc.

### **Anexo B.2. Determinação da dosagem de coagulante**

1. Transferir para cada um dos seis gobelés 500 mL de efluente e adicionar dosagens crescentes de solução de coagulante a partir da mínima. Agitar;
2. Acertar os valores de pH ao ótimo;
3. Submeter os ensaios a 3 minutos de agitação rápida a 150 rpm e 15 minutos de agitação lenta a 20 rpm;
4. Apreciar os resultados através de observação visual e/ou controlo analítico: volume ótimo de coagulante, aspeto de sobrenadante, tamanho de flocos, velocidade de sedimentação, etc.

### **Anexo B.3. Avaliação do efeito da adição de um adjuvante de floculação**

1. Transferir para cada um dos seis gobelés 500 mL de efluente e adicionar a dosagem ótima de coagulante a cada gobelé;
2. Ajustar o pH para o valor ótimo e agitar rapidamente a 150 rpm durante 3 minutos;
3. Adicionar volumes crescentes de floculante aos gobelés e submeter os ensaios a 15 minutos de agitação lenta a 20 rpm;

4. Apreciar os resultados através de observação visual e/ou controlo analítico: volume ótimo de floculante, taxa de remoção, aspeto de sobrenadante, tamanho de flocos, velocidade de sedimentação, etc.

## Anexo C. Fichas Técnicas

### Anexo C.1. Ficha técnica soda cáustica

Connecting**Chemistry**

**BRENNTAG**

PRODUTO: SODA CÁUSTICA TEC 32% CÓDIGO: 18331	DATA: 14/05/2021 REVISÃO: 01
---	---------------------------------

Fórmula Química:  
NaOH

Outros nomes:  
Hidróxido de Sódio

Características:  
É um líquido incolor, sem odor. É solúvel em água e em álcoois.

Composição:  
Hidróxido de sódio 32%

VARIÁVEIS	ESPECIFICAÇÕES DE VENDA	UNIDADES
Concentração	30 - 32	%
Carbonatos	≤ 0,1	%
Ferro	≤ 6	ppm
Cloretos	≤ 90	ppm
Densidade a 20°C	≥ 1,33	g/cm <sup>3</sup>
Temperatura de ebulição	Aprox. 119	°C
Temperatura de congelação	0	°C
Pressão de vapor a 20 °C	1	kPa
Viscosidade a 20 °C	12,7	cp

Estas informações correspondem ao estado atual dos nossos conhecimentos e são fornecidas de boa fé. No entanto, o usuário é responsável por garantir que o produto seja apropriado para o uso específico a que se destina e seja manuseado de acordo com a legislação local e nacional aplicável.

Brenntag Portugal – Produtos Químicos, Lda. Parque Industrial de Mide, lote 21B, 4815-169 Lordelo – Guimarães. [www.brenntag.pt](http://www.brenntag.pt) Tlf +351 219 248 800

## Anexo C.2. Ficha técnica Aquaprox MFA 9722

**AQUAPROX**

1

### **AQUAPROX<sup>®</sup> MFA 9722**

09722

#### DEFINIÇÃO

O **AQUAPROX<sup>®</sup> MFA 9722** é um flocculante aniónico de elevado peso molecular.

#### DESCRIÇÃO DO PRODUTO

Aspecto	Pó
Odor	Nenhum
Cor	Branco
<b>Valor significativo (para informação)</b>	
Viscosidade numa solução a 5 g/l	500 mPa.s aproximadamente
Viscosidade numa solução a 2.5 g/l	250 mPa.s aproximadamente
Viscosidade numa solução a 1 g/l	90 mPa.s aproximadamente
<b>Outras informações</b>	
Estabilidade a 0°C	Boa
Estabilidade a +35°C	Boa
Estabilidade na armazenagem	2 anos a 20°C

#### DOMINIOS DE UTILIZAÇÃO

O **AQUAPROX<sup>®</sup> MFA 9722** é utilizado no tratamento de efluentes combinado com sais metálicos.

#### ACONDICIONAMENTO:

o **AQUAPROX<sup>®</sup> MFA 9722** é fornecido em sacos de 25 kg.

#### MÉTODOS DE UTILIZAÇÃO

É recomendado preparar soluções de 1 a 10 g/l, de preferência a 5 g/l. A solução assim preparada está pronta para utilização, mantendo-se estável durante 24 horas.

As indicações contidas nesta informação correspondem aos nossos conhecimentos actuais; têm por objectivo aconselhar mas sem, no entanto, comprometer a nossa responsabilidade porque não podemos controlar o modo como são utilizados os nossos produtos.

