



Reduzir a periculosidade de um resíduo gerado durante o processo produtivo

ALESSANDRA MOECKEL

Outubro de 2022

Reduzir a periculosidade de um resíduo gerado durante o processo produtivo

Discente:

Alessandra Moeckel – 1200119

Orientadoras:

Rosa Maria Pilão (ISEP)

Sónia Maria Gonçalves Gomes da Silva (WEG)

Empresa:

WEGeuro Indústria Elétrica S.A

Dissertação Submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química, área de especialização Qualidade.

Porto, outubro de 2022

Agradecimentos

Nessa etapa última etapa do mestrado, eu, Alessandra, agradeço aos meus pais, Eliana e Carlos Moeckel por sempre me darem todo suporte que eu precisei, pela dedicação e por sempre se esforçarem para que eu tivesse as melhores oportunidades. Agradeço sempre aos meus irmãos, Jéssica e Guilherme Moeckel, por todo apoio emocional e pelo incentivo mesmo nos momentos de dificuldade, sempre fazendo tudo parecer mais simples. As minhas avós, Alcina, Constância e Veneza por serem exemplos de determinação e por me fazerem perceber a importância dos estudos na vida de uma pessoa. Aos meus amigos de todas as partes do mundo e principalmente aos do ISEP e da HAW que sempre me ajudaram e fizeram presentes em todos os momentos compartilhando as dificuldades e principalmente, as alegrias.

Agradeço também o Politécnico do Porto, aos professores da Engenharia Química do ISEP e aos colaboradores da universidade que possibilitaram minha caminhada até aqui sempre compartilhando suas experiências e conhecimentos.

E um agradecimento especial às minhas orientadoras, Sônia Silva e Rosa Pilão, principalmente pelo incentivo, paciência e dedicação que me proporcionaram tanto conhecimento. Além disso, sou grata à WEG Portugal pela oportunidade de estagiar na empresa que me acolheu e me permitiu estudar seu processo produtivo.

Trago dentro do meu coração,
Como num cofre que se não pode fechar de cheio,
Todos os lugares onde estive,
Todos os portos a que cheguei,
Todas as paisagens que vi através de janelas ou
vigias,
Ou de tombadilhos, sonhando,
E tudo isso, que é tanto, é pouco para o que eu quero.

Fernando Pessoa

Resumo

É crescente a necessidade de otimizar os recursos utilizados na indústria e como também a preocupação com a sustentabilidade e preservação do meio ambiente. Nesse sentido, tanto economicamente como ambientalmente é preciso buscar soluções que equilibrem essas duas vertentes. O objetivo dessa tese é estudar a possibilidade de reduzir a toxicidade de um efluente produzido na WEG. O efluente é uma emulsão não clorada gerada durante o processo produtivo. Essa emulsão é uma mistura de fluido de corte, na forma óleo em água proveniente do processo conhecido como usinagem.

Os efluentes industriais podem ter inúmeras características dependendo do tipo de indústria, da origem e do processo. O motivo é que cada companhia utiliza diferentes componentes e substâncias químicas, logo é preciso investigar cada caso particular e assim, possibilitar o desenvolvimento do processo de tratamento mais adequado para aquele efluente específico.

A primeira fase do trabalho consistiu em efetuar um tratamento com adição de NaCl a quente com agitação seguido de centrifugação e posterior decantação. Este tratamento permitiu reduzir o teor de óleo da emulsão. A segunda fase do trabalho consistiu em caracterizar a fase aquosa resultante deste tratamento. Os parâmetros caracterizados foram: Sólidos Suspensos Totais, Óleos e Gorduras, Fósforo, Carência Química de Oxigênio e pH. Os valores obtidos para esses parâmetros foram então comparados com a legislação vigente em Portugal. Concluindo-se que, o tratamento utilizado reduz em cerca de 90% a quantidade de óleo presente, porém, ainda assim, a emulsão não se enquadra nos valores limites definidos pelo decreto-lei DL 236/1998, anexo XVIII (disponível na Tabela 3.1) e por isso não é possível fazer a descarga em meios hídricos legalmente.

Palavras-chave: emulsão; tratamento de efluentes; caracterização

Abstract

There is a growing need to optimize the resources used in the industry as well as an environment concerned with sustainability and preservation of the environment. In this sense, both aspects economic and environmental are needed in order to find a balance between these two aspects. The objective of this thesis is to seek the reduction of the toxicity of the effluent at WEG. The focus is a non-chlorinated emulsion generated by the production process. This emulsion is a mixture of cutting fluid, in the form of oil in water, from the process known as machining.

Industrial effluents may have different characteristics due to the origin and type of industrial process. The reason is that each company can use different components and chemicals in each specific case, so it is necessary to investigate so it is possible to develop the most appropriate treatment process for its effluent.

The first phase of the work consisted of carrying out a treatment with the addition of NaCl with heating and agitation followed by centrifugation and subsequent decantation. This treatment allowed to reduce the oil content of the emulsion. The second phase of the work consisted of characterizing the aqueous phase resulting from this treatment. The characterized parameters were: Total Suspended Solids, Oils and Fats, Phosphorus, Chemical Oxygen Demand and pH. The values obtained for these parameters were then compared with the portuguese legislation.

In conclusion, the treatment used reduces the amount of oil present by about 90%, however, even so, the emulsion does not fit within the limits defined by decree-law DL 236/1998, annex XVIII (available in Table 3.1) and therefore it is not possible to discharge into waters legally.

Key words: emulsion; wastewater treatment; characterization

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	iv
Índice de Figuras	vii
Índice de Tabelas	viii
1. Introdução	1
2. Fundamentação Teórica	2
2.1. Fluido de Corte	3
2.2. Emulsões	4
2.3. Efluentes Industriais	8
3. Legislação	10
3.1. Descarte dos Resíduos	13
4. Tratamento de Efluentes	15
5. Soluções Alternativas	18
5.1. Métodos de Tratamento	18
5.1.1. Separação Gravitacional	18
5.1.2. Centrifugação	18
5.1.3. Coagulação e Floculação	18
5.1.4. Flotação por ar dissolvido (FAD)	19
5.1.5. Desemulsificação por acidificação	20
5.1.6. Eletroflotação e Eletrocoagulação	20
5.1.7. Membranas	21
6. Ensaio de Quebra de Emulsão	23
6.1. Tratamento do Efluente	23
6.1.1. Experimento 1	23
6.1.2. Experimento 2	24

6.1.3.	Experimento 3	26
6.1.4.	Experimento 4	26
6.1.5.	Experimento 5	27
6.1.6.	Experimento 6	28
7.	Caracterização da Fase Aquosa Após Tratamento.....	30
7.1.	Sólidos Suspensos Totais	30
7.2.	Óleos e Gorduras	30
7.3.	Fósforo.....	31
7.4.	Carência Química de Oxigênio.....	31
7.5.	pH.....	32
7.6.	Resultados da Caracterização	32
7.6.1.	Sólidos Suspensos Totais	32
7.6.2.	Óleos e Gorduras	32
7.6.3.	Fósforo	33
7.6.4.	Carência Química de Oxigênio	34
7.6.5.	pH.....	34
8.	Conclusão.....	36
	Referências	38
	Anexo	41
A.	Sólidos Suspensos Totais	41
B.	Óleos e Gorduras	42
C.	Determinação da Carência Química de Oxigênio	43
D.	Determinação do pH.....	46

Índice de Figuras

Figura 2.1 — Fluxograma do Processo Produtivo	3
Figura 2.2 — Diferentes estágios de uma emulsão.	5
Figura 3.1 — Custos de Transporte e eliminação total entre 2017 e 2021	14
Figura 5.1 — Separação de membrana num sistema de duas fases.	22
Figura 6.1 — Funil de Separação	28

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 — Características do óleo de corte.....	7
Tabela 3.1 — VLE para Águas Residuais Industriais.....	12
Tabela 3.2 — Produção de emulsões não cloradas na WEG.	13
Tabela 6.1 — Resultados obtidos para o primeiro experimento	24
Tabela 6.2 — Resultados parciais experimento 2	25
Tabela 6.3 — Resultados parciais experimento 2	25
Tabela 6.4 — Resultados experimento 3.....	26
Tabela 6.5 — Resultados experimento 4.....	27
Tabela 6.6 — Resultados experimento 5.....	27
Tabela 6.7 — Resultados experimento 6.....	28
Tabela 7.1 — Valores médios de SST para o efluente bruto e para as amostras. ...	32
Tabela 7.2 — Valores médios e desvio padrão para o efluente bruto e amostras... 33	
Tabela 7.3 — Valores médios de fósforo obtidos as amostras tratadas	34
Tabela 7.4 — Valores obtidos da CQO para a Amostra 1	34
Tabela 7.5 — Valores médios de pH para o efluente bruto e amostras tratadas.....	35

1. Introdução

O desenvolvimento deste projeto enquadra-se dissertação de mestrado do 2º ano, do ramo de Qualidade do Mestrado em Engenharia Química, do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

O objetivo deste trabalho é definir uma solução para reduzir a toxicidade do efluente produzidos na WEG que são enviados para tratamento externo. O foco é o tratamento de uma emulsão não clorada que é gerada durante o processo produtivo na fábrica da WEGeuro Indústria Elétrica S.A localizada na Maia.

Nos últimos anos cresce a preocupação com a otimização dos recursos utilizados, seja económico e/ou ambiental, trata-se de um tema atual e pertinente em termos industriais, tecnológicos e ambientais.

2. Fundamentação Teórica

A WEG é uma multinacional brasileira tem sede em Jaraguá do Sul que produz equipamentos eletroeletrônicos. É uma das maiores fabricantes de equipamentos elétricos do mundo e atua principalmente no setor de bens de capital para setores como mineração, siderurgia, papel e celulose, petróleo e gás. Produz diversos itens como por exemplo máquinas elétricas, automação de processos industriais, geração e distribuição de energia, tintas e vernizes. Em 2021 a companhia atingiu um facturamento de 24 bilhões de reais onde 55% é proveniente de operações fora do Brasil [1]. A WEG tem suas ações negociadas na NASDAQ (bolsa de valores norte-americana) e na B3, a bolsa de valores de São Paulo, e é a única representante do setor de máquinas e equipamentos que faz parte, pelo nono ano consecutivo, do Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE) da B3. No Brasil, em 2021, a companhia foi premiada nas categorias "Melhor Empresa da Bolsa" e "Melhor do Setor de Bens de Capital" [2][3].

