

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MATHEUS DA SILVA RODRIGUES

**TÉCNICA DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO COMBINADA COM PROCESSO DE
SEPARAÇÃO POR MEMBRANA, APLICADA AO TRATAMENTO DE EFLUENTE
DE LAVANDERIA DE JEANS**

APUCARANA

2023

MATHEUS DA SILVA RODRIGUES

TÉCNICA DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO COMBINADA COM PROCESSO DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANA, APLICADA AO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LAVANDERIA DE JEANS

Coagulation/flocculation technique combined with membrane separation process, applied to the of treatment of jeans laundry effluent

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Têxtil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Valquíria Aparecida Santos Ribeiro.
Coorientador(a): Ana Cláudia Ueda.

APUCARANA

2023



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Apucarana
COENT – Coordenação do curso superior em Engenharia Têxtil



TERMO DE APROVAÇÃO
Título do Trabalho de Conclusão de Curso:

TÉCNICA DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO COMBINADA COM PROCESSO DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANA, APLICADA AO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LAVANDERIA DE JEANS

Por

MATHEUS DA SILVA RODRIGUES

Monografia apresentada às 14horas e 30minutos do dia 16 de junho de 2023, como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia Têxtil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Apucarana. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado(a) **APROVADO(A)**.

PROFESSOR(A) VALQUIRIA APARECIDA SANTOS RIBEIRO – ORIENTADOR(A)

PROFESSOR(A) ANA CLAUDIA UEDA – COORIENTADOR(A)

PROFESSOR (A) ANDREA SATORI JABUR – EXAMINADOR(A)

PROFESSOR(A) FLAVIO AVANCI DE SOUZA – EXAMINADOR(A)

AGRADECIMENTOS

Eu agradeço a Deus por ter me dado saúde, disposição e forças para não desistir. Também sou grato a todas as pessoas, que participaram dessa fase da minha vida, em especial quero expressar uma grande Obrigada em ordem cronologia;

A minha mãe pelo cuidado, carinho e pela orientação em momentos difíceis.

Ao meu pai por proporcionar segurança e ter disposição para resolver todos os problemas.

A minha irmã e sua família por sempre sentirem orgulho de mim.

Ao meu irmão por ser mais que um irmão, mais que um amigo, por ser meu grande companheiro que sempre esteve comigo ao longo desses anos.

A minha noiva pela motivação, compreensão, paciência, amor e carinho.

A universidade e professores(as) pelo suporte e dedicação.

Pois certamente nada disso seria possível sem a colaboração de todos vocês.

Meu sincero MUITO OBRIGADO!

RESUMO

O efluente industrial têxtil é um problema para o meio ambiente. Além de apresentar elevada presença de cor, também é carregado de agentes químicos residuários dos processos de beneficiamento/acabamento, podendo muitas vezes conter metais pesados. O setor Têxtil consome todos os dias milhares de litros de água e conseqüentemente gera um elevado volume de efluente, o que torna o tratamento difícil por conta da alta poluição e o grande volume de entrada. Pensando em alternativas que possam auxiliar na mitigação deste problema, o trabalho apresenta práticas de tratamento de efluente, utilizando uma combinação de técnicas: O tratamento primário de Coagulação/Floculação (CF) e o terciário de Processo de Separação por Membranas (PSM), com Osmose Inversa (OI). Para realizar os ensaios experimentais foi utilizado o efluente gerado durante as aulas práticas de beneficiamento de peças Jeans, no laboratório de lavanderia industrial da UTFPR e coletado no tanque de homogeneização da estação de tratamento de efluentes da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) campus Apucarana – PR. Foi construído um sistema de tratamento compacto utilizando um galão de cinquenta litros e um cavalete de madeira, o galão serviu como tanque de alimentação, onde foi introduzido o coagulante e o agitador, também no galão ocorreu a decantação e a instalação do sistema de filtragem por Osmose Inversa, recebendo o acoplamento da carcaça com a membrana e a bomba de água. Por fim após realizar os procedimentos descritos na metodologia foi possível obter resultados satisfatórios quanto a redução de turbidez, condutividade elétrica, DQO, cor e sólidos totais, as análises colorísticas retornaram resultados positivos, demonstrando que o efluente tratado foi adequado para realizar o tingimento proposto neste trabalho. Avaliando os resultados obtidos concluiu-se que a combinação das técnicas foi efetiva no tratamento do efluente de lavanderia nas condições desse trabalho, entretendo industrialmente falando sua aplicação não é viável economicamente, pois a vazão de permeado da membrana foi baixa.

Palavras-chave: efluente; têxtil; tratamento de efluente; coagulação/floculação; osmose inversa

ABSTRACT

The textile industrial effluent is a problem for the environment. In addition to having a high presence of color, it is also loaded with residual chemical agents from the beneficiation/finishing processes, and may often contain heavy metals. The Textile sector consumes thousands of liters of water every day and consequently generates a high volume of effluent, which makes treatment difficult due to high contamination and the large volume of input. Thinking about alternatives that can help to mitigate this problem, the work presents effluent treatment practices, using a combination of techniques: The primary treatment of Coagulation/Flocculation (CF) and the tertiary treatment of Process of Separation by Membranes (PSM), with Reverse Osmosis (RO). To carry out the experimental tests, the effluent generated during the practical classes of improvement of Jeans pieces, in the laboratory of industrial laundry of the UTFPR was used and collected in the homogenization tank of the effluent treatment station of the Federal Technological University of Paraná (UTFPR) campus Apucarana – PR. A compact treatment system was built using a fifty-liter gallon and a wooden easel, the gallon served as a feed tank, where the coagulant and the stirrer were introduced, the decantation and installation of the filtering system also took place in the gallon. Inverse Osmosis, receiving the housing coupling with the membrane and the water pump. Finally, after carrying out the procedures described in the methodology, it was possible to obtain satisfactory results regarding the reduction of turbidity, electrical conductivity, COD, color and total solids, the coloristic analyzes returned positive results, demonstrating that the treated effluent was adequate to carry out the dyeing proposed in this work. Evaluating the results obtained, it was concluded that the combination of techniques was effective in the treatment of the laundry effluent under the conditions of this work, industrially speaking, its application is not economically viable, since the membrane permeate flow was low.

Keywords: effluent; textile; effluent treatment; coagulation/flocculation; reverse osmosis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cadeia produtiva têxtil e de Confeção.....	18
Figura 2 – Etapas do processo CF	23
Figura 3 – Estabilidade de partículas em suspensão.....	24
Figura 4 – Funcionamento da osmose inversa.....	28
Figura 5 – Sistema de filtração por Osmose Inversa	31
Figura 6 – Máquina de canecas	34
Figura 7 – Delta E	35
Figura 8 – Efluente Bruto	37
Figura 9 – Efluente após o processo de Coagulação e Decantação	38
Figura 10 – Comparação de cor entre as etapas.....	39
Figura 11 – Espectro de Máxima Absorbância	40
Figura 12 – Fórmula de remoção de cor	40
Figura 13 – Comparação dos banhos de tingimento.....	42
Figura 14 – Comparação das amostras pós tingimento	42
Figura 15 – Curva de reflectância	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Água para processos Têxteis	21
Tabela 2 – Efluente bruto de Lavanderia de jeans.....	22
Tabela 3 – Principais tipos de módulos filtrantes	26
Tabela 4 – Principais tipos de membranas	27
Tabela 5 – Especificações técnicas da Membrana	30
Tabela 6 – Caracterização do efluente Bruto.....	36
Tabela 7 – Relação dos parâmetros de Físico – Químicos.....	39
Tabela 8 – Redução Percentual de Sólidos Totais e Condutividade elétrica	41
Tabela 9 – Coordenadas sem lavar	43
Tabela 10 – Coordenadas pós lavagem	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.1.2	Objetivo geral	14
1.1.3	Objetivo Especifico.....	14
2	JUSTIFICATIVA	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	Indústria têxtil	16
3.2	Cenário industrial têxtil brasileiro.....	17
3.3	Processos Industriais Têxteis	17
3.4	Lavanderia industrial têxtil	19
3.5	Qualidade da água para processos industriais têxteis.....	20
3.6	Efluente industrial de lavanderia jeans	21
3.7	Processos Físicos-Químicos para tratamento de efluentes	22
3.8	Coagulação/floculação	23
3.9	Coagulação	24
3.10	Floculação	25
3.11	Processos de separação por membrana (psm)	25
3.12	Classificação e principais características das membranas	25
3.13	Osmose inversa	27
4	METODOLOGIA.....	29
4.1	Materiais	29
4.2	Efluente de lavanderia	29
4.3	Reagentes químicos	29
4.4	Membrana de Osmose Inversa	29
4.5	Equipamentos.....	30
4.6	Procedimentos experimentais	32
4.7	Processo de Coagulação Floculação	32