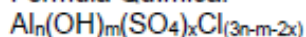
## Anexo C.3. Ficha técnica Kemira PAX XL 10

ConnectingChemistry



PRODUTO: KEMIRA PAX XL10 CÓDIGO: 18427	DATA: 05/04/2021 REVISÃO: 01
---	---------------------------------

Fórmula Química:



Outros nomes:

Solução de polihidroxíclorosulfato de alumínio

Características:

O Kemira PAX- XL10 é uma solução límpida, com cheiro insignificante, completamente solúvel em água.

O produto mantém-se estável durante aproximadamente oito meses.

Recomenda-se que anualmente seja efetuada uma vistoria ao interior do depósito de armazenagem, para detetar possível precipitado. Se este for evidente o depósito deverá ser lavado.

Composição:

Solução de polihidroxíclorosulfato de alumínio

VARIÁVEIS	ESPECIFICAÇÕES DE VENDA	UNIDADES
Alumínio como Al <sup>3+</sup>	5,0 ± 0,2	%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,5 ± 0,4	%
Basicidade	65 ± 5	%
Substância ativa	Aprox. 1,9	moles/kg
Ferro	< 0,01	%
Sulfato	1,2 ± 0,5	%
Cloretos	10 ± 1	%
Ponto cristalização	- 15	°C
Viscosidade a 20°C	10 ± 5	
pH a 20°C	3 ± 0,5	
Arsénio	< 14	mg/kg de Al
Chumbo	< 40	mg/kg de Al
Cádmio	< 3	mg/kg de Al
Merúrio	< 4	mg/kg de Al

Estas informações correspondem ao estado atual dos nossos conhecimentos e são fornecidas de boa fé. No entanto, o usuário é responsável por garantir que o produto seja apropriado para o uso específico a que se destina e seja manuseado de acordo com a legislação local e nacional aplicável.

Brenntag Portugal – Produtos Químicos, Lda. Rua Mourisca, 26 e 32, Linhó, 271-327 Sintra.  
[www.brenntag.pt](http://www.brenntag.pt) Tif +351 219 248 800

## Anexo C.4. Ficha técnica sulfato de alumínio sólido

Connecting**Chemistry**

**BRENNTAG**

PRODUTO: SULFATO ALUMÍNIO SÓLIDO PWG CÓDIGO: 20836	DATA: 19/03/2021 REVISÃO: 01
---	---------------------------------

Fórmula Química:  
 $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$

**Características:**  
Pó cristalino ligeiramente amarelado, inodoro e solúvel em água

**Composição:**  
Sulfato de alumínio

VARIÁVEIS	ESPECIFICAÇÕES DE VENDA	UNIDADES
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,0 ± 0,5	%
Al	9,0 ± 0,3	%
Matéria insolúvel em água	≤ 0,2	%
Arsénio	< 3,8	ppm
Cádmio	< 0,1	ppm
Crómio	< 2,8	ppm
Mercurio	< 3,0	ppm
Níquel	< 2,6	ppm
Chumbo	< 2,1	ppm
Antimónio	< 5,6	ppm
Selénio	< 4,0	ppm
pH	3,4 – 3,75	
Solubilidade em água 0 °C	70	g/100 cc
Solubilidade em água 170 °C	170	g/100 cc

Este produto cumpre a Norma EN 878 (tipo 1, livre ferro)

**Granulometria:**

TIPO DE PRODUTO	ESPECIFICAÇÕES DE VENDA	UNIDADES
Pó	0 - 1	mm
Grão fino	1 - 5	mm
Grão fino	5 - 12	mm

Estas informações correspondem ao estado atual dos nossos conhecimentos e são fornecidas de boa fé. No entanto, o usuário é responsável por garantir que o produto seja apropriado para o uso específico a que se destina e seja manuseado de acordo com a legislação local e nacional aplicável.

Brenntag Portugal – Produtos Químicos, Lda. Rua Mourisca, 26 e 32, Linhó, 2710-327 Sintra.  
[www.brenntag.pt](http://www.brenntag.pt) Tlf +351 219 248 800

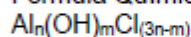
## Anexo C.5. Ficha técnica PAX 18

Connecting**Chemistry**

**BRENNTAG**

PRODUTO: KEMIRA PAX 18 CÓDIGO: 18330	DATA: 05/04/2021 REVISÃO: 01
---	---------------------------------

Fórmula Química:



Outros nomes:

Solução de polihidroxicloreto de alumínio

Características:

O Kemira PAX-18 é uma solução amarelada límpida, com cheiro insignificante, completamente solúvel em água (a 20°C) e insolúvel em solventes orgânicos.