A WEG foi fundada em 1961, tem 37 mil funcionários ao redor do mundo e opera comercialmente em 135 países além de possuir fábricas em 12 destes. A empresa iniciou suas operações em Portugal no ano de 2002 após a aquisição de uma fábrica de motores elétricos localizada na cidade da Maia no Porto. Atualmente a companhia emprega 700 pessoas em Portugal número ampliado após a inauguração da unidade fabril de Santo Tirso. Essa unidade começou a ser construída em 2015, foi inaugurada em 2018, e é a maior unidade do grupo na união europeia. Essa planta é dedicada à produção de motores elétricos de baixa tensão e incorpora uma linha de produção mais verticalizada com processos de usinagem, fabricação de rotor, bobinagem, montagem e laboratórios de ensaios elétricos dedicados [1].

A WEGEURO da empresa compreende motores elétricos trifásicos de indução com potências de 4 a 9 MW com tensões: até 13,8 KV. A Organização realiza também atividades de revenda de produtos e de serviços de assistência técnica ao nível de motores elétricos trifásicos de indução e de produtos de automação. Na Figura 2.1 apresenta-se o fluxograma referente ao processo produtivo da unidade fabril da Maia.

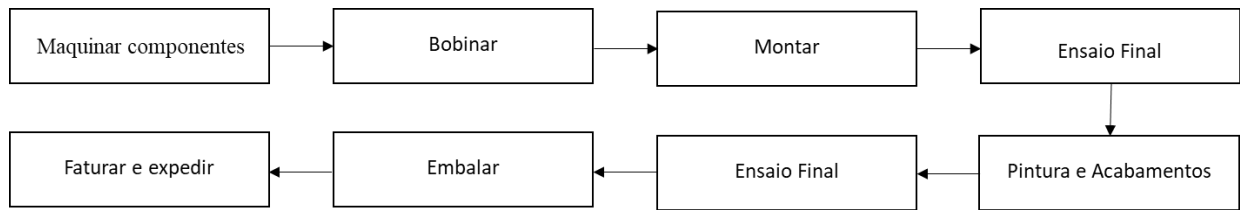


Figura 2.1 — Fluxograma do Processo Produtivo

2.1. Fluido de Corte

O efluente a ser analisado na WEG é uma mistura de fluido de corte, na forma de uma emulsão de óleo em água proveniente do processo conhecido como maquinagem ou usinagem. Segundo a norma DIN 8580, esses termos referem-se a todo ao processo mecânico de fabricação comumente empregado na produção de peças metálicas de precisão onde a peça final é o resultado da redução de material sob a forma de cavaco. Com a maquinagem é possível conferir às peças forma, dimensão e acabamento superficial [4]. Esse processo tem como objetivo criar componentes metálicos de precisão, é um processo de corte da matéria-prima [5].

Um fluido de corte pode ser um líquido ou gás a ser utilizado na ferramenta e no material que está a ser usinado com o objetivo de facilitar a operação de corte, suas funções envolvem: refrigeração, lubrificação, limpeza e ação anticorrosiva. Nas áreas onde o fluido é aplicado existem problemas como geração de calor na área do corte e também nas áreas de interface com as ferramentas. Esse fluido então reduz a fricção diminuindo o atrito durante o processo, reduz os danos e também a geração de calor o que aumenta a vida útil das ferramentas usadas. Além disso, há outras vantagens, como por exemplo, a limpeza devido à remoção de impurezas e de cavaco resultantes do processo, redução da temperatura facilitando o trabalho, diminuição das forças de corte e requerimentos de potência [6]. Esses fluidos também aumentam a qualidade das peças produzidas e reduzem o custo da produção pois aumentam a produtividade uma vez que permitem o aumento da velocidade e profundidade do corte das peças [7].

Fluidos de corte são variados e podem ter diversos tipos de composição química, inclusive com a adição de aditivos químicos para atender melhor ao processo. Os aditivos alteram as características do fluido de corte, porém tem algumas desvantagens como maior dificuldade no tratamento do mesmo como consequência do aumento da complexidade do fluido. Assim, caso

seja necessário usar aditivos, é preciso considerar e encontrar um equilíbrio entre as melhorias e as desvantagens acrescidas por essas substâncias.

Segundo a norma DIN 51385 esses fluidos podem ser classificados em 1) miscíveis em água ou emulsões e em 2) não-miscíveis em água ou óleo de corte. Outra forma de classificá-los segundo [7] encontra-se abaixo:

- óleos de corte (integral ou aditivado)
- fluidos solúveis em água
- emulsionáveis convencionais (emulsões)
- emulsionáveis semissintéticos
- fluidos sintéticos (soluções)
- gases e névoas
- sólidos (pasta de bissulfeto de molibdênio – MoS₂)

Os fluidos emulsionáveis são aqueles preparados para serem misturados com água que é o caso do óleo estudado nesse projeto. Para a escolha do fluido de corte apropriado existem diversos fatores que devem ser levados em consideração, são eles: material, economia, vida útil, geração de espuma, fácil descarte, ambientalmente amigável, não corrosivo, seguro, etc. [4].

2.2. Emulsões

Emulsões são dispersões colidais de pelo menos dois líquidos que não estão em equilíbrio e não são formadas de forma espontânea. Assim, para sua formação normalmente é necessário fornecer energia, além disso, com o tempo, as emulsões tendem a voltar para o estado estável onde óleo e água estão separados. Por isso, para se manter uma emulsão estável e homogênea é preciso adicionar agentes surfactantes que podem ser emulsionantes ou tensoativos. Um agente surfactante é uma substância orgânica e anfifílico, isso significa que ela interage com substâncias tanto polares e apolares pois suas moléculas têm duas regiões distintas, onde uma é hidrofóbica, que interage com substâncias apolares, e outra região que é hidrofílica ou iônica e reage com substâncias polares [8].

As propriedades de uma emulsão dependem do método como foi preparada e também da ordem de adição dos componentes, sendo então independentes das condições termodinâmicas (como temperatura, pressão ou composição). A estrutura das emulsões é dita como gotículas,

normalmente na faixa dos micrómetros, de uma “fase dispersa” em uma fase contínua. As emulsões são classificadas em simples, dependendo de qual é essa a fase dispersa: óleo em água (O/A) ou água em óleo (A/O). É importante que durante a preparação de emulsões seja obtido o tamanho de gotículas desejado e também uma distribuição de tamanhos estreita. Para aumentar a estabilidade de emulsões podem ser adicionados agentes emulsionantes como os tensoativos. Essas substâncias formam um filme que fica adsorvido ao redor das gotas impedindo a floculação e coalescência (que é a união de duas ou mais fases formando uma única fase) [6].

Na Figura 2.2, o estado 1 representa duas fases imiscíveis. No estado 2, a fase B está dispersa na fase A. No item 3, a emulsão é instável e com o tempo volta ao estado 1. No estado 4, o agente emulsionado se encontra na interface entre A e B e assim estabiliza a emulsão.

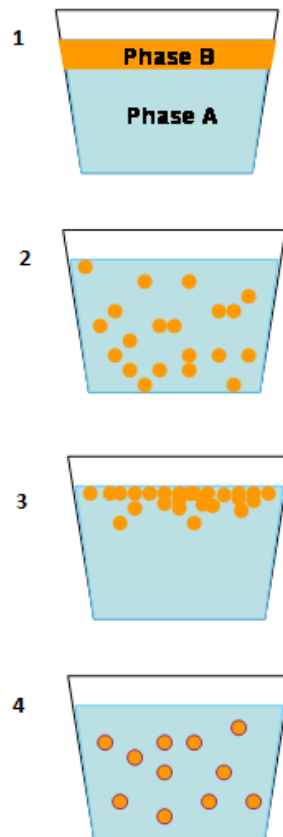


Figura 2.2 — Diferentes estágios de uma emulsão.

Fonte: Adaptado de [TTT]

Esses óleos devem receber o mesmo tipo de atenção que as máquinas, no sentido de que cuidados específicos devem ser aplicados. Eles precisam ser periodicamente trocados e limpos

pois durante o processo produtivo, são rapidamente contaminados. Muitas vezes, uma operação de limpeza pode ser feita na própria máquina dependendo do grau de impureza da emulsão. Após a remoção desse fluido e da limpeza do equipamento, é novamente colocado óleo limpo ou óleo novo. Os fluidos emulsionáveis são aqueles que são diluíveis em água. A preparação de uma emulsão deve ser feita pela adição do óleo na água, pois o inverso produz uma emulsão instável, além de que a água deve ser sempre agitada [9].

O óleo de corte usado nos processos da WEG é o ECOCOOL MS 335 BFF do fabricante Fuchs Lubrificantes que é apropriado para processos de maquinação severa de alumínio. Esse lubrificante é usado em diversas máquinas da planta, o que difere é a proporção usada de óleo/água em cada uma. Esse é um óleo de altas prestações, isento de boro, formaldeído e amins secundárias. É apropriado para a maquinação de alumínio, aço e ligas especiais. Segundo o fabricante, este é um produto auto emulsionante, ou seja, solúvel em água e que possui diversos aditivos como anticorrosivos, para garantir proteção das máquinas e peças produzidas, mas também aditivos emulsionantes e humectantes. Esse fluido tem grande capacidade de refrigeração devido à rápida evacuação do calor da área de trabalho, proporciona vida longa às emulsões tendo baixo custo de manutenção. Outra característica é a baixa formação de espuma em águas brandas. Tem também elevado poder detergente, o que garante a limpeza das máquinas e ferramentas [10].

O óleo ECOCOOL MS 335 BFF é preparado com óleos estéreis a partir de emulsionantes aniónicos e não ionogénicos e aditivos anticorrosivos, bem como agentes solubilizantes à base de álcool gordo glicol. Este produto geralmente é utilizado sob a forma de solução ou emulsão em água, não sendo comum seu uso sem diluição. Outros parâmetros dessa substância são encontrados na ficha técnica que se encontram na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 — Características do óleo de corte.