4.8	Processo de osmose inversa	32
4.9	Análises físico – químicas.....	33
4.10	Ensaio de reúso do efluente – Tingimento	33
4.11	Controle de qualidade do substrato tingido	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1	Caracterização do Efluente Bruto.....	36
5.2	Processo de Coagulação-Floculação.....	37
5.3	Processo de osmose Inversa (OI)	38
5.4	Avaliação do Reuso do Efluente Tratado	41
6	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS	46
	Anexo I – Roteiro da prática de tingimento.....	49

1 INTRODUÇÃO

A primeira revolução industrial aconteceu em 1760 e trouxe ao mundo uma era de máquinas movidas a vapor, o que possibilitou o desenvolvimento da sociedade como conhecemos hoje. Entretanto, toda evolução tem um preço, e a humanidade por muito tempo vem pagando essa dívida com o meio ambiente. Apenas em 1972 ocorreu a primeira conferência internacional voltada para questões ambientais, a chamada Conferência de Estocolmo (PASSOS, 2009).

Segundo Salcedo (2014) a indústria Têxtil é considerada um dos segmentos industriais mais poluente do mundo, sendo responsável por consumir bilhões de litros de água todos os anos.

O efluente industrial têxtil é um resíduo composto por produtos químicos prejudiciais ao ambiente. Quando esse efluente entra em contato com corpos hídricos sem o devido tratamento, pode gerar poluição e contaminação colocando em risco todo o ambiente ao redor.

Para ajudar a mitigar esse problema inerente ao setor industrial têxtil, é de suma importância buscar meios para tratar o efluente antes que ele seja descartado. Realizar esse tratamento não é simples e algumas técnicas exigem muito tempo, o que por vezes torna o processo muito caro ou até mesmo inviável, por conta do alto volume de efluente que precisa ser tratado.

Pensando em maneiras de otimizar o processo de tratamento dos efluentes, o presente trabalho busca aplicar uma combinação de técnicas inovadoras para diminuir os níveis de poluição e o tempo de residência na estação de tratamento de efluente (ETE).

1.1 Objetivos

1.1.2 Objetivo geral

Realizar o tratamento de efluentes têxteis, oriundos dos processos de lavanderia industrial, através de técnicas de separação por membranas (SPM), visando o reuso em beneficiamentos têxteis.

1.1.3 Objetivo Especifico

Explorar alternativas para tratamento de efluentes, buscando reduzir o impacto ambiental causado pelo setor industrial têxtil. Para tanto, são propostas:

- Combinar técnicas de tratamento de água e efluente para tratamento de efluentes têxteis;
- Realizar ensaios de caracterização do efluente, antes e depois do tratamento;
- Reutilizar efluentes tratados no ciclo produtivo têxtil;

2 JUSTIFICATIVA

Estima-se que indústria Têxtil, seja responsável por consumir 387 bilhões de litros de água por ano (SALCEDO, 2014), só no Brasil a produção têxtil alcançou em 2020 a marca de 7,93 bilhões de peças produzidas ABIT (2020).

Ao longo da cadeia produtiva têxtil, muitos processos utilizam água para administrar agentes químicos. Em algumas etapas como na fiação, essa demanda é menor, já em outras, como no acabamento e beneficiamento, a demanda é maior. De forma geral, a indústria Têxtil é responsável por gerar altos volumes de resíduos, sendo destaque como risco de poluição e contaminação do meio ambiente.

Quando o efluente oriundo da produção têxtil chega sem tratamento até corpos hídricos, o risco ambiental é muito grande, podendo causar contaminações que ameaçam tanto saúde humana quanto animal, bem como compromete todo ambiente (TKACZYK, MITROWSKA e POSYNIK, 2020). entre as principais características desse despejo temos pH alterado (ácido ou básico), elevada presença de cor que impede a diluição do oxigênio atmosférico, DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio) e turbidez, além da presença de cloretos, sulfetos, metais pesados e outros (YASEEN e SCHOLZ, 2018).

Para reverter esse panorama, é necessário explorar possibilidades, tais como, técnicas de separação por membranas (SPM) e Coagulação/Floculação (CF), além de suas possíveis combinações e viabilidade econômica. Tratar os efluentes gerados é uma tarefa essencial para poder reutilizá-los no ciclo produtivo, diminuindo o nível de poluição e volume de descarte da indústria Têxtil.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Indústria têxtil

Cobrir o próprio corpo é uma necessidade fundamental para os humanos há séculos. Segundo Gainesville (2011), desde a segunda Era do Gelo há mais de 170mil anos, as pessoas já usavam roupas, o motivo, vestir algo para proteger o corpo contra os intemperes da natureza, mas com a evolução da sociedade, o vestuário que uma pessoa usa, em alguns casos, começou a servir até como forma de identificação, seja para sua profissão, estilo ou relevância social.

Como forma de adornar as peças do vestuário, por volta de 3 a 4 mil a.C as pessoas estabeleceram formas de tingimento natural (DUARTE, 2021), usando pigmentos extraídos de plantas, animais ou minerais. Por muitos anos todos os processos de manipulação de tecidos, eram realizados de forma artesanal, apenas em meados de 1760 com a primeira Revolução industrial, máquinas começaram a ser empregadas para a fabricação de tecidos e confecção de artigos de vestuário, dando origem ao que pode ser chamado de indústria Têxtil.

Com o aumento da população e o desenvolvimento da moda, a exigência por produtos cada vez mais diferenciados e em quantidades elevadas, fez com que o setor têxtil crescesse até ser um dos maiores do mundo. Sendo um ramo industrial muito abrangente, a indústria têxtil participa desde o cotidiano das pessoas, até os usos mais específicos, como uniformes de bombeiros ou trajes de astronautas.

Para suprir as necessidades modernas da sociedade, muitos insumos da indústria química foram adicionados aos processos Têxteis, tanto para acelerar a produção, quanto para agregar características específicas. A maioria desses agentes químicos são administrados diluídos em água, altos volumes dependendo do processo, o que torna a indústria têxtil um grande consumidor de recursos hídricos.