O produto mantém-se estável durante aproximadamente seis meses. Recomenda-se, que cada seis meses, seja efetuada uma vistoria ao interior do depósito, para detetar possível precipitação. Se esta for evidente o depósito deverá ser lavado

Composição:

Solução de polihidroxicloreto de alumínio

VARIAVEIS	ESPECIFICAÇÕES DE VENDA	UNIDADES
Alumínio como Al <sup>3+</sup>	9,0 ± 0,3	%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,0 ± 0,6	%
Basicidade	42 ± 3	%
Densidade a 20°C	1,37 ± 0,03	g/cm <sup>3</sup>

Análise típica:

VARIAVEIS	ESPECIFICAÇÕES DE VENDA	UNIDADES
Substância ativa	Aprox. 3,3	moles/kg
Ferro	< 0,01	%
Cloretos	21 ± 1	%
Viscosidade a 20°C	35 ± 10	mPas
Ponto cristalização	- 20	°C
pH a 20°C	3,9 ± 0,5	
Arsénio	14	mg/kg de Al
Chumbo	40	mg/kg de Al
Cádmio	3	mg/kg de Al

Estas informações correspondem ao estado atual dos nossos conhecimentos e são fornecidas de boa fé. No entanto, o usuário é responsável por garantir que o produto seja apropriado para o uso específico a que se destina e seja manuseado de acordo com a legislação local e nacional aplicável.

Brenntag Portugal – Produtos Químicos, Lda. Rua Mourisca, 26 e 32, Linhó, 271-327 Sintra.  
[www.brenntag.pt](http://www.brenntag.pt) Tlf +351 219 248 800

## Anexo C.6. Ficha técnica Aquaprox MFC 1013



### AQUAPROX® MFC 1013

610013

#### DEFINITION

AQUAPROX® MFC 1013 is an organic coagulant with a liquid presentation, partially or totally replacing mineral products. The product is specially formulated to reduce or eliminate the use of conventional reagents such as lime or soda.

AQUAPROX® MFC 1013 is bio-based, derived from a renewable resource, the tannin.

#### PRODUCT DESCRIPTION

Aspect	Liquid
Odour	Characteristic
Colour	Brown
<b>Significant values (for guidance)</b>	
Viscosity at 20°C	< 100 mPa.s
Density at 20°C	1.06 ± 0.04 g/cm <sup>3</sup>
pH as it is	2.5
<b>Other informations</b>	
Stability at 0°C	Good
Stability at + 40°C	Do not expose to heat
Storage stability	6 months at 20°C

#### APPLICATION PROPERTIES

AQUAPROX® MFC 1013 is primarily used in solid-liquid separation processes such as wastewater treatment and water clarification processes in all industries. The product is particularly effective in raw water clarification processes.

AQUAPROX® MFC 1013 is formulated without heavy metals. The product minimizes the production of sludge.

AQUAPROX® MFC 1013 generally does not require a change of the effluent due to its effectiveness over a wide pH range.

#### IMPLEMENTATION

AQUAPROX® MFC 1013 can be injected by a dosing pump. Laboratory tests (Jar-tests) can be performed to specify the optimal dosage.

A flocculant can be added to increase the solid-liquid separation process.

AQUAPROX® MFC 1013 must be introduced into a point of strong turbulence to ensure a homogeneous and a rapid mixing.

The dosage will be advised by the Aquaprox engineer.

## Anexo C.7. Ficha técnica Aquaprox MFC 1024

**AQUAPROX**

### AQUAPROX® MFC 1024

610024

#### DEFINITION

AQUAPROX® MFC 1024 is a mixed organic and mineral coagulant with a liquid presentation.

AQUAPROX® MFC 1024 is partially biobased, the organic base comes from a renewable resource, the starch.

#### PRODUCT DESCRIPTION

Aspect	Viscous liquid
Odour	Light
Colour	Colourless to slightly yellow
<b>Significant values (for guidance)</b>	
Viscosity at 20°C	700 ± 300 mPa.s
Density at 20°C	1.18 g/cm <sup>3</sup>
pH as it is	2.8
<b>Other informations</b>	
Stability at 0°C	Good
Stability at + 40°C	Do not expose to heat
Storage stability	12 months at 20°C

#### APPLICATION PROPERTIES

AQUAPROX® MFC 1024 is mainly used in solid-liquid separation processes such as wastewater treatment and water clarification processes in all industries. The product is particularly effective in raw water clarification processes.

#### IMPLEMENTATION

AQUAPROX® MFC 1024 can be injected by a dosing pump. The best results are obtained in a pH zone from 6 to 8. Laboratory tests (Jar-tests) can be performed to specify the optimum pH and dosage.

A flocculant can be added to increase the solid-liquid separation process.

AQUAPROX® MFC 1024 must be introduced into a point of strong turbulence to ensure a homogeneous and a rapid mixing.

The dosage will be advised by the Aquaprox engineer.

#### HANDLING AND STORAGE

Consult the safety data sheet.

Wear protective gloves and safety glasses.

#### CONDITIONING

AQUAPROX® MFC 1024 is delivered in 220 kg drum and 1000 kg container.