Parâmetro	Valor
Aspetto	Líquido Turvo
Cor	Âmbar
Fator Refratómetro	1,7
pH 5%	9,0 – 9,5
Densidade	0,99 g/cm ³ (15 °C) (DIN 51757)
Solubilidade na água	Miscível com água
Tensão Superficial (10%)	37
Teste Corrosão a 5% (200 ppm Cl)	1 grau
Estabilidade da Emulsão a 5%, 30 °HF	correta
Teste de Espuma a 5% 10 °HF	300/500/ 0/0/250

Fonte: Adaptado de [10]

Segundo o fabricante, esse produto deve ser armazenado longe de luz solar a uma temperatura entre 5°C e 40°C. O fluido deve ser adicionado à água com agitação da mesma com o objetivo de se obter uma mistura perfeita. Para isso a concentração do fluido deve permanecer entre 6% e 8% para as operações de usinagem em geral. A dureza da água afeta a emulsão, por esse motivo, não deve ser ultrapassada a dureza de 50°HF caso contrário a vida útil da emulsão é reduzida. Em relação à presença de cloretos, a concentração destes não pode ultrapassar 0,2 g/L para evitar corrosão [10].

A ficha de segurança desse óleo fornece informações adicionais sobre perigos que este pode causar, sendo classificados de acordo com o regulamento (CE) N.º 1272/2008. Em relação à saúde e ao ambiente é de categoria 2 podendo causar irritação cutânea, irritação ocular grave, é nocivo por ingestão. Além disso, em relação ao meio ambiente, é de categoria 3 o que significa que este fluido é nocivo para os organismos aquáticos com efeitos duradouros. Já para os perigos físicos não há dados disponíveis [10].

Considerando a alta toxicidade destes óleos, eles são enquadrados como resíduos perigosos. É importante compreender que com o tempo de uso, este fluido perde suas características originais

como a propriedade lubrificante, acumulando contaminantes como ácidos orgânicos e aromáticos com potencial cancerígeno.

Com o objetivo de controle de emulsões os parâmetros usualmente analisados são:

- Determinação do teor em água
- Determinação do teor em gordura total
- Determinação do pH
- Avaliação da estabilidade
- Determinação da Viscosidade
- Determinação do diâmetro das partículas dispersas.

2.3. Efluentes Industriais

Cada vez mais cresce a preocupação com o ambiente, com o uso racional de insumos e recursos, tanto ambientais como económicos, o que faz com que o tratamento de resíduos seja de extrema importância uma vez que estes são expressivas fontes de poluição. No ambiente, corpos hídricos são frequentemente usados para despejo de resíduos já que na água é possível diluir diversas substâncias. Por esse motivo se faz necessária a regulamentação desse tipo de descarte o que será abordado detalhadamente no capítulo 3.

Os efluentes industriais podem ter inúmeras características distintas a depender do tipo de indústria, da origem e do processo. Isso porque cada empresa utiliza diferentes componentes e substâncias químicas, por esse motivo, é necessário o estudo de cada caso particular, possibilitando o desenvolvimento do processo de tratamento daquele efluente específico. Já que esses tipos de rejeitos podem conter substâncias tóxicas para o meio ambiente e até compostos orgânicos.

No processo de maquinação há a produção secundária de uma água residual que pode conter diversas substâncias como óleos e graxas, ácido sulfúrico, surfactantes, inibidores de corrosão, metais como boro, cromo, ferro e zinco, como também matérias orgânicas. Consequentemente o potencial poluente dos fluidos de corte é expressivo e assim, não têm permissão de serem descartados, sem que haja um tratamento prévio, nos corpos hídricos. As consequências de um derrame de óleo nestes corpos pode ocasionar diminuição da quantidade de luz que atravessa a água, mudanças na viscosidade, na condutividade, mau cheiro e gosto ruim etc. Uma tonelada

desse óleo é dita a ser equivalente à poluição gerada por 40 mil cidadãos, sendo que no meio ambiente, um litro de óleo lubrificante demora cerca de 100 anos para se deteriorar [7].

O descarte inapropriado de óleo tem consequências ambientais muito graves e custosas, muitas companhias escolhem os fluidos considerando a facilidade de descarte destes, ainda que isso impacte na perda de performance. Como a legislação é mais branda no caso de fluidos solúveis em água, os fluidos de corte que formam emulsões tem preferência para a escolha e aplicação na indústria [7].

É importante medir e monitorizar periodicamente as principais características das operações e atividades que possam ter, ou não, impactos significativos sobre o ambiente. Dessa forma, é possível acompanhar o desempenho dos controlos operacionais relevantes, avaliar periodicamente a conformidade com a regulamentação, com a legislação e atingir os objetivos e metas ambientais anualmente estabelecidos.

3. Legislação

Segundo o Decreto-Lei n.º 152/97 as águas residuais industriais são provenientes de qualquer tipo de atividade que não possam ser classificadas como águas residuais domésticas nem sejam águas pluviais. Sendo que as águas residuais domésticas são definidas pelo mesmo decreto como aquelas provenientes de serviços e de instalações residenciais essencialmente proveniente do metabolismo humano e de atividades domésticas **Erro! Fonte de referência não encontrada.**].

Pode-se dizer que a água rejeitada é aquela que sobra após ter sido utilizada para o propósito para o qual foi destinada sendo então uma mistura de líquidos ou água. No caso das águas residuais industriais, estas têm composição físico-químicas variáveis, inclusive variando no tempo. Além de serem inerentes à produção, essas águas podem ser provenientes da limpeza associada ao processo. Praticamente todos os materiais que entram numa planta industrial podem eventualmente ser parte dos rejeitos como subprodutos, resíduos, óleos, produtos de limpeza e mesmo matéria-prima [12].

De acordo com o Decreto-Lei n.º 152-D/2017 os óleos usados são definidos como “quaisquer lubrificantes, minerais ou sintéticos, ou óleos industriais que constituam resíduos, designadamente os óleos usados dos motores de combustão e dos sistemas de transmissão, os óleos lubrificantes usados e os óleos usados para turbinas e sistemas hidráulicos.” Esse decreto refere-se aos óleos industriais e outros equiparáveis [13].

Já o controlo do impacto ambiental da indústria é regulado pela ISO 14001:2015, que prevê requisitos para a gestão mais eficaz dos aspetos ambientais das atividades, tendo em consideração a proteção ambiental, prevenção da poluição, cumprimento legal e necessidades socioeconómicas. Essa certificação adota a abordagem por processos, que incorpora o ciclo PDCA de melhoria contínua, integra o pensamento baseado em risco e a perspetiva de ciclo de vida [14].

A WEG possui um Sistema de Gestão Integrado (SGI), com as seguintes certificações:

- Sistema de Gestão Ambiental: ISO 14001:2015
- Sistema de Gestão da Qualidade: ISO 9001:2015
- Sistema de Gestão da Saúde e Segurança no Trabalho: ISO 45001:2018

A vantagem de se implementar um sistema de gestão integrado é aumento na qualidade do produto da companhia, aumento da confiabilidade e do desempenho geral, mas também aumento da eficiência operacional, o que diminui os riscos e atribui as responsabilidades. Dessa forma os custos também são reduzidos, assim como o tempo para auditoria, já que estas são feitas em conjunto [15].

A água residual a ser tratada na WEG tem uma composição de 8% (V/V) de óleo em água e possui partículas sólidas suspensas proveniente do processo de maquinação. É uma emulsão solúvel não clorada e, de acordo com a lista europeia de resíduos, se classifica com o código LER 130105*. O que corresponde à categoria das “emulsões não cloradas”. Já o asterisco, significa que não é necessário analisar tal emulsão, pois é automaticamente enquadrado como substância perigosa. Substâncias perigosas são regulamentadas pelo acordo nº 111/2017 de 31 de agosto de 2017 do Acordo Europeu Relativo ao Transporte Internacional de Mercadorias Perigosas por Estrada (ADR). Essa emulsão recebe então o número ONU 3082, também conhecido como Código ONU, é um número de identificação de produtos químicos usados no mundo todo. Esse resíduo segundo a ADR é de classe 9 (Materiais e Objetos Perigosos Diversos), e o grupo de embalagem tipo III (Matérias Levemente Perigosas) [16].

Para o resíduo em questão, os valores legalmente exigidos (VLE) para a descarga de águas residuais industriais são definidos pelo decreto-lei DL 236/1998, anexo XVIII disponível na Tabela 3.1:

Tabela 3.1 — VLE para Águas Residuais Industriais

Parâmetros	Unidades	VLE
pH (0)	Escala de Sorensen	6,0-9,0
Temperatura (0)	°C	Aumento de 3°C
CBO ₅ , 20°C (20) (0)	mg/l O ₂	40
CQO (0)	mg/l O ₂	150
SST (0)	mg/l	60
Alumínio	mg/l Al	10
Ferro total	mg/l Fe	2,0
Manganés total	mg/l Mn	2,0
Cheiro	—	Não detectável na diluição 1:20
Cor (0)	—	Não visível na diluição 1:20
Cloro residual disponível:		
Livre	mg/l Cl ₂	0,5
Total	mg/l Cl ₂	1,0
Fenóis	mg/l C ₆ H ₅ OH	0,5
Óleos e gorduras	mg/l	15
Sulfuretos	mg/l S	1,0
Sulfitos	mg/l SO ₃	1,0
Sulfatos	mg/l SO ₄	2000
Fósforo total	mg/l P	10 3 (em águas que alimentem lagoas ou albufeiras) 0,5 (em lagoas ou albufeiras)
Azoto amoniacal	mg/l NH ₄	10
Azoto total	mg/l N	15
Nitratos	mg/l NO ₃	50
Aldeídos	mg/l	1,0
Arsénio total	mg/l As	1,0
Chumbo total	mg/l Pb	1,0
Cádmio total	mg/l Cd	0,2
Crómio total	mg/l Cr	2,0
Crómio hexavalente	mg/l Cr (VI)	0,1
Cobre total	mg/l Cu	1,0
Níquel total	mg/l Ni	2,0
Mercúrio total	mg/l Hg	0,05
Cianetos totais	mg/l CN	0,5
Sulfuretos	mg/l S	1,0
Óleos minerais	mg/l	15
Detergentes (sulfato de lauril e sódio)	mg/l	2,0

Fonte: [16]

Esse decreto regula os valores máximos exigidos de cada substância, o que deve ser cumprido pela empresa para que o efluente, ou seja, a água residual, possa ser descartada em meios hídricos. Outra opção a ser considerada é a reutilização da água resultante do tratamento, dessa forma, é possível economizar água, além de reduzir o alto custo referente ao descarte.