No final do processo, após cumprirem sua função, esses insumos químicos são descartados junto a água residuária. Dessa forma, existe alta concentração de agentes químicos, no efluente industrial têxtil, apresentando risco ao ambiente, se ocorrer o descarte inadequado de resíduos, podendo causar desastres ambientais em larga escala, como poluição de corpos de água e intoxicação animal, segundo Salcedo (2014) o setor têxtil é considerado o segundo maior poluidor do mundo

3.2 Cenário industrial têxtil brasileiro

Em um mundo globalizado, as relações comerciais internacionais são indispensáveis para o desenvolvimento da economia de um país (CASAGRANDE, 2018). A representatividade que um setor industrial tem, frente ao mercado internacional, é um bom reflexo da sua importância para economia interna. Segundo Oliveira Mendes (2021) o Brasil ocupa a décima colocação do ranking dos maiores produtores de Têxteis do mundo.

No ano de 2020, segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT, 2020), o Brasil arrecadou um total de R\$ 194 bilhões de reais, além de empregar mais de 1,3 milhão de trabalhadores diretos e 8 milhões de trabalhadores indiretos, em mais de 24 mil unidades produtivas. O Brasil possui a maior cadeia Têxtil produtiva completa do ocidente, e conta com mais de 50 faculdades de moda espalhadas por 11 estados.

Embora o setor industrial brasileiro tenha sofrido com a implementação tardia, a Indústria Têxtil (a exemplo do que aconteceu na Europa) impulsionou o crescimento da indústria nacional, alcançando papel de destaque internacional. Atualmente a tecnologia está possibilitando o desenvolvimento de novas revoluções na indústria, um exemplo é a Indústria 4.0, que une comunicação, robótica e conexão, como não poderia ser diferente a Indústria Têxtil brasileira já começa a adotar um pouco dessa nova era industrial.

O Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI, 2022) implantou uma unidade de confecção 4.0 na escola Francisco Matarazzo, Brás, São Paulo SP. A planta conta com um espelho inteligente para coletar as medidas, uma interface inteligente de comunicação e um sistema robotizado para confecção e entregar, apesar do significativo avanço tecnológico, todas as peças são de acabamentos simples.

3.3 Processos Industriais Têxteis

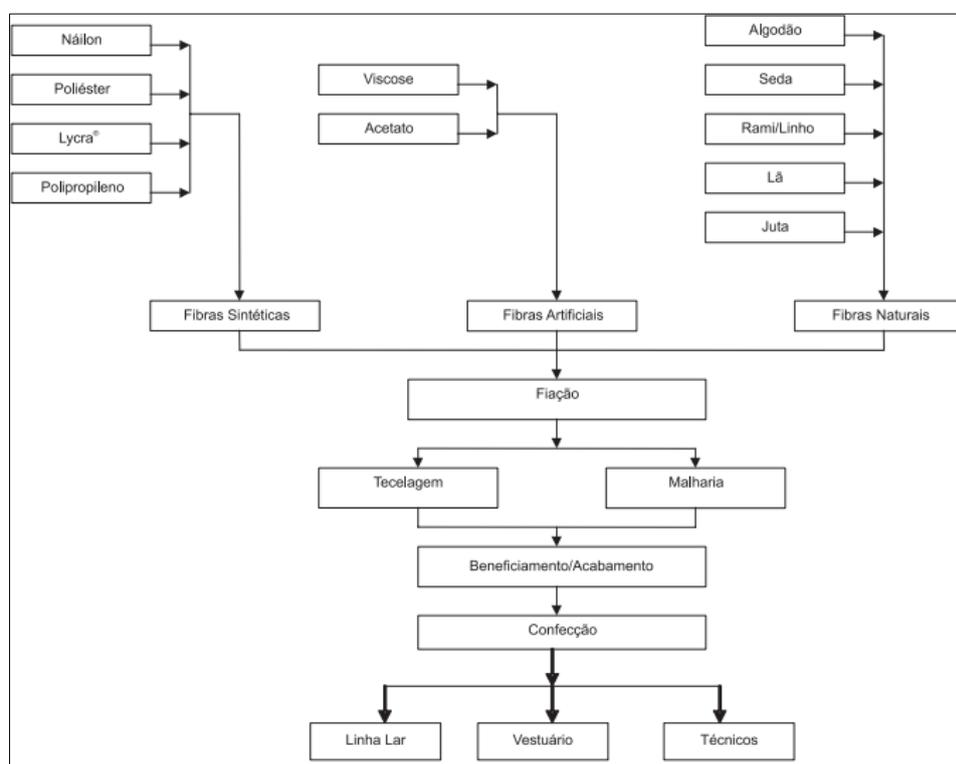
Segundo Costa (2018) os processos industriais são as etapas de transformação da matéria-prima pré-definidas, que compõem a manufatura de um ou vários insumos na indústria. O objetivo de estabelecer uma sequência de processos industriais é padronizar a manipulação da matéria-prima, aumentando o nível de

qualidade, garantindo que mesmo com diferentes equipes os resultados da produção sejam iguais.

Apesar de o segmento industrial têxtil poder ser resumido em fibra, fio, tecido, artigo confeccionado e beneficiamento/acabamento, ele é muito extenso, por isso poucas empresas atuam na sua totalidade, e é comum que elas trabalhem em comunicação entre setores, visto que um setor é dependente do antecessor.

O Fluxograma apresentado por Costa et al. (2009) é bem completo. Na Figura 1 podemos avaliar quase toda a estrutura produtiva da cadeia Têxtil.

Figura 1 – Cadeia produtiva têxtil e de Confeção



Fonte: Costa et al. (2009)

O fluxograma começa com a obtenção das fibras, que podem ser polímeros naturais (Cultivo de plantas) ou sintéticas (derivadas do petróleo). Resumidamente a fiação é responsável por transformar os filamentos (sintéticos ou naturais) em fios através de eventos físicos de torção e estiramento.

No fluxograma a formação do tecido está dividida em duas partes, a tecelagem e a malharia, respectivamente são responsáveis por confeccionar tecidos planos e malhas.

Na etapa de Beneficiamento/Acabamento, os artigos recebem todo tipo de característica, para atender as expectativas técnicas de uso. Duas grandes variações entre esses tratamentos, são eles os tratamentos a úmido (utilizam água como meio principal) e os tratamentos a seco. Essa caracterização pode ser aplicada antes, depois, ou antes e depois da confecção.

A confecção é separada em três partes, sendo elas modelagem, risco/corte e costura, artigos confeccionados abastecem a linha lar, o vestuário e os têxteis técnicos.

Por fim uma etapa que aparece incorporada no conjunto de beneficiamentos/acabamentos na Figura 1 é a lavanderia, essa etapa aparece em vários momentos no ciclo produtivo, sendo responsável tanto como meio de administração de agentes químicos, quanto para exangue pós processos a úmido, alguns exemplos são alvejamento e tinturaria. Esse setor será aprofundado no próximo item, visto que é o objeto de estudo deste trabalho.

3.4 Lavanderia industrial têxtil

As primeiras gerações de vestuário produzidos industrialmente, eram conectadas apenas com resistência e durabilidade, a confecção tinha modelagem simples e os tecidos empregados eram grosseiros e pouco acabados, resultando em uma peça sem conforto e pesada (FONSECA, 2024).

Registros da Gentlemen's Magazine, datam a busca por patentear um equipamento que pudesse lavar roupas desde 1691, entretanto apenas com o surgimento do motor elétrico no século XX a primeira máquina foi produzida. Os créditos da invenção foram atribuídos ao norte – Americano Alva J. Fisher que trabalhava na companhia de máquinas Hurley (VELOZO, 2018).