The information contained in this data sheet corresponds to the present state of our knowledge; it is intended for your guidance but we are not bound by it since we are not in a position to exercise control over the way in which our products are used.

6, rue Barbès – CS 80050 – 92532 LEVALLOIS-PERRET cedex (France)  
Tél. : 33 1 81 93 00 80 – Fax : 33 1 81 93 00 99 – info@aquaprox.com – www.aquaprox.com

## Anexo C.8. Ficha técnica Aquaprox MFC 9993

**AQUAPROX**

### AQUAPROX® MFC 9993

610189

#### DEFINITION

AQUAPROX® MFC 9993 is an organic coagulant with a liquid presentation, partially or totally replacing mineral products. The product

is specially formulated to reduce or eliminate the use of conventional reagents such as lime or soda.

#### PRODUCT DESCRIPTION

Aspect	Viscous liquid
Odour	Light
Colour	Yellowish
<b>Significant values (for guidance)</b>	
Viscosity at 20°C	2000 ± 500 mPa.s
Density at 20°C	1.06 ± 0.03 g/cm <sup>3</sup>
pH as it is	6.0
<b>Other informations</b>	
Stability at 0°C	Good
Stability at + 40°C	Good
Storage stability	24 months at 20°C

#### APPLICATION PROPERTIES

AQUAPROX® MFC 9993 is primarily used in solid-liquid separation processes such as wastewater treatment and water clarification processes in all industries.

AQUAPROX® MFC 9993 is formulated without heavy metals. The product minimizes the production of sludge.

AQUAPROX® MFC 9993 generally does not require a change of the pH effluent due to its effectiveness over a wide pH range.

AQUAPROX® MFC 9993 promotes the rapid settling of sludge while respecting the biological flora. It is therefore recommended for the secondary settling of biological sludge from aerobic or anaerobic systems.

#### IMPLEMENTATION

AQUAPROX® MFC 9993 can be injected by a dosing pump, pure or diluted in water. For a better efficiency, it is recommended to inject it pre-diluted using an in-line dilution. Laboratory tests (Jar-tests) can be performed to specify the optimal dosage.

A flocculant can be added to increase the solid-liquid separation process.

AQUAPROX® MFC 9993 must be introduced into a point of strong turbulence to ensure a homogeneous and a rapid mixing.

The dosage will be advised by the Aquaprox engineer

## Anexo C.9. Ficha técnica Aquaprox MFC 9997



### AQUAPROX® MFC 9997

609997

#### DEFINITION

AQUAPROX® MFC 9997 is an organic coagulant with a liquid presentation, partially or totally replacing mineral products. The product

is specially formulated to reduce or eliminate the use of conventional reagents such as lime or soda.

#### PRODUCT DESCRIPTION

Aspect	Viscous liquid
Odour	Amine
Colour	Yellowsih
<b>Significant values (for guidance)</b>	
Viscosity at 20°C	800 mPa.s
Density at 20°C	1.17 g/cm <sup>3</sup>
pH as it is	4.5 ± 1.0
<b>Other informations</b>	
Stability at 0°C	Good
Stability at + 40°C	Good
Storage stability	24 months at 20°C

#### APPLICATION PROPERTIES

AQUAPROX® MFC 9997 is primarily used in solid-liquid separation processes such as wastewater treatment and water clarification processes in all industries.

AQUAPROX® MFC 9997 is formulated without heavy metals. The product minimizes the production of sludge.

AQUAPROX® MFC 9997 generally does not require a change of the pH effluent due to its effectiveness over a wide pH range.

AQUAPROX® MFC 9997 promotes the rapid settling of sludge while respecting the biological flora. It is therefore recommended for the secondary settling of biological sludge from aerobic or anaerobic systems.

#### IMPLEMENTATION

AQUAPROX® MFC 9997 can be injected by a dosing pump, pure or diluted in water. For a better efficiency, it is recommended to inject it pre-diluted using an in-line dilution. Laboratory tests (Jar-tests) can be performed to specify the optimal dosage.

A flocculant can be added to increase the solid-liquid separation process.

AQUAPROX® MFC 9997 must be introduced into a point of strong turbulence to ensure a homogeneous and a rapid mixing.

The dosage will be advised by the Aquaprox engineer.

## Anexo C.10. Ficha técnica Aquaepur 520A

**AQUAPROX**

### AQUAEPUR® 520 A

610122

#### DEFINITION

AQUAEPUR® 520 A is a medium anionic high molecular weight flocculant, in powder form.

#### PRODUCT DESCRIPTION

Aspect	Powder
Odour	Neutral
Colour	White
<b>Significant values (for guidance)</b>	
Viscosity at 2,5 g/l	600 mPa.s
Density at 20°C	0.8 g/cm <sup>3</sup>
<b>Other informations</b>	
Stability at 0°C	Good
Stability at + 40°C	Good
Storage stability	24 months à 20°C

#### APPLICATION PROPERTIES

AQUAEPUR® 520 A is mainly used in solid-liquid separation processes such as wastewater treatment, sludge conditioning and water clarification processes in all industries.