3.1. Descarte dos Resíduos

A cada dois meses são descartados 12 m³ da emulsão em questão na WEG. O descarte é feito através por uma empresa terceira que vem à fábrica recolher esse material. No ano de 2021 foram descartadas pela WEG Portugal 108,1 toneladas desse resíduo onde 62 toneladas provenientes da fábrica da Maia e 47 toneladas da fábrica de Santo Tirso) totalizando um gasto de 13.600 euros no ano em questão.

Pela análise da Tabela 3.2, percebe-se o aumento considerável na produção da emulsão não clorada. A razão para isso é o aumento da carga de trabalho na área de maquinagem nas duas fábricas da WEG. Além disso, também houve um aumento na frequência das manutenções preventivas realizadas nessa mesma área [17].

Tabela 3.2 — Produção de emulsões não cloradas na WEG.

Ano	Toneladas Produzidas
2015	1,2
2016	47,9
2017	51,6
2018	84,5
2019	107,0
2020	109,0
2021	108,1

Fonte: [17]

Abaixo, na Figura 3.1 está representado os valores gastos com o transporte e descarte dos resíduos industriais perigosos (RIP) e das emulsões que serão estudadas na empresa. Observa-se o aumento na quantidade desses resíduos diretamente relacionado ao aumento na produção. Com o aumento da produção, há também aumento na produção de resíduos desse tipo. Considerando

todos os resíduos produzidos pela WEG Portugal, as emulsões não cloradas, proveniente das áreas da maquinaria, tanto da fábrica da Maia, como de Santo Tirso [17].

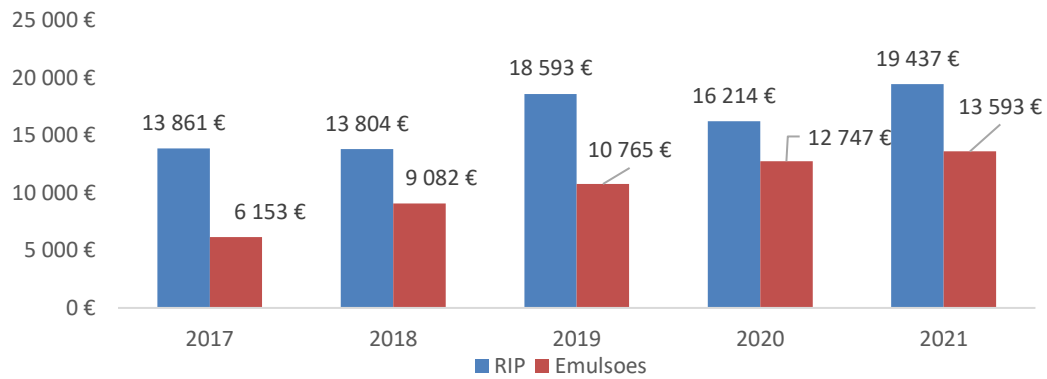


Figura 3.1 — Custos de Transporte e eliminação total entre 2017 e 2021

Fonte: [17]

4. Tratamento de Efluentes

Com o objetivo de reduzir o impacto económico decorrente deste efluente é necessário o tratamento do mesmo. A atual regulamentação portuguesa exige não apenas o monitoramento dos resíduos, mas também o descarte apropriado a depender da classificação e composição deste, o que tem considerável impacto económico.

Na WEG Portugal, diversos resíduos são produzidos durante o processo de produção, entre eles estão os industriais perigosos, os equiparados a urbanos e os valoráveis. Uma boa gestão dos resíduos industriais não é apenas benéfica para o ambiente, mas também para a empresa, considerando que a gestão controlada do armazenamento e eliminação reduz os custos inerente a esse descarte.

Primeiro faz se necessária a caracterização do resíduo em questão, assim é preciso conhecer os componentes químicos utilizados no processo que resultam nesse resíduo como metais pesados, corantes, hidrocarbonetos, detergentes, substâncias orgânicas e inorgânicas. Na sequência é preciso quantificar parâmetros como temperatura, pH, cor, turbidez, alcalinidade, oxigénio dissolvido e caudal ou vazão [18].

Existem diversas opções para tratamento de águas, assim um eficiente tratamento para águas oleosas consiste na separação da emulsão em duas fases líquidas, primeiramente é necessário que se reduza a estabilidade da emulsão. Para isso pode ser empregue procedimentos como coagulação, floculação, sedimentação, centrifugação, ajuste de pH, flotação e filtração por membranas [19]. Uma boa opção para desestabilizar uma emulsão segundo o autor [7] é a desestabilização por tratamento eletroquímico, eficiente para resíduos fortemente emulsionados, porém, essa é uma técnica ainda pouco usada.

Por outro lado, os diferentes tipos de tratamento podem variar em diversas maneiras considerando principalmente os custos e a eficiência do processo. Esses tratamentos podem ser físicos, químicos, físico-químicos, biológicos, mecânicos e elétricos e ainda podem ser usados em conjunto a depender do objetivo desse tratamento e da composição do resíduo. Os tratamentos são classificados em três níveis: primário, secundário e terciário [19].

O tratamento mais simples é o primário, nesse caso, a separação de óleo e água poderia ser a separação física devido à diferença de densidade por processos como:

- Separação Gravimétrica
- Centrifugação
- Flotação

Um exemplo é a separação gravimétrica para separar óleo com glóbulos superiores a 0,015cm de diâmetro na forma livre ou disperso e sólidos precipitados. Já a centrifugação é um método mais eficiente que a separação gravimétrica, principalmente para remover sólidos molhados por óleo e remoção de óleo livre da água. No uso da flotação no tratamento de águas residuais usa-se o princípio do empuxo e a flotação é realizada com ar dissolvido. Sendo esse último recomendado para remoção de sólidos ou de gotículas líquidas presentes em emulsões [19].

Atualmente um processo que ganha destaque cada vez mais em processos de separação é a aplicação de separação por membranas. Ao comparar essa tecnologia com outras opções de processos de separação, obtém-se um efluente de boa qualidade com uma operação que é simples e que não necessita grande área para sua instalação e sem a necessidade de se utilizar produtos químicos adicionais além de que, o risco de haver incrustação é reduzido. No estudo [20] feito com membranas NaA zeólita/ α -alumina foi atingido um percentual de 99% de rejeição de óleo.

A primeira análise que deve ser feita é em relação à diminuição da produção desse resíduo durante o processo em si e também para que, durante o tratamento, novos resíduos não sejam gerados desnecessariamente. Do mesmo modo, para que uma água residual possa ser devolvida aos meios hídricos (rios, lagos, etc.) faz-se necessária a caracterização dessa água residual. Isso é feito através do controlo de alguns parâmetros como o pH, condutividade, alcalinidade, carência química de oxigénio (CQO), carência bioquímica de oxigénio (CBO5), sólidos suspensos totais (SST), cor, ferro e sulfatos. Os valores de referência são encontrados na Portaria nº 423/97 de 25 de junho [21] e do Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de agosto [22].

O resíduo produzido nas instalações da WEG é uma emulsão de gestão complexa e assim, a melhor opção seria uma separação da mesma em duas fases, uma orgânica e outra aquosa. Essas fases podem posteriormente serem tratadas na empresa ou continuarem a ser retiradas por uma

empresa terceira, mas nesse caso, a um menor custo. Isso porque as leis são cada vez mais rígidas em relação ao descarte de resíduos devido à preocupação com a proteção ambiental.

Uma alternativa seria atuar na origem do problema, ou seja, no óleo utilizado. Atuando na utilização de um óleo diferente ou em uma redução na quantidade usada no processo. Uma opção levantada pelo autor [23] seria a utilização de bio óleo, um fluido biodegradável de origem vegetal que também pode receber aditivos assim como o óleo de corte usado pela WEG. O autor ainda diz que a principal vantagem é a biodegradabilidade desse fluido e que não compromete a funcionalidade do mesmo. Para aplicar essa alternativa seria necessário testes experimentais com fluidos de corte alternativos para uma possível substituição do atual.

5. Soluções Alternativas

5.1. Métodos de Tratamento

Os tratamentos disponíveis para tratar a emulsão em questão podem ser físicos, químicos, físico-químicos, biológicos, mecânicos e elétricos e ainda é possível usar mais de um tipo num mesmo tratamento. As emulsões são complexas de serem tratadas, assim, serão discutidas nesse capítulo as possíveis tecnologias para tratamento do resíduo destas.

5.1.1. Separação Gravitacional

Na separação gravimétrica o efluente tem de ficar separado num tanque por tempo suficiente até que a mistura se separe em duas fases. Por esse motivo, pode ser um processo custoso dependendo da quantidade de efluente a ser armazenada e o tempo necessário para a separação. Esse método é adequado para separação de óleo livre com glóbulos superiores a 0,015 cm de diâmetro, não sendo eficiente para separar emulsões. É um método de fácil operação e baixo custo, aplicável a águas oleosas com concentração entre 20 e 100 mg/L [7][19].

5.1.2. Centrifugação

O processo de centrifugação pode ser dito como uma melhoria dos separadores gravitacionais pois também parte do princípio de diferença de densidade. Isso porque ocorre agitação da emulsão através de um movimento circular depois que a emulsão entra pela lateral e devido à força centrífuga, o óleo, menos denso, gira no interior do ciclone e sobe em direção à saída superior do equipamento. Já a água, mais densa, também gira no ciclone, porém desce em direção à saída inferior. Esse método é mais eficiente que o separador gravimétrico, e principalmente para remover de sólidos molhados por óleo e de óleo livre da água [7].

5.1.3. Coagulação e Floculação

Esse processo físico-químico é usado principalmente com o intuito de remover partículas sólidas em suspensão e partículas coloidais. Isso ocorre após ser adicionado ao efluente químicos como por exemplo íons altamente carregados como Al^{+3} e Fe^{+3} . Dessa forma, pode-se nomear

produtos coagulantes como sulfato de alumínio, policloreto de alumínio, sulfato férrico e cloreto férrico [7].

A floculação pode operar a taxas de aplicação mais altas e também requer menor área para implementação. É também mais vantajosa quando comparada à separação gravimétrica pois a água produzida é de melhor qualidade, o tempo de partida do processo é menor. Nesse método os flocos formados resultam num aglomerado com peso suficiente para decantar sendo necessário que haja agitação mecânica lenta do meio. Assim substâncias como polímeros aniônicos e catiónicos podem ser adicionados, já que estes agentes que aceleram o processo de floculação [7][24].