Ao longo da história da Lavanderia industrial, as funções desse setor aumentaram e muitos beneficiamentos/acabamentos foram atribuídos ao cerne da sua funcionalidade, tornando esse ramo da indústria essencial para beneficiar peças de vestuário, desde que estejam confeccionadas em estado pronta para tingir (PT).

Os processos de lavanderia podem ser empregados para diversos tipos de tecido, entretanto a maior área de atuação é com o tecido Jeans. Segundo Souza (2018), os beneficiamentos especiais aplicados ao jeans podem ser classificados em físicos, químicos, biológicos ou combinados, sendo os processos Físicos: *Sand*

Blasting físico, *Hand Blasting*, *Stone Wash*, *Sand Wash*, *Stone Less*, Craqueado e Lazer. Os processos Químicos são: *Bleach*, Branqueamento óptico, *Mole Skin*, Lavare, Esponjado ou estopa, *Sand blasting* químico. Biológicos podem ser Desengomagem, purga, Estonagem e biopolimento.

Para os processos considerados a úmido, são utilizadas máquinas de lavar, sua função vai desde ser um meio de administração de agentes químicos, até o exangue pós processo. Com a evolução tecnológica os processos de Beneficiamento/Acabamento possibilitaram agregar cada vez mais características aos tecidos, esse aprimoramento em grande parte é realizado utilizando produtos químicos diluídos em meio aquoso.

Esses produtos muitas vezes são de alta periculosidade, para o meio ambiente e para vida humana, por tanto devem ser retirados do tecido quando o procedimento termina. Para remover os resíduos pós-tratamento são realizados neutralizações e enxágues duplos (Repete o processo duas vezes). É nesse ponto que surge um grande problema da Indústria Têxtil, o consumo elevado de água. Ainda mais agravante quando essa água que se torna efluente, é descartada sem o devido tratamento para diminuir os níveis de toxicidade.

3.5 Qualidade da água para processos industriais têxteis

Não é segredo nenhum que a base para sustentação da vida é a água, o desenvolvimento humano é impossível sem ela, esse recurso é utilizado tanto para consumo humano vital (hidratação, preparação de alimentos e higiene) quanto para processos industriais (VICTORINO, 2007).

A Água pode ser encontrada na forma sólida, líquida ou gasosa, ela pode ser doce ou salgada e estar na superfície ou no subsolo. Apesar de a sua composição ser H₂O, apenas se ela passar por um processo de purificação específico, será possível obter uma solução exclusiva de H₂O (BERNARDO, 2016).

Na natureza encontramos na água uma série de minerais diluídos, esses compostos impactam diretamente nas suas características físicas e químicas (MOLETTA, 2014). Por tanto deve ser levado em consideração na hora do seu consumo, pois dependendo do que será feito, ajustes devem ser realizados para tratar/purificar a água. Esse assunto é ainda mais relevante no que se refere aos

processos industriais que utilizam agentes químicos. Na Tabela 1 são apresentados alguns dos parâmetros essenciais de qualidade para utilização da água no setor têxtil.

Tabela 1 – Água para processos Têxteis

Qualidade ou Substancia	Tolerância (mg/L)	Qualidade ou Substância	Tolerância (mg/L)
Turbidez	< 5	Sulfato	< 250
Sólidos Totais	< 500	Sulfito	< 1
Cor	< 5 (unidade PtCo)	Cloreto	< 250
PH	7 – 9	Sílica	< 10
Acidez/Alcalinidade	< 100 como CaCO ₃	Alumínio	< 0,25
Dureza	< 70 como CaCO ₃	Dióxido de Carbono	< 50
Ferro	< 0,3	Nitrito	< 0,5
Manganês	< 0,05	Cloro	< 0,1
Cobre	< 0,01	Amônia	< 0,5
Chumbo e Metais pesados	< 0,01	Óleos, graxas, gorduras e sabões	< 1

Fonte: Adaptado, Little (1975)

Para os processos industriais de lavanderia, a água deve atender alguns parâmetros relacionados ao PH, ausência de sólidos em suspensão, dissolvidos ou matérias orgânicas, ausência odor, ausência de espuma, ausência de cor e dureza, e deve estar livre de qualquer tipo de poluição.

Controlar esses parâmetros é essencial para manter a qualidade dentro da lavanderia industrial têxtil, pois caso os agentes químicos, entrem em contato com os contaminantes da água, podem ocorrer reações inesperadas, causando defeitos ao artigo que está sendo processado ou interferir no processo, levando ao uso desnecessário de reagentes e água.

3.6 Efluente industrial de lavanderia jeans

Como já dizia Lavoisier “Na natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”, essa verdade também vale para água utilizada nas lavanderias industriais, fazendo o elevado consumo de água retornar em grandes volumes de efluente altamente contaminado.

Quando falamos sobre artigos beneficiados em lavanderias industriais, as peças jeans são o destaque no mercado nacional e internacional. Segundo Kulay *et al.* (2017) o Brasil é o segundo maior produtor e o terceiro maior consumidor de tecido para fabricação de jeans no mundo.

Essa alta produção faz com que as lavanderias industriais sejam essenciais dentro do processo produtivo, e com elevada produção, o consumo de água é elevado e a geração de efluente também.

O efluente resultante da lavanderia de jeans pode ser caracterizado pela presença de variação de pH, cor, turbidez e muitos outros contaminantes. A Tabela 2 apresenta as características de um efluente que foi coletado, na estação de tratamento da UTFPR campos Apucarana – PR em 2018.

Tabela 2 – Efluente bruto de Lavanderia de jeans.

Parâmetro	Unidade de medida	Valor
pH	-	7,06
Cor	mg Pt-Co L ⁻¹	1948
Turbidez	FAU	683
DQO	mg.L ⁻¹	1142,4
DBO ₅	mg.L ⁻¹	235
DBO ₅ /DQO	-	0,21
Absorbância (λ)	-	0,571
Odor	-	Forte

Fonte: Adaptado, Ribeiro (2018)

As características agregadas ao efluente, após os beneficiamentos de lavanderia, excedem os limites estabelecidos pela NBR 430 (CONAMA, 2011), tornando o despejo perigoso para o meio ambiente. Por esse motivo é indispensável realizar os tratamentos adequados ao efluente antes de descartar na rede de esgoto municipal ou corpos hídricos.

3.7 Processos Físicos-Químicos para tratamento de efluentes

Os tipos de tratamento de água ou efluentes, podem ser classificados em grupos fundamentais, sendo pré-tratamento com remoção de sólidos grosseiros por

grelhas, peneiramento, primário com processos físico-químicos como coagulação-floculação / coagulação-flotação, secundário com fenômenos biológicos e terciários com microfiltração, nanofiltração, ultrafiltração.

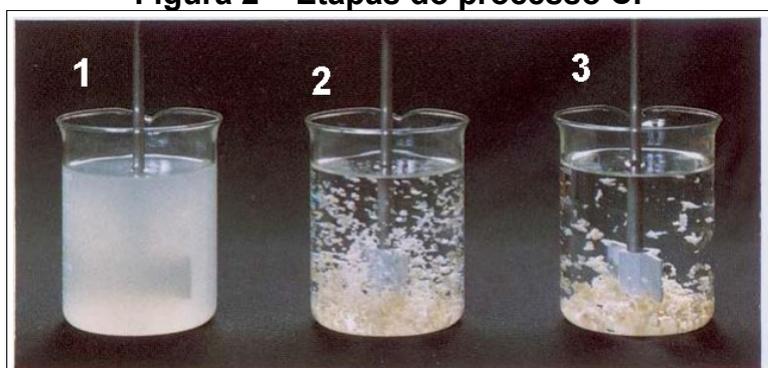
Quando falamos de processos físicos – químicos falamos da combinação de interações Físicas e Químicas que atuam na transformação da matéria. Muitos desses processos podem ser utilizados para o tratamento de efluentes industriais, um que é muito famoso e amplamente utilizado em estações de tratamento de água, é conhecido como Coagulação/Floculação com Decantação.