#### IMPLEMENTATION

It is recommended to prepare solutions between 1 to 3 g/l. The solution thus prepared is ready for use, it is stable for 24 hours. The recommended dissolution time is 60 minutes.

Laboratory tests (Jar-tests) can be performed to specify the optimal dosage. The dosage will be advised by the Aquaprox engineer.

#### HANDLING AND STORAGE

Consult the safety data sheet.

Wear protective gloves and safety glasses.

#### CONDITIONING

AQUAEPUR® 520 A is delivered in 25 kg bag.

*The information contained in this data sheet corresponds to the present state of our knowledge; it is intended for your guidance but we are not bound by it since we are not in a position to exercise control over the way in which our products are used.*

6, rue Barbès – CS 80050 – 92532 LEVALLOIS-PERRET cedex (France)  
Tél. : 33 1 81 93 00 80 – Fax : 33 1 81 93 00 98 – E-Mail : info@aquaprox.com

## Anexo C.11. Ficha técnica Aquaepur 530A

AQUAPROX

### AQUAEPUR® 530 A

610120

#### DEFINITION

AQUAEPUR® 530 A is a medium anionic high molecular weight flocculant, in powder form.

#### PRODUCT DESCRIPTION

Aspect	Powder
Odour	Neutral
Colour	White
<b>Significant values (for guidance)</b>	
Viscosity at 2,5 g/l	700 mPa.s
Density at 20°C	0.8 g/cm <sup>3</sup>
<b>Other informations</b>	
Stability at 0°C	Good
Stability at + 40°C	Good
Storage stability	24 months à 20°C

#### APPLICATION PROPERTIES

AQUAEPUR® 530 A is mainly used in solid-liquid separation processes such as wastewater treatment, sludge conditioning and water clarification processes in all industries.

#### IMPLEMENTATION

It is recommended to prepare solutions between 1 to 3 g/l. The solution thus prepared is ready for use, it is stable for 24 hours. The recommended dissolution time is 60 minutes.

Laboratory tests (Jar-tests) can be performed to specify the optimal dosage. The dosage will be advised by the Aquaprox engineer.

#### HANDLING AND STORAGE

Consult the safety data sheet.

Wear protective gloves and safety glasses.

#### CONDITIONING

AQUAEPUR® 530 A is delivered in 25 kg bag.

The information contained in this data sheet corresponds to the present state of our knowledge; it is intended for your guidance but we are not bound by it since we are not in a position to exercise control over the way in which our products are used.

6, rue Barbès – CS 80050 – 92532 LEVALLOIS-PERRET cedex (France)  
Tél. : 33 1 81 93 00 80 – Fax : 33 1 81 93 00 98 – E-Mail : info@aquaprox.com

## Anexo C.12. Ficha técnica Fomaster MO NDW

### Technical Data Sheet



# Foamaster<sup>®</sup> MO NDW

<b>Product description</b>	Defoamer based on mineral oil
<b>Key benefits</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Exceptional product stability. Retains defoaming efficiency, even after months of storage.</li> <li>■ Contributes to excellent brushability and does not cause fish-eyes.</li> </ul>
<b>Chemical nature</b>	Blend of mineral oils and non ionic surfactants

### Properties

**Physical form** Colorless to yellowish liquid

<b>Technical data</b> (not supply specifications)	Water content	~ 0.25 %
	Density	at 20 °C (68 °F) ~ 0.87 g/cm <sup>3</sup>
	Viscosity	~ 550 mPa·s

### Application

Foamaster<sup>®</sup> MO NDW is effective in all systems based on synthetic latex, especially those based on styrene-butadiene, polyvinyl acetate, acrylic and water-soluble alkyds.

**Formulation guideline** 0.2 – 0.5 % calculated on total formulation. In adhesives a dosage of 1.0 - 2.0 % is recommended

When manufacturing paints, Foamaster<sup>®</sup> MO NDW is best added during grinding in order to achieve perfect incorporation of the defoamer into the system. When adding the defoamer during the let-down stage, pre-dilute Foamaster<sup>®</sup> MO NDW with water and add while agitating vigorously.

## Storage

Foamaster® MO NDW might form a slight sedimentation or phase separation during storage. The defoaming properties of Foamaster® MO NDW are not affected, if the product is mixed thoroughly prior to use.