5.1.4. Flotação por ar dissolvido (FAD)

Dentre os processos de flotação esse é o mais empregado. Nesse processo é usado na separação de emulsão óleo/água através da adequação dos parâmetros de coagulação. Segundo a literatura esse método é usando principalmente quando a sedimentação é ineficiente na remoção de sólidos em suspensão, emulsões de óleo e poluentes dissolvidos. Ela minimiza a ruptura dos flocos formados, tornando-a a técnica mais recomendada. Para o processo de tratamento de emulsões devem ser adicionados químicos de ação desmulsificante [7].

Esse processo acontece em etapas, com dois subprocessos, coagulação onde as partículas são desestabilizadas e formam flocos. Depois há geração de microbolhas de ar no interior do efluente, então estas irão aderir às gotas de óleo e flutuar, diferentemente da decantação, até a superfície devido à diferença de densidade e são então removidas [19].

As bolhas normalmente se formam devido à queda de pressão de um fluxo de água saturada com ar na entrada do tanque de flotação. Existe outra técnica onde o ar é induzido (F.A.I.), nele as bolhas são geradas por difusores, por exemplo. Então uma parte deste ar dissolvido é liberada como bolhas. O tamanho das bolhas é importante porque as bolhas pequenas têm maior área superficial específica para a mesma quantidade de ar, dessa forma, aumenta-se o contato entre as bolhas e os flocos na zona de reação. Os flocos podem ser retirados por um raspador ou outra opção para finalizar esse tratamento seria uma filtração [7][24].

5.1.5. Desemulsificação por acidificação

Essa técnica consiste no ajuste do pH num método no qual o pH da emulsão é reduzido para 2 devido a adição de um ácido como o clorídrico ou sulfúrico. Essa alteração provoca uma modificação na qual o surfactante da emulsão deixa de emulsionar a mesma, ocorrendo a desestabilização e conseqüentemente a separação das fases. Porém, estudos mostram que essa técnica não é eficiente para emulsões do tipo A/O, requer adição de coagulantes, agitação e finalmente, separação das fases [7].

Uma possibilidade é a acidificação seguida de resfriamento e adição de cloreto de sódio. Esse procedimento causa a quebra da emulsão. No caso de a emulsão ser formada por conta do meio ser básico (sabão, detergente ou surfactante), reduzir o pH com ácido como H_2SO_4 ou HCl , altera a carga do surfactante da emulsão, perdendo o efeito emulsionante. Em seguida, a adição do ácido concentrado reage com a água da emulsão numa reação exotérmica o que aquece rapidamente o recipiente de armazenamento, por isso é prático o uso de um banho de gelo. Por último, no caso da emulsão O/A, a adição de cloreto de sódio, $NaCl$, presente numa fase contínua, leva à contração da camada elétrica que envolve cada partícula, o que reduz a barreira electroestática, barreira essa que impede a agregação das partículas, e assim ocorre a quebra da emulsão [25][26][27].

5.1.6. Eletroflotação e Eletrocoagulação

É uma técnica tradicional para separação das fases líquida e sólida de um efluente, é um processo eletroquímico no qual utiliza-se eléctrodos metálicos de polaridades diferentes que são submetidos à uma corrente elétrica. Assim, com a dissolução do ânodo ocorre a geração de coagulante que é o que desestabiliza a emulsão nesse processo. Isso acontece devido à neutralização da carga do substrato para que haja a remoção de contaminante. O ânodo é consumido nesse processo, uma vez que ele é oxidado com a aplicação de corrente elétrica, liberando íons metálicos na água. Estes, hidrolisam, formando espécies químicas que agem como coagulantes. Nesse processo o ânodo é do tipo ânodo de sacrifício, por isso, normalmente utiliza-se os de menor valor como os de ferro ou alumínio que, além do preço, também tem boa disponibilidade e eficácia [7].

O sólido removido nesse processo deve ter disposição adequada, enquanto que a água pode ser tratada e lançada no meio ambiente. Caso esse processo opere em contínuo, o lodo pode ser

removido com a utilização de pás raspadoras. Esse tipo de processo eletrolítico gera menos resíduos sólidos do que processos convencionais principalmente se não houver adição de outros químicos. O lodo tem baixa densidade com aparência de espuma [7].

Como mostrado no artigo [7] este processo eletrolítico remove a turbidez do processo em 99%. Já no tratamento de efluentes petrolíferos, a remoção de demanda química de oxigênio (DQO), óleos e graxas, a eficácia foi de 90% para ambos. Por esses motivos, essa tecnologia é altamente promissora quando o objetivo é o tratamento de efluentes oleosos. O autor desse estudo ainda destaca que faz-se necessário o conhecimento da origem do efluente uma vez que, como dito anteriormente, a mesma impacta diretamente na composição da água residual. Além disso, normalmente é necessário realizar pós-tratamento dessa água.

É um processo simples que necessita de uma pequena área para a operação, baixo tempo de reação, remoção de partículas coloidais e a possibilidade de fazer a coagulação e a flotação simultaneamente [7].

5.1.7. Membranas

Outra tecnologia possível solução para tratamento de efluentes emulsionados é a separação por membrana. Esta que é uma operação simples, não requer adição de nenhum produto químico e também não há necessidade de uma área extensa para implementação. Essa é uma opção mais econômica em comparação com métodos tradicionais e mais ambientalmente aceita também [20].

Esse tipo de tecnologia vem sendo desenvolvido fortemente nos últimos anos e é cada vez mais aplicado na indústria. As principais características desse método é o baixo custo, pequena área de utilização e ambientalmente amigável. Uma membrana é uma barreira que separa duas fases através da restrição do movimento de componentes seletivamente, restrição que pode ser total ou parcial. A maioria dos processos com membranas usa fluxo cruzado, diferentemente de uma filtração regular, a membrana é uma barreira semipermeável que limita a transferência de massa entre duas fases como na Figura 5.1. A força motriz pode ser em relação à concentração

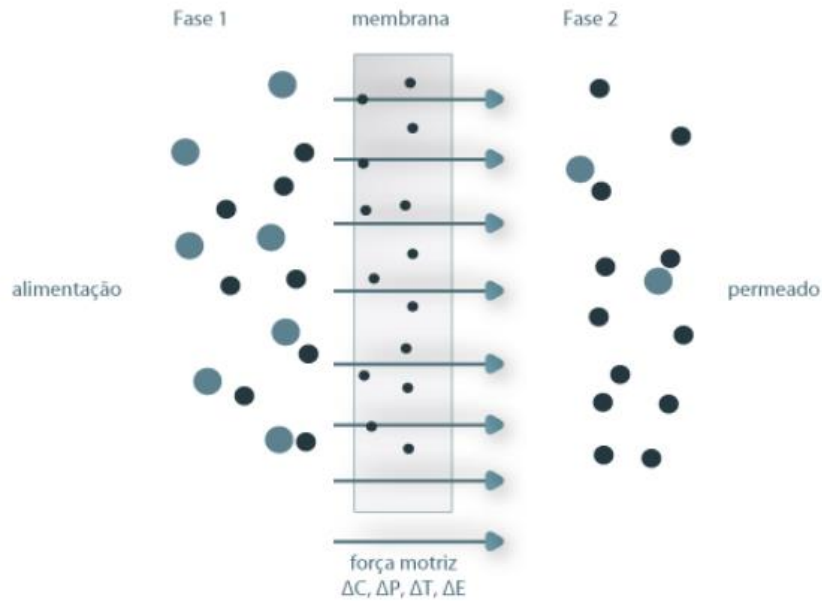


Figura 5.1 — Separação de membrana num sistema de duas fases.

Fonte: [28]

É possível avaliar a eficiência de uma membrana usando dois parâmetros: taxa de rejeição e fluxo. Onde o fluxo corresponde ao volume do caudal de entrada que passa pela membrana por área por tempo. [28] O processo por membranas é considerado um tratamento terciário e em muitas indústrias é o tratamento principal [12].

6. Ensaios de Quebra de Emulsão

Devido à existência de diversos métodos de tratamento, o critério para escolha da ideia final foi considerando os seguintes fatores: baixo investimento inicial, custo de operação e flexibilidade de dimensionamento. O motivo dessa escolha assenta na fase de expansão pela qual a WEG passa.

Assim, foram realizados diversos experimentos no laboratório de tecnologia do ISEP para a análise do tratamento escolhido que será detalhado no próximo tópico.

6.1. Tratamento do Efluente

Considerando principalmente o método descrito no tópico 5.1.5 escolheu-se realizar a quebra da emulsão através da adição de cloreto de sódio com agitação. Testou-se o aquecimento da solução, o tempo de reação, a quantidade de NaCl e o efeito da centrifugação. Primeiramente determinou-se a densidade da emulsão, que tem um valor de 979,71 g/L.

6.1.1. Experimento 1

Nesse primeiro experimento definiu-se que as seis amostras seriam aquecidas com agitação do banho de 90u até uma temperatura 70,5 °C. O volume inicial foi de 50 mL de emulsão e a quantidade adicionada de NaCl respeitou uma proporção de 5% em massa em relação à massa do efluente. Depois de atingir a temperatura escolhida, o NaCl foi adicionado e o tempo cronometrado. O tempo de reação foi diferente para cada amostra como mostrado na Tabela 6.1. Ao longo do tempo as amostras foram retiradas do banho e então centrifugadas a 2500 rpm por 2 minutos. Em seguida, mediu-se a altura do óleo separado e também da fase aquosa para que assim fosse calculado o volume correspondente.

Tabela 6.1 — Resultados obtidos para o primeiro experimento

	NaCl (g)	T _{reação} (min)	V _{óleo} (mL)	V _{final} (mL)	V _{óleo} / V _{inicial} (%)	V _{reduzido} (%)
Branco	0	0	1,15	46	2,5	8,0
1	2,5043	10	3,51	46	7,6	8,0
2	2,5034	15	3,44	46	7,5	8,0
3	2,5063	20	3,28	45	7,3	10,0
4	2,5082	25	3,44	47,5	7,2	5,0
5	2,5014	30	3,28	47,5	6,9	5,0
6	2,5071	35	3,44	45	7,6	10,0

Onde:

NaCl: quantidade de cloreto de sódio adicionada (g)

T_{reação}: tempo de reação para quebra da emulsão (cm)

V_{óleo}: volume de óleo separado no tubo de ensaio pós tratamento (cm³)

V_{final}: volume total final tubo de ensaio pós tratamento (cm³)

V_{reduzido}: percentual de volume reduzido pós tratamento (%)

$$V_{reduzido} = \frac{V_{inicial} - V_{final}}{V_{inicial}} \times 100\% \quad \text{Equação (1)}$$

Com esse experimento foi possível observar que o tempo de reação tem pouca ou nenhuma influência na separação do óleo da fase aquosa.