3.8 Coagulação/floculação

Segundo Fortino (2012) um dos motivos para coagulação/floculação (CF) ser um processo amplamente empregado no tratamento de efluentes, é ser simples para aplicar. A base da operação é aglomerar partículas suspensas ou em estado coloidal em flocos mais ou menos densos que a água, realizando uma separação visível e palpável das impurezas.

Os insumos para realização desse fenômeno são encontrados facilmente no mercado, necessitando apenas de produtos químicos para mudar o estado de agregação dos sólidos, uma força cinética para promover o contato entre as partículas e, por fim, um local de repouso para que ocorra a separação de fases. A Figura 2 representa o fluxograma do processo.

Figura 2 – Etapas do processo CF



Fonte: Adaptado, FEUP (2017)

No momento 1, após introduzir o coagulante a mistura é agitada com velocidade, no momento 2, a agitação é suave para que os flocos não sejam desfeitos,

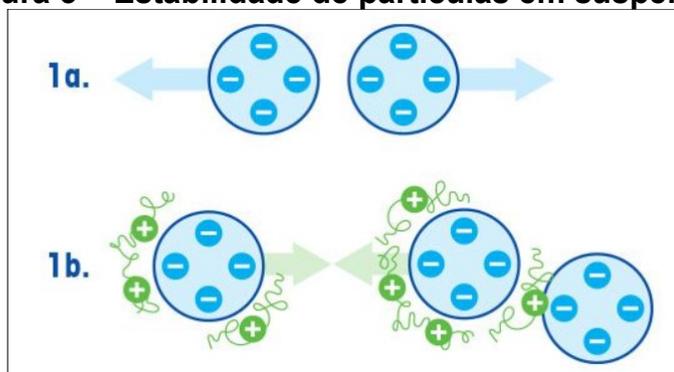
por fim, no terceiro momento a mistura é deixada em repouso para que ocorra a decantação do material precipitado (CAMPOS, 2014).

3.9 Coagulação

Segundo Silahi e Leiknes (2009), o processo de coagulação é um dos mais bem-sucedidos da atualidade, no que se refere a remoção de matéria diluída suspensa ou em estado coloidal, que naturalmente não sofreria decantação ou demoraria muito tempo.

Essa matéria pode ser definida como um amontoado de átomos que não sofrem com a ação da gravidade, permanecendo como um corpo largado no espaço, que flutua estável por tempo indeterminado. Essa estabilidade é alcançada quando as forças de repulsão intermoleculares inerentes de cada partícula são anuladas umas pelas outras (Fortino, 2012), esse fenômeno pode ser observado na Figura 3 no momento 1a.

Figura 3 – Estabilidade de partículas em suspensão



Fonte: Autoria própria, (2023)

Portanto, o processo de coagulação atua na desestabilização da interação entre as cargas, possibilitando que aglomerados estáveis interajam com outros, para formar flocos com densidade diferente da solução, fazendo assim uma separação de fases visível, esse fenômeno pode ser observado na Figura 3 no momento 1b.

Os coagulantes podem ser químicos ou naturais, respectivamente sendo sais metálicos, como o sulfato de alumínio, ou polieletrólitos, como o Tanino. Indiferente da sua origem a atuação na solução é adição de cargas negativas que desfazem a estabilidade eletroestática dos coloides (JUNIOR COUTO, 2011).

Apesar da ação do coagulante, apenas desestabilizar as partículas não provoca a decantação, isso acontece por conta do efeito hidrostático da solução. Para concluir o efeito de coagulação então, é necessário agitar rapidamente o meio para que as partículas se aproximem e formem os flocos que serão separados.

3.10 Floculação

O processo de floculação consiste no movimento das partículas desestabilizadas na solução, durante essa trajetória ocorre o contato dessa matéria, proporcionando o crescimento do agregado de sólidos, aumentando a eficiência da separação de fases do meio, esses flocos continuam crescendo até um tamanho crítico onde param de acumular novas partículas (FORTINO, 2012).

Para não desfazer os flocos durante seu crescimento, a movimentação nessa etapa deve ser lenta, suficiente apenas para proporcionar a aproximação das partículas (CASSINI, 2008).

3.11 Processos de separação por membrana (psm)

Segundo Streit (2011), a filtração (base do funcionamento de uma separação por membrana), é uma das operações unitárias mais antigas do mundo, ela consiste em uma operação de separação sólido/fluido, e pode ser aplicada em diferentes segmentos como, por exemplo, indústria alimentícia, medicina e mais recentemente tratamento de efluentes.

Os processos de filtração são realizados através de membranas, barreiras físicas que impedem que determinados materiais não possam transpassar de um lado ao outro. Esse impedimento pode ocorrer por interação química, diferença de potencial elétrico ou características físicas das partículas.

3.12 Classificação e principais características das membranas

Segundo Lira (2018), as membranas podem ser classificadas por diversos parâmetros, entre eles o material de fabricação, a estrutura morfológica, o diâmetro dos poros, resistência mecânica e outros.

As membranas são alocadas em módulos filtrantes, esses módulos têm diferentes formatos e disposições, na Tabela 3 são apresentados os principais tipos de módulos e algumas características de cada um.

Tabela 3 – Principais tipos de módulos filtrantes

Característica	Pratos planos	Tubular	Espiral	Fibras Ocas
Compactação (m ² /m ³)	400 – 600	20 – 30	800 – 1000	600 – 1200
Preço	Elevado	Muito Elevado	Baixo	Muito Baixo
Facilidade de Limpeza	Boa	Excelente	Boa	Má
Controle da Transferência de massa adjacente à membrana	Razoável	Muito bom	Pobre	Muito mau
Aplicações	MF tangencial, UF, NF, OI	MF, UF e NF de baixa pressão	UF, NF, OI	OI

Fonte: Streit (2011)

Quando falamos de PSM geralmente agrupamos os diferentes tipos e aplicações das membranas a genérica “filtração com membrana”. Entretanto podemos encontrar vários tipos de membranas com técnicas de aplicação e funções variadas, na Tabela 4 são apresentadas os principais PSM utilizados e suas propriedades.

Tabela 4 – Principais tipos de membranas

Processo	Força Motriz	Material Retido	Material Permeado	Força Propulsora
Microfiltração (MF)	ΔP (0,5 – 2atm)	Material em suspensão	Água e sólidos dissolvidos	Pressão hidrostática
Ultrafiltração (UF)	ΔP (1 – 7atm)	Colóides e macromoléculas	Água e sais solúveis	Pressão hidrostática
Nanofiltração (NF)	ΔP (5 – 25atm)	Colóides, macromoléculas e íons divalentes	Água e sais solúveis	Pressão hidrostática
Osmose inversa (OI)	ΔP (15 – 80atm)	Todo material solúvel ou em suspensão	Água (Solventes)	Pressão hidrostática
Diálise	ΔC	Moléculas PM > 5000	Íons orgânicos de baixo PM	Gradiente
Eletrodiálise	ΔE	Co – íons	Contra – íons	Potencial elétrico

Fonte: Adaptado, Streit (2011)

3.13 Osmose inversa (OI)

Segundo Fortino (2012), a osmose é o fenômeno físico em que duas soluções com concentrações diferentes separadas por uma membrana semipermeável buscam o equilíbrio, onde ocorre o transporte natural do lado menos concentrado para o lado mais concentrado, até que as pressões osmóticas sejam iguais.