### Contacts worldwide

Asia  
BASF East Asia Regional Headquarters Ltd  
45/F, Jardine House  
No. 1 Connaught Place  
Central Hong Kong  
China  
[formulation-additives-asia@basf.com](mailto:formulation-additives-asia@basf.com)

Europe  
BASF SE  
Formulation Additives  
67056 Ludwigshafen  
Germany  
[formulation-additives-europe@basf.com](mailto:formulation-additives-europe@basf.com)

North America  
BASF Corporation  
11501 Steele Creek Road  
Charlotte, NC 28273  
USA  
[formulation-additives-nafta@basf.com](mailto:formulation-additives-nafta@basf.com)

South America  
BASF S.A  
Rochaverá - Crystal Tower  
Av. das Nações Unidas, 14.171  
Morumbi - São Paulo-SP  
Brazil  
[formulation-additives-south-america@basf.com](mailto:formulation-additives-south-america@basf.com)

### Validity

This Technical Data Sheet is valid for all versions of the Foamaster® MO NDW, Foamaster MO NDW, Foamaster MO NDW AC, Foamaster MO NDW AJ, Foamaster MO NDW EG, Foamaster MO NDW NC, Foamaster MO NDW NM

### Safety

When handling this product, please comply with the advice and information given in the safety data sheet and observe protective and workplace hygiene measures adequate for handling chemicals.

### Note

The data contained in this publication are based on our current knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application of our product, these data do not relieve processors from carrying out their own investigations and tests; neither do these data imply any guarantee of certain properties, nor the suitability of the product for a specific purpose. Any descriptions, drawings, photographs, data, proportions, weights, etc. given herein may change without prior information and do not constitute the agreed contractual quality of the product. The agreed contractual quality of the product results exclusively from the statements made in the product specification. It is the responsibility of the recipient of our product to ensure that any proprietary rights and existing laws and legislation are observed.

® - Registered trademark  
™ - Trademark of the BASF Group, unless otherwise noted

[www.basf.com/formulation-additives](http://www.basf.com/formulation-additives)

## Anexo C.13. Ficha técnica Superfloc Série A-150

Connecting**Chemistry**

**BRENNTAG**

SUPERFLOC SÉRIE A-100	
CODIGOS: 18242; 18243; 18244	DATA: 21/06/2021 REVISÃO: 01

### IDENTIFICAÇÃO

A série A-100 da gama Superfloc contempla floculantes aniônicos em pó altamente eficientes. Acondicionam com eficácia os sólidos nas operações de desidratação e atuam também nos processos de clarificação de água de uma variedade de indústrias e estações de tratamento água. Apresentam um excelente desempenho na separação líquido-sólido.

### CARACTERÍSTICAS

Produto	A-130 LMW	A-130	A-130 HMW	A-137	A-150 LMW	A-150	A-150 HMW
Aparência	Pó granular branco						
Carga %	33	33	33	40	50	50	50
Insolúveis (%w/w)	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0
Peso molecular relativo	Médio	Elevado	Muito Elevado	Elevado	Médio	Elevado	Muito Elevado
Densidade aparente (kg/dm <sup>3</sup> )	835 ± 50	850 ± 50	850 ± 50	875 ± 50	900 ± 50	900 ± 50	900 ± 50
pH sol. 0,5% (a 25°C)	5,0 – 7,0	5,0 – 7,0	5,0 – 7,0	5,0 – 7,0	5,0 – 7,0	5,0 – 7,0	5,0 – 7,0
Acrilamida residual PWG (*) – Grau Água Potável (%)	-	≤ 0,020	-	≤ 0,020	-	≤ 0,020	-
Viscosidade a 25 °C (cPs)							
0,10 %	180	200	250	150	100	200	150
0,25 %	350	400	550	450	250	450	450
0,50 %	700	850	1000	900	500	900	500

(\*) Produtos segundo a norma NP1407

### APLICAÇÕES

Estes produtos podem ser benéficos em qualquer processo de separação líquido-sólido, estando recomendados para os seguintes processos:

- Auxiliar na coagulação
- Filtração
- Desidratação mecânica
- Precipitação gravítica
- Flotação por meio de ar dissolvido
- Remoção de fósforo

Estas informações correspondem ao estado atual dos nossos conhecimentos e são fornecidas de boa fé. No entanto, o usuário é responsável por garantir que o produto seja apropriado para o uso específico a que se destina e seja manuseado de acordo com a legislação local e nacional aplicável.

Brenntag Portugal – Produtos Químicos, Lda. Parque Industrial de Mide, lote 21B, 4815-169 Lordelo – Guimarães.  
[www.brenntag.pt](http://www.brenntag.pt) Tlf +351 219 248 800

## Anexo D. Curvas de calibração

### Anexo D.1. Curva de calibração para a determinação do ferro

Na figura encontra-se representada a curva de calibração que se utilizou para a determinação do teor de ferro. O equipamento utilizado foi o espectrofotómetro de absorção atómica GBC 904AA.

O ferro foi determinado em mg/L.