6.1.2. Experimento 2

No segundo experimento as amostras também foram aquecidas, com agitação do banho até uma temperatura mostradas na Tabela 6.2. O volume inicial foi de 50 mL de emulsão e após atingir a temperatura escolhida, o NaCl foi adicionado e o tempo cronometrado. Ao final de 10 minutos, iguais para todas as amostras, estas foram centrifugadas a 2500 rpm por 2 minutos.

Os ensaios 1 e 2 diferem em relação à quantidade de NaCl adicionada, no ensaio 1 a proporção foi de 10% em massa e no segundo ensaio, 3% em massa. Nesse caso, percebe-se que a quantidade de NaCl não tem efeito significativo, uma vez que o volume de óleo separado é o mesmo observado.

Tabela 6.2 — Resultados parciais experimento 2

	NaCl (g)	V _{óleo} (mL)	T (°C)	V _{final} (mL)	V _{óleo} / V _{inicial} (%)	V _{reduzido} (%)
Branco	0	0	70	47	0	6,0
1	5,0036	3,44	70	46	7,5	8,0
2	1,5006	3,44	70	45	7,6	10,0
3	5,0029	3,44	25	51	6,7	+2,0

Em comparação, os experimentos 1 e 3 diferem em relação à temperatura à qual a quebra da emulsão com cloreto de sódio ocorreu. O ensaio 1, com uma temperatura mais elevada, evapora mais água do que o terceiro logo, em termos percentuais, a remoção de óleo é maior no ensaio 1.

Na Tabela 6.3 estão três ensaios, neles o volume inicial foi de 40mL. O tempo de reação foi sempre igual a 10 minutos. Centrifugação a 2500 rpm por 2 minutos. Ensaios 4 e 5 com proporção de NaCl igual a 3% e ensaios 6 e 7 com 2% em massa.

Tabela 6.3 — Resultados parciais experimento 2

	NaCl (g)	V _{óleo} (mL)	T (°C)	V _{final} (mL)	V _{óleo} / V _{inicial} (%)	V _{reduzido} (%)
4	1,2002	3,44	65	37,5	9,2	6,25
5	1,2001	2,86	25	42,5	6,7	+6,25
6	0,8012	2,74	40	42,0	6,5	+5,00
7	0,8007	3,28	65	37,0	8,9	7,50

Os ensaios 4 e 5 diferem em relação à temperatura, assim, fica claro que com a temperatura de 65°C há maior redução de volume e mais óleo é separado em relação ao ensaio 5 que teve uma temperatura de 25°C.

Com os ensaios 5 e 6 nota-se também o efeito da temperatura, estes ocorreram a uma temperatura menor do que os ensaios 4 e 7. Tem se o aumento de volume devido à adição de NaCl. Já quando a temperatura é maior, 65°C há evaporação de água e por esse motivo, o volume final é menor que o inicial.

6.1.3. Experimento 3

Nesse terceiro experimento, o objetivo era comparar o efeito da centrifugação na separação do óleo. O tempo de reação foi igual a 10 minutos e o volume inicial de amostra igual a 40 mL. O ensaio 2 não foi centrifugado, apenas decantado. A proporção de NaCl foi de 1,3%. Nesse caso nota-se que a centrifugação tem impacto positivo, colaborando para que o óleo separe da emulsão.

Tabela 6.4 — Resultados experimento 3

	NaCl (g)	V _{óleo} (mL)	T (°C)	V _{final} (mL)	V _{óleo} / V _{inicial} (%)	V _{reduzido} (%)
Branco	0	1,15	65	44	2,6	+10,0
1	0,5019	3,28	65	37,5	8,8	6,25
2	0,5042	1,09	65	37,5	2,9	6,25

Conclui-se que a remoção de óleo é superior no ensaio com centrifugação: 8,76% versus 2,92% no ensaio sem o uso da centrífuga.

6.1.4. Experimento 4

No quarto experimento a temperatura foi igual a 65°C para todas as amostras com um volume inicial igual a 40 mL. O tempo variou conforme a Tabela 6.5. Além disso, a proporção de NaCl foi igual a 2%. Já a centrifugação ocorreu a 2500 rpm por 2 minutos.

Tabela 6.5 — Resultados experimento 4

	NaCl (g)	V _{óleo} (mL)	T (min)	V _{final} (mL)	V _{óleo} / V _{inicial} (%)	V _{reduzido} (%)
Branco	0	0	30	33,5	0,0	16,25
1	0,8008	2,74	10	40,5	6,8	+1,25
2	0,8020	2,74	15	37,5	7,3	6,25
3	0,8004	3,28	20	37,5	8,8	6,25
4	0,8013	3,28	25	37	8,9	7,50

6.1.5. Experimento 5

No quinto experimento a temperatura foi mantida para todas as amostras igual a 40°C. Decidiu-se testar uma temperatura intermédia pois o aquecimento é um processo custoso. Além disso, o volume inicial igual a 40 mL. Já a proporção de NaCl foi igual a 2% que reagiu por diferentes tempos conforme mostrado na Tabela 6.6.

Tabela 6.6 — Resultados experimento 5

	NaCl (g)	V _{óleo} (mL)	T (min)	V _{final} (mL)	V _{óleo} / V _{inicial} (%)	V _{reduzido} (%)
Branco	0	0	0	41	0	0
1	0,8012	2,74	10	41	6,7	+2,50
2	0,8003	3,01	20	41	7,3	+2,50
3	0,8016	3,28	30	41	8,0	+2,50
4	0,8027	3,28	40	41	8,0	+2,50

Nesse caso, observou-se que a temperatura não era suficiente para evaporar água das soluções, assim, houve um pequeno aumento de 1mL no volume total final de 41mL (aumento de 2,5%). A diferença fica por conta do tempo de reação, os ensaios 1 e 2 tiveram um volume de óleo separado de 6,68 e 7,34% em relação ao volume inicial de solução respectivamente. Enquanto os ensaios 3 e 4 tiveram 8,01% de separação.

6.1.6. Experimento 6

O gobelé contendo as amostras é levado ao banho de aquecimento com uma haste de agitação. No ensaio 1 a agitação foi de 500 rpm, já nos ensaios 2 e 3, agitação de 1000 rpm. Auxiliado de um termómetro, ao atingir a temperatura definida foi adicionado NaCl numa proporção de 2% para que houvesse a quebra da emulsão. Passado 10 minutos a solução foi transferida para um funil de separação para decantar por uma hora como mostrado na Figura 6.1.

Figura 6.1 — Funil de Separação



Nesse caso, as soluções não foram centrifugadas para efeito de comparação com os estudos anteriores. Após esse período a fase aquosa foi removida do funil, estando pronta para ser caracterizada.

Tabela 6.7 — Resultados experimento 6

	NaCl (g)	V _{óleo} (mL)	T (°C)	V _{inicial} (mL)	V _{final} (mL)	V _{óleo} / V _{inicial} (%)	V _{reduzido} (%)
1	11,8127	52,95	40	600	620	8,5	+3,33
2	5,9058	19,00	40	300	297	6,4	1,00
3	5,9067	28,00	50	300	273	10,3	9,00

Verifica-se que a separação foi melhor no ensaio 3, com uma temperatura mais elevada. Nesse caso, o volume foi reduzido em 9%.

7. Caracterização da Fase Aquosa Após Tratamento

Durante o estudo da quebra da emulsão diversos parâmetros foram testados no laboratório como: tempo de reação, temperatura, centrifugação e quantidade de cloreto de sódio utilizada. Tendo em conta os resultados obtidos foram escolhidas as fases aquosas obtidas no experimento 6, sendo que a amostra 3 foi obtida a uma temperatura mais elevada do que a amostra 2.

7.1. Sólidos Suspensos Totais

Os sólidos podem se referir à matéria suspensa ou dissolvida nas águas residuais. Os sólidos suspensos totais (SST) são a porção de sólidos totais numa amostra aquosa que ficam retidos no filtro. Para a determinação dos SST realiza-se uma filtração de uma amostra bem homogénea. Inicialmente preparam-se os filtros de fibra de vidro e utiliza-se o sistema de filtração a vácuo.

Os ensaios foram feitos segundo a norma NP EN 872 (2000). Houve uma variação do procedimento foi o volume do filtrado (ao invés dos 500 mL, utilizaram-se 100 mL). Realizaram-se 3 ensaios em duplicado. Os filtros foram pesados numa balança de modelo AE 200 da Mettler, e a filtração a vácuo foi realizada recorrendo a uma bomba KNF de modelo N-35, AN 18.

7.2. Óleos e Gorduras

Para a determinação da quantidade de Óleos e Gorduras empregou-se um método da partição gravimétrica, é um método geral aplicado para águas residuais segundo o “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 20th Edition (1998).

Os balões são acondicionados e pesados, logo cada um recebe 200 mL de amostra e 5 mL de ácido clorídrico 1+1 para garantir um pH ácido. Em seguida, transferir essa solução para um funil de separação e adicionar 30 mL de n-hexano. Então agitar por 2 minutos e aguardar a separação. Depois, drenar a camada inferior que contem o solvente através dum funil contendo papel de filtro e 10 g de Na₂SO₄. A extração é repetida mais duas vezes com 30 mL de solvente de cada vez. Os extratos são combinados no balão de destilação tarado. Em seguida, o solvente é evaporado num evaporador rotativo e depois deixar para secar numa estufa a 102±1°C por pelo menos 30 minutos. Então aguardar esfriar e pesar novamente os balões, agora com o óleo e gordura.

7.3. Fósforo

Para a análise do fósforo reativo foi aplicado o HACH Method 8178. A leitura é feita após a programação do equipamento. Coloca-se 25 mL de amostra numa proveta graduada, adicionar 1 mL de uma solução de reagente aminoácido e misturar para homogeneizar e deixar reagir por 10 minutos. Enquanto isso, fazer o branco colocando 25mL da amostra numa célula de amostra. Finalizado os 10 minutos, insere-se o branco no equipamento, e apertar a tecla zero. Em seguida, retirar o branco do equipamento e colocar a amostra preparada numa célula de amostra e inserir no local indicado com o light shield e então realizar a leitura.