Quando falamos sobre Osmose inversa o processo segue pela contramão do fluxo natural entre as soluções. Nesse processo o meio mais concentrado é forçado contra a parede da membrana, fazendo com que o solvente atravesse para o outro lado, gerando um fluxo superconcentrado e um fluxo permeado com concentração inferior (FORTINO, 2012). Na Figura 4 são apresentados os estados do fluxo osmótico.

Figura 4 – Funcionamento da osmose inversa



Fonte: Fortino (2012)

Assim como todo processo, a PSM de Osmose Inversa também apresenta vantagens e desvantagens. Algumas das principais vantagens são: não envolve mudança de fases nem utiliza calor, requer um espaço de instalação menor, utiliza pouca energia e apresenta alto grau de pureza. Um problema do processo é que o fluxo permeado é baixo e ao longo do tempo reduz devido a deposição de sólidos sobre a superfície da membrana (ocorrência de fouling), (FORTINO, 2012).

4 METODOLOGIA

4.1 Materiais

Para alcançar os objetivos propostos, foram utilizados neste trabalho efluente do laboratório de lavanderia, coletado no tanque de equalização da estação de tratamento da UTFPR campos Apucarana – PR, Sulfato de Alumínio ($Al_2(SO_4)_3$), Hidróxido de Sódio ou ácido sulfúrico H_2SO_4 , de acordo com o pH do efluente in natura e do pH demandado no processo e membrana de OI.

4.2 Efluente de lavanderia

O efluente foi coletado no tanque de equalização da estação de tratamento da UTFPR campos Apucarana – PR, a qual coleta o efluente gerado no laboratório de lavanderia. Nessa coleta foram utilizados:

- Galão de 5 l;
- Tanque adaptado de 50 l;

4.3 Reagentes químicos

O agente químico utilizado no tratamento por processo físico – químico de Coagulação/Floculação (CF) para esse estudo foi o Sulfato de Alumínio ($Al_2(SO_4)_3$), não foi necessário ajustar o PH do efluente in natura pois o mesmo se encontrava dentro do limite de operação da membrana osmose inversa (OI).

Também referente a CF não foi necessário utilizar floculante, visto que se obteve uma boa decantação.

Na etapa de tingimento foi utilizado o corante reativo amarelo BG-4G da GoldenTecnologia, com os auxiliares NaCl, Na_2CO_3 e Detergente neutro.

4.4 Membrana de Osmose Inversa

No PSM de Osmose Inversa (OI), foi utilizado um módulo Espiral TW30 – 1812 – 100, da marca Dow Filmtec, composta por uma película fina de Poliamida –

Polisulfona, adquirida pelo mercado livre. Na Tabela 5 são apresentadas as especificações técnicas da membrana.

Tabela 5 – Especificações técnicas da Membrana

Característica	Dow Filmtec TW30 – 1812 – 100
Pressão máxima de operação (bar)	14
Temperatura máxima de operação (°C)	45
PH de operação	3 – 10
Tolerância ao cloro livre (ppm)	< 0,1
Retenção de NaCl característica (%)	90
Área da Membrana (cm ²)	1064

Fonte: Autoria própria (2022)

Após o efluente passar pelo processo de CF e decantar por 24 h, o lodo gerado foi drenado pelo registro instalado no fundo do tanque adaptado, em seguida o sistema SPM foi ativado para finalizar o tratamento.

4.5 Equipamentos

Para realização dos procedimentos experimentais, foram utilizados os seguintes equipamentos (salvo os que já foram mencionados para coleta do efluente e membranas):

- Cavalete de madeira;
- Tambor de 50 l;
- Registro PVC de 3 polegadas;
- Cano PVC de 3 polegadas;
- Cola Adesiva para PVC;
- Serra copo de 3 polegadas;
- Furadeira;
- Agitador;
- Carcaça para membrana;

- Mangueira de filtro;
- Bomba de água;
- Mangueira flexível;
- Béquer de 1 l, 250 ml e 50 ml;
- Proveta de 50 ml;
- Bastão de vidro;
- Balança analítica;
- Máquina de canecas;
- Espátula;
- Galão PET de 5 l;

A Figura 5 apresenta como ficou o sistema após a montagem.

Figura 5 – Sistema de filtração por Osmose Inversa (OI)



Fonte: Autoria própria (2023)

4.6 Procedimentos experimentais

O sistema SPM foi composto por um tambor de 50 l com um registro no fundo, uma carcaça de membrana contendo a membrana de OI e uma bomba de água de 150psi. Em seguida foi colocado o balde de 20 l embaixo do cavalete, na posição correta para receber o descarte do registro, e as mangueiras de filtro foram inseridas na carcaça da membrana, sendo uma direcionada para o Galado de 5 l (fluxo permeado), outra retornando para o Tanque (Fluxo concentrado) e por último a mangueira de alimentação da membrana que foi conectada a saída de água da bomba, essa que teve sua entrada conectada ao Tanque por uma mangueira flexível de 100mm. Por fim a furadeira e a serra copo foram utilizadas para abrir um furo na parte superior do tanque onde foi alojado o agitador.

4.7 Processo de Coagulação Floculação

Os parâmetros utilizados para a etapa de coagulação-floculação foram de acordo com o estabelecido na pesquisa Fortino (2012), concentração de 70 mg.l⁻¹ de Sulfato de alumínio em PH 8 com agitação inicial de 180 rpm durante 1 minuto e uma mistura lenta de 30 rpm por 3 minutos. Por fim a solução foi colocada em repouso por 15 minutos.

Após 24 h de decantação o registro no fundo do tanque foi aberto e 10 l do efluente contendo o lodo foi coletado, em seguida ele foi deixado em descanso por 30 minutos para separação do lodo e o sobrenadante, por fim usando uma mangueira flexível de 100 mm toda fase líquida foi drenada do balde e descartada de volta para estação de tratamento da Universidade. O balde foi deixado sobre a bancada para secagem por convecção natural do lodo.

4.8 Processo de osmose inversa

Seguindo a indicação do fabricante da membrana, ela foi higienizada por 1h com água da torneira, sendo os dois fluxos de saída descartados na rede de esgoto. Em seguida a carcaça com a membrana foi esvaziada e transferida para o cavalete de madeira junto com o tanque, onde foram conectadas as mangueiras.

O procedimento teve início com a ativação da bomba de água e foi mantido por 6 h onde todo efluente permeado pela membrana foi coletado no galão de 5 l e posteriormente transferido para um Béquer de 1 l.

4.9 Análises físico – químicas

Para quantificar a eficiência do tratamento foi realizada uma série de análises, visando determinar os parâmetros de qualidade da água antes e após o tratamento, onde foram comparados com os valores de referência da legislação para despejo e parâmetros de qualidade para utilização na indústria têxtil. Os parâmetros avaliados foram:

- pH – Utilizado o PHgametro;
- Turbidez – Utilizado o Turbidímetro;
- Remoção de cor – Utilizado espectrofotômetro de varredura;
- Demanda química de oxigênio (DQO) – ISO 15705:2002
- Sólidos totais – Utilizando a estufa e a balança analítica;
- Condutividade elétrica – Condutivímetro;
- Odor;

4.10 Ensaio de reuso do efluente – Tingimento

Foram realizados 3 ensaios de tingimento utilizando o efluente tratado para verificar se o processo de coagulação-floculação/Osmose é capaz de reduzir a quantidade de poluentes presentes a níveis aceitáveis para o reuso em beneficiamentos têxteis.