Solução	Concentração (mg/L)	Abs (nm)
Branco	0	0
Padrão 1	0,500	0,025
Padrão 2	2,000	0,069
Padrão 3	4,000	0,133
Padrão 4	8,000	0,249
Padrão 5	9,000	0,279

Limite de deteção (mg/L)	Limite de quantificação (mg/L)
0,445	1,482

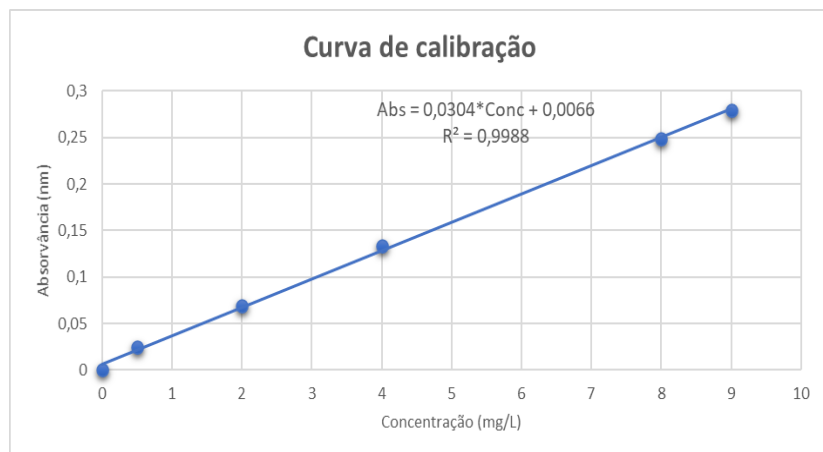


Figura D.1. Curva de calibração para a determinação do teor de ferro, em mg/L, (x) em função da absorvância, em nm (y).

A equação da reta obtida através dos padrões foi:

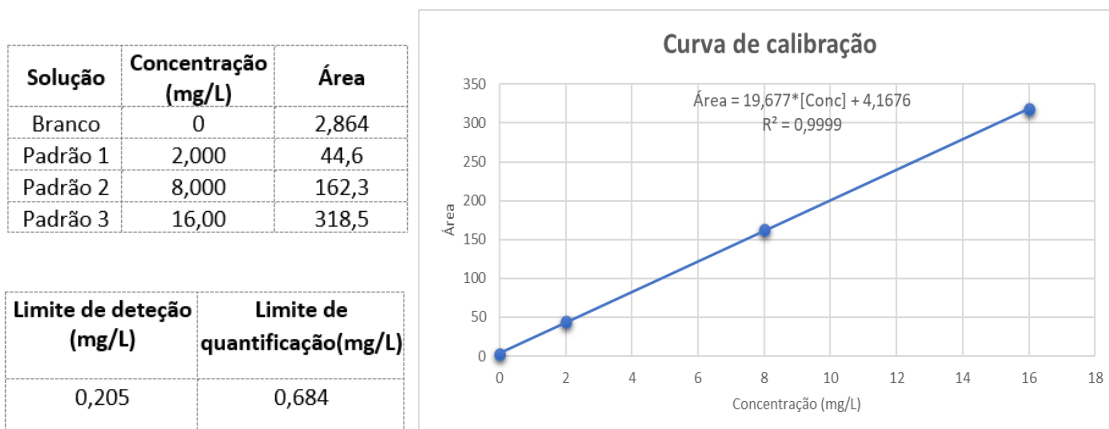
$$\text{Abs} = 0,0304 * [\text{Concentração}] + 0,0066 \quad (\text{equação D.1})$$

O coeficiente de correlação foi de  $R^2=0,9988$ , o que significa que existe uma boa linearidade.

## Anexo D.2. Curva de calibração para a determinação do azoto total

Na figura encontra-se representada a curva de calibração que se utilizou para a determinação do teor de azoto total. O equipamento utilizado foi o COT-V CSN em conjunto com uma unidade de determinação de azoto total TNM-1 da marca *Shimadzu*.

O azoto total foi determinado em mg/L.



*Figura D.2. Curva de calibração para a determinação do teor de azoto total, em mg/L, (x) em função da área (y).*

A equação da reta obtida através dos padrões foi:

$$\text{Área} = 19,677 * [\text{Concentração}] + 4,1676 \quad \text{(equação D.2)}$$

O coeficiente de correlação foi de  $R^2=0,9999$ , o que indica uma boa linearidade.