7.4. Carência Química de Oxigênio

A Carência Química de Oxigênio (CQO) é definida pela quantidade de oxigênio consumido para oxidar os compostos oxidáveis em condições especificadas no método. Para essa determinação a amostra é sujeita à oxidação e tem o objetivo de quantificar a quantidade de matéria orgânica oxidável total da amostra em questão.

Os valores da carência química de oxigênio da amostra podem variar consideravelmente, por isso, é necessário realizar mais do que um ensaio em branco e diferentes diluições devido à ampla gama de valores obtidos para este parâmetro. O ensaio realiza-se em condições drásticas, permitindo um elevado grau de oxidação da matéria orgânica. Em um tubo de ensaio que com a solução digestora ($K_2Cr_2O_7$, Dicromato de potássio e ácido sulfúrico concentrado) e a solução catalisadora (Ag^+ sulfato de prata) introduzir a amostra. A digestão ocorre num bloco digestor a temperatura elevada (150 °C) durante 2 horas, na tentativa de oxidar toda a matéria orgânica, depois desse tempo, é preciso deixar a amostra esfriar.

A medição da CQO é feita pelo método colorimétrico ou espectrofotométrico onde os equipamentos são o bloco digestor (reator para a determinação da CQO) e o espectrofotómetro de feixe simples. Ocorre uma mudança de cor que posteriormente será medida para determinação da CQO por método colorimétrico com espectrofotómetro.

7.5. pH

Para a determinação do pH o equipamento utilizado é o medidor de pH e o método utilizado é o eletrométrico, que se baseia na determinação da atividade dos iões H^+ por potenciometria direta usando um elétrodo combinado de vidro. Para esta determinação é necessário calibrar o medidor de pH utilizando as soluções tampão de pH 7 e 4. Depois de calibrado, limpar o mesmo, introduzir o elétrodo na solução e medir o valor de pH da solução. Os ensaios foram realizados à temperatura ambiente e recorreu-se a um medidor da Consorte C1010.

7.6. Resultados da Caracterização

7.6.1. Sólidos Suspensos Totais

Na Tabela 7.1 estão representados os valores obtidos de SST para as duas amostras analisadas.

Tabela 7.1 — Valores médios de SST para o efluente bruto e para as amostras.

	Efluente Bruto	Amostra 2	Amostra 3
SST (mg SST/L)	71,5	23,0	22,0

Verifica-se no decreto-lei DL 236/1998, anexo XVIII (disponível na Tabela 3.1), o valor limite de emissão de SST presentes na amostra é de 60 mg SST/L. Os resultados obtidos, apresentados na Tabela 7.1, mostram que o efluente bruto apresenta um valor superior ao imposto legalmente. Mas após o tratamento, o valor dos SST está dentro do limite de emissão imposto em ambas as amostras testadas.

7.6.2. Óleos e Gorduras

Na Tabela 7.2 estão representadas as massas médias calculadas para o efluente bruto e para as duas amostras testadas. Assim, ao comparar o efluente bruto com as amostras tratadas, temos que na amostra 2 há redução de 91,9% e na amostra 3 tem uma redução de 85,3% em relação ao efluente bruto. Esse é um dos principais indicadores desse trabalho

De acordo com decreto-lei DL 236/1998, anexo XVIII (disponível na Tabela 3.1), o valor máximo admissível para esse parâmetro é de 15 mg/L. Comparando as informações apresentadas com os limites estabelecidos pelo decreto, verifica-se que os valores obtidos são muito superiores aos limites impostos pela legislação.

Tabela 7.2 — Valores médios e desvio padrão para o efluente bruto e amostras.

Balão	C_{óleo} (mg/L)	D.P. (mg/L)	Redução (%)
Efluente Bruto	40.983	5.476	-
Amostra 2	3.338	957	91,9
Amostra 3	6.012	735	85,3

Onde:

C_{óleo}: concentração de óleos média (mg/L)

D.P.: desvio padrão (mg/L)

Redução: percentual reduzido de óleos e gorduras em relação ao efluente bruto (%)

Nesse ensaio, a amostra 2 que foi obtida a 40°C e a amostra 3, obtida a 50°C. Pela Tabela 7.2 nota-se que na fase aquosa da amostra 3 a concentração de óleo é maior que na dois. Como mostrado no tópico 6.1.6 a amostra 3 tem um volume maior de óleo separado, contradizendo os resultados esperados nessa caracterização. Isso pode ser atribuído na imprecisão do método de extração com uso de hexano e convinha repetir o procedimento.

7.6.3. Fósforo

Na Tabela 7.3 estão representados os valores médios referentes à quantidade de fósforo nas amostras analisadas:

Tabela 7.3 — Valores médios de fósforo obtidos as amostras tratadas

	Amostra 2	Amostra 3
Fósforo (mg PO₄⁻³/L)	7,80	7,75

Os valores limites disponíveis na Tabela 3.1 referentes aos limites aceites de fósforo são de 10 mg/L. Assim, verifica-se que as quantidades de fósforo nas amostras estão de acordo com a legislação.

7.6.4. Carência Química de Oxigênio

Nas Tabela 7.4 estão representados os valores obtidos da CQO para os dois tipos de amostras tratadas analisadas:

Tabela 7.4 — Valores obtidos da CQO para a Amostra 1

	CQO_{média} (mgO₂/L)	D.P. (mgO₂/L)
Branco	0	0
Amostra 2	73.433	5471
Amostra 3	61.233	4297

De acordo com decreto-lei DL 236/1998, anexo XVIII (disponível na Tabela 3.1), o valor máximo admissível para a CQO é de 150 mg O₂/L. Comparando as informações apresentadas com os limites estabelecidos pelo decreto, verifica-se que os valores obtidos para os dois tipos de amostra testadas apresentam valores muito superiores aos limites impostos.

7.6.5. pH

Na Tabela 7.5 estão representados os valores obtidos do pH para os dois tipos de efluentes em análise.

Tabela 7.5 — Valores médios de pH para o efluente bruto e amostras tratadas.

	Efluente Bruto	Amostra 2	Amostra 3
pH (escala Sorensen)	9,28	9,19	9,28

Os valores limites disponíveis na Tabela 7.5 referentes aos limites aceites de pH são de 6,0 e 9,0. Assim, verifica-se que os valores obtidos de pH não obedecem o decreto.

8. Conclusão

A emulsão analisada nesse trabalho é formada por um fluido de corte e água durante o processo de maquinagem. Esse processo produz peças metálicas resultante da redução de material. Emulsões são dispersões colidais de pelo menos dois líquidos que não estão em equilíbrio e não são formadas espontaneamente. As propriedades de uma emulsão variam conforme os aditivos a ela adicionados, o que aumenta a complexidade do efluente tornando-o de difícil tratamento principalmente considerando a enorme estabilidade da emulsão estudada.

Nesse sentido, decidiu-se realizar uma variação do método explicitado no tópico 5.1.5. No caso decidiu-se realizar a quebra da emulsão por adição de cloreto de sódio com aquecimento e agitação. Essa alternativa seria a menos custosa das alternativas apresentadas pois envolve materiais de baixo custo e fácil acesso.

Depois de realizado o tratamento de quebra de emulsão a fase aquosa obtida foi analisada para caracterizar os seguintes parâmetros: Sólidos Suspensos Totais, Óleos e Gorduras, Fósforo, Carência Química de Oxigênio e pH. Estes estão entre aqueles com valores limites estipulados pelo decreto-lei DL 236/1998, anexo XVIII (disponível na Tabela 3.1)

Assim, não estão conformes com os VLE impostos por lei: Óleos e Gorduras, Carência Química de Oxigênio e pH. Estão conformes ao decreto os Sólidos Suspensos Totais e o Fósforo. Percebe-se que mesmo depois da realização do tratamento ao efluente houve uma diminuição significativa de alguns parâmetros como óleos e gorduras. Considerando os resultados obtidos e os valores limites estabelecidos pelo decreto-lei DL 236/1998, anexo XVIII (disponível na Tabela 3.1), conclui-se que mesmo após o tratamento da emulsão, ainda não é possível realizar a descarga para os meios hídricos legalmente.

Um dos grandes impactos nessa análise são os altos níveis da CQO, estes estão muito além do permitido, sendo um parâmetro de difícil redução que envolve procedimentos custosos como por exemplo a ozonização, já que é necessário um processo de oxidação avançada. Por esse motivo, sugere-se que para trabalhos futuros essa questão seja investigada mais a fundo. Outra opção discutida foi a redução do volume de fluido de corte utilizado, o que foi descartado pela área de engenharia da empresa. Além disso, um estudo com fluido de corte mais adequado e de

descarte ou tratamento mais fácil também poderia reduzir os custos despendidos pela WEG nesse quesito.

Referências

- [1] WEG vai construir nova fábrica em Portugal. <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/news/resultados-e-investimentos/weg-vai-construir-nova-fabrica-em-portugal>. (acesso em 25 de março de 2022).
- [2] WEG entre as mais sustentáveis da Bolsa. 4.12.2020. <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/news/corporativo/weg-entre-as-mais-sustentaveis-da-bolsa> (acesso em 30.03.2022)
- [3] WEG é a melhor empresa da Bolsa em 2021. 01.07.2021. <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/news/premios/weg-e-a-melhor-empresa-da-bolsa-em-2021>. (acesso em 30.03.2022)
- [4] Fundamentos dos Processos de Usinagem. Prof. Dr. Eng. Rodrigo Lima Stoeterau. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. c (acesso em 06.04.2022)
- [5] Maquinagem com maior precisão e sem desperdício. <http://www.inegi.pt/pt/noticias/maquinagem-com-maior-precisao-e-sem-desperdicio-modelacao-numerica-pode-ser-a-solucao> (acesso em 08.04.2022)
- [6] Mikell P. Groover. Fundamentos de Manufatura Mode. 1997
- [7] Joana Sartoretto Leão, Joel Dias da Silva. Tratamento de efluentes oleosos do processo de usinagem da indústria metalmecânica: uma abordagem teórica. 10º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Brasil 2016.
- [8] Atkins, P. W.; Jones, Loretta. Princípios de química. 3. ed. Brasil, 2006.
- [9] Fabio Cordeiro de Lisboa, Jessyca Jordanna Barroso de Moraes, Massako de Almeida Hirashita. Fluidos de corte: uma abordagem geral e novas tendências. XXXIII Encontro Nacional De Engenharia De Produção. Brasil, 2013.
- [10] Ficha Técnica e Ficha de Segurança do ECOCOOL MS 335 BFF. Fuchs Lubrificantes, Unip. Lda.