O tingimento é um dos processos industriais têxteis, mais sensível a presença de contaminações na água, isso porque os corantes podem reagir de forma imprevisível quando diluídos em solução. Foi realizado uma série de tingimentos em escala laboratorial na máquina de canecas, utilizando o corante reativo amarelo BG – 4G em concentração 1% s.p.m (sobre a massa do material têxtil) com NaCl 45 g/L e Na₂Co 8 g/L. A Figura 6 apresenta a máquina que foi utilizada para realizar o tingimento.

Figura 6 – Máquina de canecas



Fonte: A autoria própria, 2022.

O experimento foi realizado utilizando tecido 100% algodão alvejado e seguiu a metodologia apresentada no Anexo 1.

4.11 Controle de qualidade do substrato tingido

O controle de qualidade das amostras tingidas com o efluente tratado por coagulação-floculação/Osmose se deu por meio de análises colorísticas em espectrofotômetro, onde foram coletados os valores de reflectância, e parâmetros Cie Lab. Em seguida foi utilizado o software LibreOffice Calc para plotar os gráficos de reflectância e calcular as variações de cor pelas coordenadas Cie Lab.

Como parâmetro de qualidade para avaliar a qualidade do tingimento foi utilizada a fórmula do Delta E que representa a variação de cor. Na Figura 7 podemos observar a fórmula, onde L significa luminosidade, a vermelho/verde (+a indica vermelho e -a indica verde) e b significa coordenada amarelo/azul (+b indica amarelo e -b indica azul).

Figura 7 – Delta E

$$\Delta E = \sqrt{(L_{\text{Sample}} - L_{\text{Standard}})^2 + (a_{\text{Sample}} - a_{\text{Standard}})^2 + (b_{\text{Sample}} - b_{\text{Standard}})^2}$$
$$= \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

Fonte: SALES (2017)

Para avaliar a qualidade do tingimento foi determinado um limite de até 1% de variação Delta E entre as amostras tingidas com o efluente tratado e o padrão tingido com água destilada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos em cada etapa do trabalho realizado estão descritos na sequência.

5.1 Caracterização do Efluente Bruto

O efluente coletado no tanque de equalização da estação de tratamento de efluentes da UTFPR foi caracterizado quanto aos parâmetros físico-químicos apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Caracterização do efluente Bruto

Parâmetros	Resultados
pH	8
Turbidez (NTU)	94
Sólidos totais (mg/L)	780
Condutividade. Elétrica (mS/cm)	0,807
Absorbância (λ)	0,1424
Odor	Forte

Fonte: Autoria própria 2023

Além do odor intenso identificado durante a coleta do efluente bruto no tanque, na Figura 8 podemos observar a coloração intensa.

Figura 8 – Efluente Bruto

Fonte: A autoria própria, 2023.

Esse efluente como foi coletado apresenta características que podem afetar os corpos hídricos e contaminar o ambiente. Nessas condições o efluente também não pode ser reutilizado nos processos produtivos têxteis, por tanto é necessário adequá-lo ao padrão de qualidade através dos tratamentos a seguir.

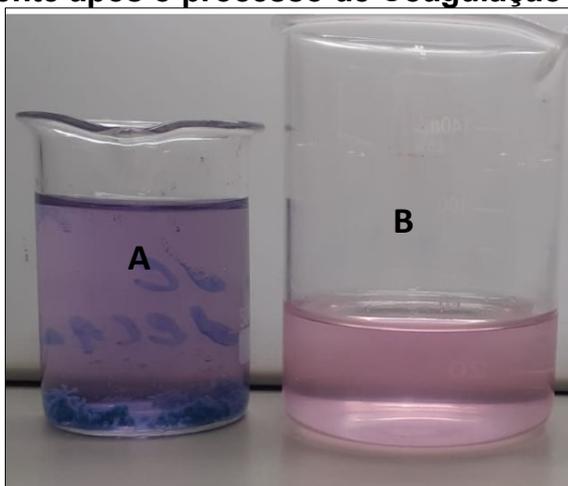
5.2 Processo de Coagulação-Floculação

A primeira etapa do processo de tratamento do efluente gerado no laboratório de lavanderia da UTFPR se deu pelo processo de coagulação-floculação

A Figura 9 Apresenta o resultado visual da aplicação da Técnica CF com Sulfato de Alumio na concentração de 70 mg/L, sendo coletado em dois momentos diferentes: com 30 min (A) de descanso, com 24 h (B) de descanso, as amostras apresentadas foram drenadas da porção superior do tanque com intuito de constatar a presença e a eficiência da coagulação e decantação. A imagem foi obtida 24 h depois de introdução do coagulante.

Foi possível verificar a presença de lodo no fundo do béquer com a amostra coletada 30min após a inserção do coagulante, o que não acontece no béquer com amostra coletada 24 h depois.

Figura 9 – Efluente após o processo de Coagulação e Decantação



Fonte: A autoria própria, 2023

Nessa etapa foi possível remover 61,72% da cor do efluente bruto, além de 35,9% de sólidos totais e 34,57% da condutividade elétrica, como será discutido nos próximos itens.

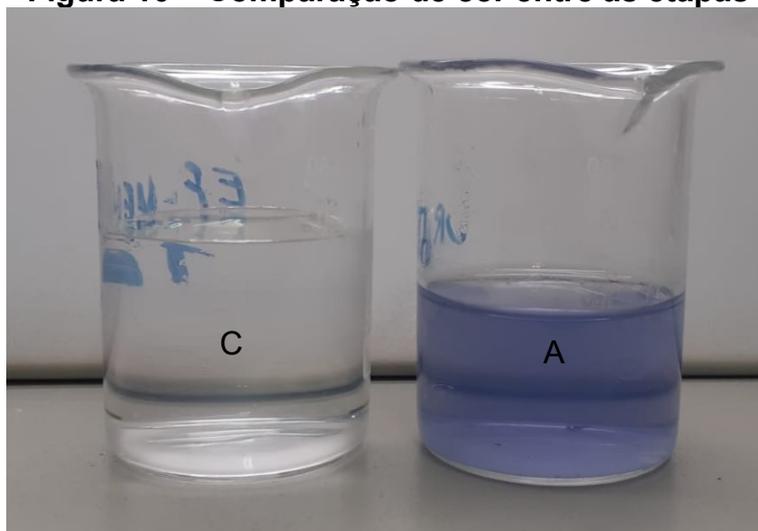
A ausência de decantado em B indica que mesmo sem a utilização de floculante, a decantação foi eficiente e todos os sólidos em suspensão, perturbados pelo coagulante foram depositados no fundo do tanque.

Após coletar o lodo no fundo do tanque, o mesmo foi deixado secando por convecção natural, onde obteve-se a partir de uma diferença de massas: tanque com lodo seco – tanque vazio, uma massa de 40g o que significa que o total de sólidos em suspensão removidos pela coagulação foi de 0,8g/L. Segundo ANWAR et al., (2018), o efluente têxtil produz em média aproximadamente 1,14g/L de lodo, comparando o resultado com a bibliográfica o valor obtido foi próximo.

5.3 Processo de osmose Inversa (OI)

Por meio da análise visual do efluente foi possível perceber uma grande remoção de cor entre o efluente Bruto (A) e efluente tratado pela combinação das técnicas (C), conforme apresentado na Figura 10.

Após realizar as análises físico – químicas propostas na metodologia, foi possível verificar a eficiência da OI em todos os parâmetros requisitados. Os valores obtidos serão apresentados e discutidos no próximo item.