## Anexo E. Proposta VentilAQUA

H.B. Fuller – Proposta 22.PG.2891.V01

REVAMPING ETARI

### 5. Âmbito de Fornecimento

#### 5.1. Fornecimento Base

Ref.	Secção	Qt.	Descrição
1	Elevação	1	<b>Grelha do tipo cesto, VentilAQUA ou similar</b> de atuação manual para retenção de sólidos.
2	Elevação	1	<b>Conjunto de 3 boias de nível</b> para controlo das bombas de elevação à homogeneização.
3	Homog. F/Q	1	<b>Nível hidrostático, IFM ou similar</b> para controlo de nível do tanque de Homogeneização do F/Q.
4	Homog. F/Q	1	<b>Arejador submersível do tipo Venturi, FAGGIOLATI ou similar</b> , completo com todos os acessórios, para oxidação e mistura do tanque de homogeneização.
5	Processo F/Q	1	<b>Caudalímetro eletromagnético/indutivo IFM ou similar</b> para medição do caudal de alimentação ao F/Q.
6	Processo F/Q	1	<b>Válvula modelante elétrica, J4C ou similar</b> para controlo de caudal de alimentação ao F/Q.
7	Homog. Bio	1	<b>Compressor volumétrico FPZ ou similar</b> Insuflação de ar no tanque homogeneização do biológico, equipado com filtro de entrada, válvula de retenção e segurança.
8	Homog. Bio	1	<b>Conjunto de difusores</b> para difusão de oxigénio no tanque de homogeneização do biológico, tipo diafragma circular, de bolha grossa, construído em material plástico, de diafragma elastómero EPDM, incluindo seção de suporte e conexão em PVC.
9	Homog. Bio	1	<b>Nível hidrostático, IFM ou similar</b> para controlo de nível do tanque de Homogeneização do Biológico.
10	SmartSBR®	2+1	<b>Compressor volumétrico, FPZ ou similar</b> Insuflação de ar no tanque do biológico, equipado com filtro de entrada, válvula de retenção e segurança.
11	SmartSBR®	2	<b>Conjunto de difusores</b> para difusão de oxigénio no tanque do biológico, tipo diafragma circular, de micro-bolha, construído em material plástico, de diafragma elastómero EPDM, incluindo seção de suporte e conexão em PVC.
12	SmartSBR®	1	<b>Dispositivo flutuador</b> especial para descarga de água tratada, conectado à bomba de descarga
13	SmartSBR®	1+1	<b>Bomba, DAB ou similar</b> , de descarga de água tratada do biológico do tipo centrifuga/externa.
14	SmartSBR®	1+1	<b>Bomba, ZENIT ou similar</b> , de descarga de lamas do biológico do tipo submersível para envio ao tanque espessador.
15	SmartSBR®	1	<b>Sistema de medição de pH e oxigénio dissolvido, ENDRESS+HAUSER ou similar</b> no tanque Biológico.
16	SmartSBR®	2	<b>Depósito de preparação e dosagem de químicos Kozegho ou Similar</b> -Capacidade: 1250 Litros, -Agitação/Mistura: Não, -Controlo de Nível: Mínimo -Construção: Polietileno (PE).

Ref.	Secção	Qt.	Descrição
17	SmartSBR®	2	<b>Bomba doseadora eletromagnética, PROMINENT ou similar</b> com diafragma adequada para dosagem de químicos.
18	SmartSBR®	1	<b>Nível hidrostático, IFM ou similar</b> para controlo de nível do tanque do Biológico.
19	Tanque AT	1	<b>Nível hidrostático, IFM ou similar</b> para controlo de nível do tanque de acumulação de água tratada do biológico.
20	Tanque AT	1	<b>Caudalímetro eletromagnético/indutivo IFM ou similar</b> para medição do caudal de alimentação ao terciário.
21	Comando	1	<b>Quadro elétrico de comando e controlo da instalação</b> , composto por armário elétrico do tipo metálico, com IP55/IK10, com todos os equipamentos instalados em conformidade com as normas EN60-439 de baixa tensão e EN60-204 segurança máquinas. Equipado com sistema de proteção e comando de todos os motores e com autómato programável com comunicação Allen Bradley e painel de comando com ecrã tátil. (Exceto o filtro prensa que possui quadro elétrico próprio)
22	Serviços	1	<b>Instalação elétrica</b> da unidade incluindo material elétrico e mão-de-obra especializada para montagem.
23	Serviços	1	<b>Instalação hidráulica</b> dos diversos equipamentos, incluindo mão de obra especializada para montagem e conjunto de material hidráulico para montagem da instalação. Consideram-se as linhas principais de interligação do equipamento em PVC/INOX, de dimensão adequada.
24	Serviços	1	<b>Engenharia</b> para projeto e cálculos da instalação, incluindo: - Lay out geral - Esquema de ligações electro-hidráulicas - Esquema do quadro elétrico
25	Serviços	1	<b>Formação</b> do pessoal do cliente e arranque da instalação

## 5.2. Opcionais

Ref.	Secção	Qt.	Descrição
	Terciário	1	<b>Sistema de Oxidação Química e Desinfeção</b> da água após o tratamento terciário