- [11] Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de junho. Disponível em <https://files.dre.pt/1s/1997/06/139a00/29592967.pdf> (acesso em 30.03.2022)
- [12] Jéssica Sofia Laranjeira de Palma. Efluentes industriais da Schmidt Light Metal, Fundação Injetada, Lda. 2016.
- [13] Decreto-Lei n.º 152-D/2017 de 11 de dezembro de 2017. Disponível em <https://files.dre.pt/1s/2017/12/23602/0008800135.pdf> (acesso em 01.04.2022)
- [14] Guia do Utilizador ISO 14001:2015, APCER 2015.
- [15] Certificação de sistemas integrados de gestão. <https://www.sgs.pt/pt-pt/sustainability/integrated-management-systems-certifications> (acesso em 18.04.2022)
- [16] ADR, Parte 2, 2015. (acesso em 28.04.2022) https://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/TransportesRodoviaros/TransporteMercadoriasPerigosas/RegulamentacaoTecnica/Documents/ADR%202015/ADR2015_Parte%202_PT.pdf
- [17] Revisão dos Sistemas de Gestão e Relatório de Análise Crítica, WEGeuro Indústria Elétrica. Portugal 2021.
- [18] Natalia Colonese. O que são efluentes e por que é essencial tratá-los? <https://fluxoconsultoria.poli.ufrj.br/blog/efluentes-o-que-sao-como-tratar/> (acesso em 30.03.2022)
- [19] Lindenberg Casimiro Damasceno. Tratamento de águas oleosas oriundas do processo de produção de óleo de dendê utilizando a flotação por ar dissolvido. Brasil, 2009.
- [20] T. L. A. Barbosa. F. M. N. Silva. A. S. Barbosa, E. G. Lima, M. G. F. Rodrigues. Synthesis and application of a composite NaA zeolite/gamma-alumina membrane for oil-water separation process. Cerâmica 66 (2020) 137-144. 2020.
- [21] “Portaria no 423/97 de 25 de Junho, MINISTÉRIOS DA ECONOMIA, DA SAÚDE E DO AMBIENTE,” pp. 3111–3112, 1997.
- [22] “Decreto-Lei no 236/98 de 1 de Agosto, MINISTÉRIO DO AMBIENTE,” Diário da República I Série A, No 176, pp. 3676–3722, 1998.

[23] Burton, G., Goo, C. S., Zhang, Y., & Jun, M. B. G. (2014). Use of vegetable oil in water emulsion achieved through ultrasonic atomization as cutting fluids in micro-milling. *Journal of Manufacturing Processes*, 16(3), 405–413.

[24] Flotação por ar dissolvido aplicada no tratamento de efluente de leitos de drenagem. André Luiz de Oliveira. Nilton Fernandes de Oliveira. Brasil, 2017.

[25] 6 Técnicas para Quebra de Emulsão durante Procedimento de Extração de Óleos e Graxas em Água, 2012. <https://www.pensalab.com.br/post/6-tecnicas-para-quebra-de-emulsao-durante-procedimento-de-extracao-de-oleos-e-graxas-em-agua> (acesso em 29.04.2022).

[26] Esteves, B. d., 2016. O processo de eletrocoalescência na separação de água e óleo em emulsões modelo e de petróleo.

[27] Almeida, M. L., 2019. Estabilidade de emulsões de água-em-óleo sob ações. Rio de Janeiro, Brasil.

[28] Membranas. (acesso em 21.04.2022)
http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=57&Itemid=206

[29] <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/03/Emulsions.png> (acesso em 13.04.2022)

[30] A. Forgiarini, J. Esquena, C. González, and C. Solans. Formation of Nano-emulsions by Low-Energy Emulsification Methods at Constant Temperature.

[31] Nuno Costa. Tese de Mestrado: Gestão de um Resíduo de um Fluido de Corte. Porto, 2020.

[32] Walisson de Jesus Souza. Estudo da estabilidade de emulsões água-óleo: efeito do teor de fase dispersa na velocidade de sedimentação da emulsão. Brasil, 2014.

Anexo

A. Sólidos Suspensos Totais

Tabela A.1 — Valores medidos para determinação dos SST

SST	Réplica	V _{amostra} (mL)	m (filtro seco) (g)	m (filtro + R.S.) (g)
Amostra 1	1	100	0,1671	0,1694
	2	100	0,1518	0,1585
Amostra 2	1	100	0,1676	0,1697
	2	100	0,1515	0,1538
Efluente Bruto	1	100	0,1145	0,1210
	2	100	0,1199	0,1277

A determinação dos SST foi determinada através da equação 1:

$$\text{mg SST/L} = \frac{(A - B) \times 10^6}{V_{\text{amostra}} (100 \text{ mL})} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

A representa a massa do filtro + resíduo sólido (R.S.) em g.

B representa a massa do filtro em g.

V_{amostra} representa o volume de amostra utilizado em mL.

Com a equação 1 e a tabela A1 obtiveram-se os resultados representados na tabela A.2. Por fim realizou-se uma média das 2 réplicas para o efluente bruto as amostras tratadas. Os valores do desvio padrão foram calculados através da equação 2.

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \text{Equação (2)}$$

Tabela A.2 — Valores obtidos da SST, valores corrigidos e média dos mesmos e valores do D.P

SST	Réplica	mg SST/L	Média	D.P (mg SST/L)
Amostra 1	1	23	23,0	-
	2	67		
Amostra 2	1	21	22,0	1,4
	2	23		
Efluente Bruto	1	65	71,5	9,2
	2	78		

A segunda medição da amostra 1 apresentou um valor muito diferente do esperado e por isso o mesmo foi desconsiderado para os outros cálculos.

B. Óleos e Gorduras

Nesse procedimento foram utilizados volumes de amostra iguais a 200mL.

Tabela B.1 — Valores para óleos do efluente bruto e amostras.

Balão	Massa balões (g)	Massa total (g)	Móleos (mg/L)
Amostra 1	144,7601	145,2924	2.661
Amostra 1	131,654	132,4571	4.016
Amostra 2	105,5962	106,9025	6.532
Amostra 2	104,2333	105,3318	5.493
Efluente Bruto	109,2723	116,6945	37.111
Efluente Bruto	105,6974	114,6685	44.856

Tabela B.2 — Valores médios e desvio padrão para o efluente bruto e amostras.

Balão	M _{óleos} (mg/L)	D.P. (mg/L)
Amostra 1	3.338	957
Amostra 2	6.012	735
Efluente Bruto	40.983	5.476

A massa de óleos e gorduras presentes nas amostras foram calculadas de acordo com a equação 3:

$$M_{\text{óleos}}(\text{mg/L}) = \frac{(A - B) \times 10^6}{V_{\text{amostra}} (200 \text{ mL})} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

A representa a massa do filtro + resíduo sólido (R.S.) em g.

B representa a massa do filtro em g.

V_{amostra} representa o volume de amostra utilizado em mL.

Exemplo:

$$M_{\text{óleos}}(\text{mg/L}) = \frac{(145,2924 - 144,7601) \times 10^6}{200} = 2.661 \text{ mg/L} \quad \text{Equação (4)}$$

C. Determinação da Carência Química de Oxigênio

Na tabela C.1 e C.2 estão representados os dados referentes à leitura da CQO no equipamento, a para as duas amostras.

Tabela C.1 — Valores lidos de CQO para amostra 1

Diluição	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3
Branco	0	0	0
1:50	777	785	784
1:50	695	707	724
1:100	691	673	682
1:100	699	691	692
1:200	383	384	385
1:200	395	397	398

Tabela C.2 — Valores lidos de CQO para amostra 2

Diluição	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3
Branco	0	0	0
1:50	751	744	758
1:50	742	762	748
1:100	611	657	635
1:100	549	564	564
1:200	298	301	299
1:200	328	329	329

Para a determinação da CQO realiza-se em primeiro lugar a correção do valor de CQO obtido através de uma subtração, representada pela equação 5:

$$\text{Valor corrigido} = \text{CQO (réplica 1)} - \text{CQO (Branco)} \quad \text{Equação (5)}$$

Exemplo:

$$\text{Valor Corrigido} = 37.267 - 0 = 37.267 \text{ mg O}_2/\text{L}$$

O exemplo de cálculo é referente à média 1 do efluente bruto. Os restantes valores corrigidos foram calculados da mesma forma.

Por último realiza-se uma média dos valores corrigidos obtidos para o efluente bruto e tratado e obtêm-se os valores da CQO. O desvio padrão foi calculado através da equação 2. Além disso, durante o procedimento, foi necessário diluir as amostras. Por isso, depois é preciso calcular a CQO correspondente ou real. Esse cálculo é feito através da equação 6:

$$\text{Valor real} = \text{CQO (sol. diluída)} * \text{fator de diluição} \quad \text{Equação (6)}$$

Exemplo:

O exemplo corresponde à diluição 1:50 para a amostra 1.

$$\text{Valor real} = 745 * 50 = 37.267 \text{ mgO}_2/\text{L}$$

Tabela C.3 — Valores obtidos da CQO, valores corrigidos e média dos mesmos e valores do D.P

Amostra 1	Réplica	Média leitura	CQO_{média} (mgO₂/L)	D.P. (mgO₂/L)
CQO	Branco	0	0	0
	1:50	745	37.267	41
	1:100	688	68.800	9
	1:200	390	78.067	7

Tabela C.4 — Valores obtidos da CQO, valores corrigidos e média dos mesmos e valores do D.P

Amostra 2	Réplica	Média leitura	CQO_{média} (mgO₂/L)	D.P. (mgO₂/L)
CQO	Branco	0	0	0
	1:50	751	37.542	8
	1:100	597	59.667	44
	1:200	314	62.800	16

D. Determinação do pH

Para a determinação do pH realizou-se uma média dos valores das 3 réplicas representados na Tabela D1, para o efluente bruto e tratado.

Tabela D.1 — Valores obtidos de pH, valores lidos, média e D.P

	Réplica	Efluente Bruto	Amostra 1	Amostra 2
pH (escala Sorensen)	1	9,26	9,20	9,27
	2	9,27	9,18	9,29
	3	9,31	9,18	9,27
	Média	9,28	9,19	9,28
	Desvio Padrão	0,02	0,01	0,01

O desvio padrão foi calculado através da seguinte equação 2.