Figura 10 – Comparação de cor entre as etapas

Fonte: Autoria própria, 2023

Na Tabela 7 são apresentados os resultados obtidos pela realização das análises Físico – Químicas propostas na metodologia, além de comparar os resultados do efluente bruto, efluente tratado por CF, efluente tratado pela combinação de CF SPM e o padrão necessário para utilização na cadeia produtiva têxtil proposto por Little (1975) e adaptado com Fernandes (2010).

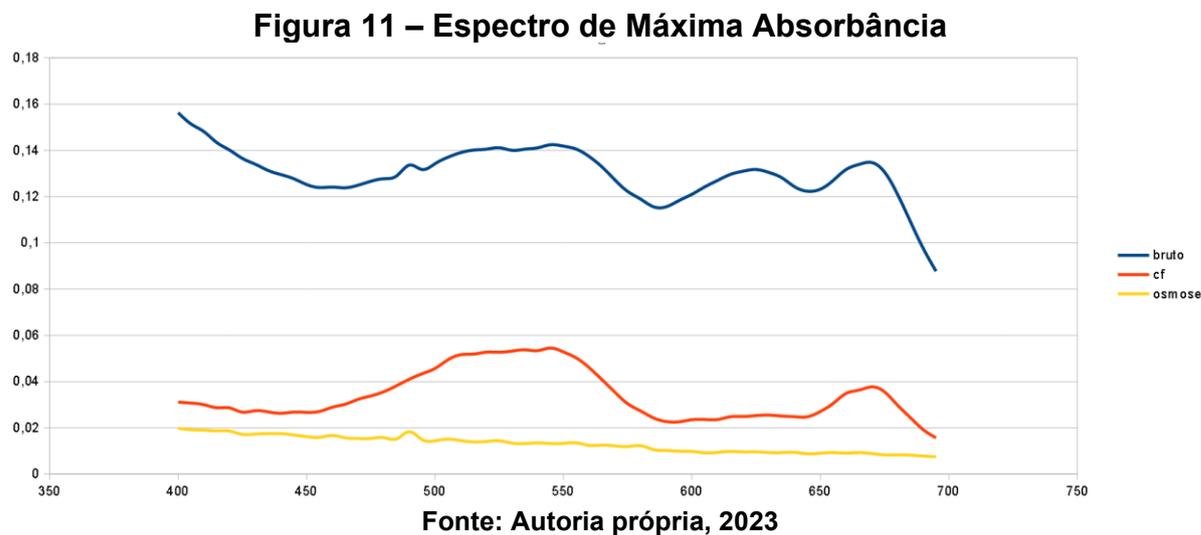
Tabela 7 – Relação dos parâmetros de Físico – Químicos

Parâmetros	Efluente Bruto	Efluente por CF	Efluente pela Combinação	Padrão Little 1975
pH	8	7	7	7 – 9
Turbidez(NTU)	94	0,24	0,03	<25
Sólidos totais (mg/L)	780	500	60	<500
Condutividade. Elétrica (mS/cm)	0,807	0,528	0,08103	0,1 – 0,5
Odor	Forte	Ausente	Ausente	Ausente

Fonte: Autoria própria, 2023

Por meio da condutividade elétrica é possível observar a existência de cloretos no efluente bruto, o que já era esperado visto que as etapas de tingimento têxtil utilizam muito cloreto de sódio e outros sais, é evidente também que de acordo com o especificado por Little 1975, apenas a C-F não é suficiente para adequar a qualidade do efluente para reuso. Após aplicar a OI, a condutividade se enquadra nos padrões para reuso do efluente.

O resultado de remoção de cor foi obtido pela leitura do espectrofotômetro de varredura apresentou a curva de absorvância descrita na Figura 11, onde podemos observar respectivamente efluente bruto (azul), efluente CF (vermelho) e efluente Osmose (amarelo).



Na Figura 11 é possível observar a remoção de cor entre os processos, sendo que o efluente tratado pela combinação das técnicas na faixa de maior absorvância do efluente bruto (525 nm) apresentou a menor absorvância. Conforme apresentado no item 5.1 o espectro de máxima absorvância do Efluente bruto aconteceu em 545nm, com valor de 0,1424. Portanto para determinar a redução de cor das amostras CF e Osmose, buscou-se na base de dados a absorvância de cada uma delas para essa faixa de 545nm, sendo eles 0,0545 e 0,0132 respectivamente, utilizou-se a fórmula da Figura 12 para calcular a remoção de cor obtida tomando como padrão o efluente bruto

Figura 12 – Fórmula de remoção de cor

$$\text{Descoloração}\% = \frac{\text{Abs}_i - \text{Abs}_f}{\text{Abs}(i)} * 100$$

Fonte: Autoria própria, 2023

Concluindo a análise com uma redução de 90,73% de cor do efluente bruto em relação ao efluente tratado por osmose e 61,72% de cor do efluente bruto em relação ao efluente tratado com CF.

Os resultados de condutividade elétrica e sólidos totais são correspondentes, visto que uma condutividade baixa indica baixa concentração de sais como o cloreto de sódio. Na Tabela 8 podemos relacionar os resultados de redução desses parâmetros.

Tabela 8 – Redução Percentual de Sólidos Totais e Condutividade elétrica		
Amostra/parâmetro	Sólidos totais	Condutividade Elétrica
Tratamento CF	35,9%	34,57
Tratamento Combinado	92,31%	90%

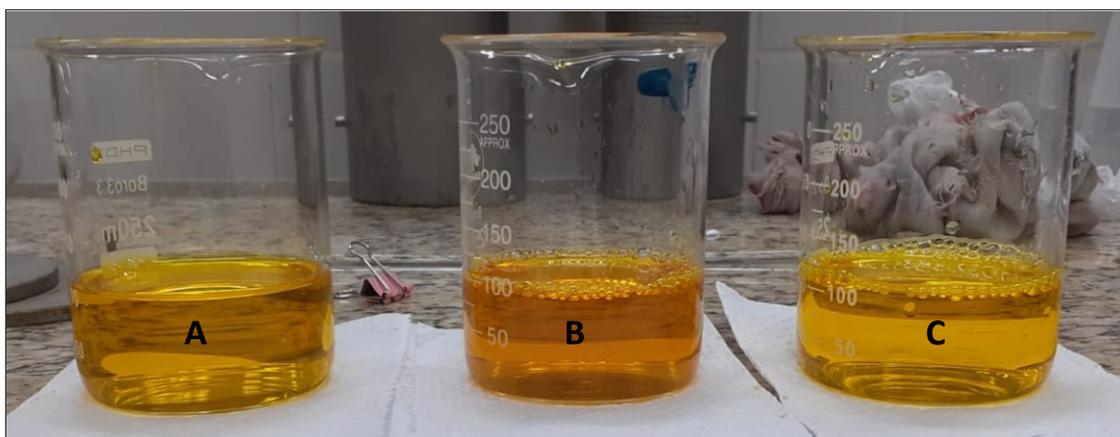
Fonte: Autoria própria, 2023

Por fim em relação ao parâmetro de turbidez e DQO os resultados foram satisfatórios e coerente. Tomando como base o efluente bruto, a redução de DQO no efluente tratado por CF foi de 68,2%, enquanto a redução do efluente tratado pela técnica combinada foi de 86%. Quando avaliamos a turbidez foi possível obter com o tratamento combinado uma remoção de em relação ao efluente bruto de 99,9%, enquanto com o efluente tratado por CF a redução foi de 99,7%.

5.4 Avaliação do Reuso do Efluente Tratado

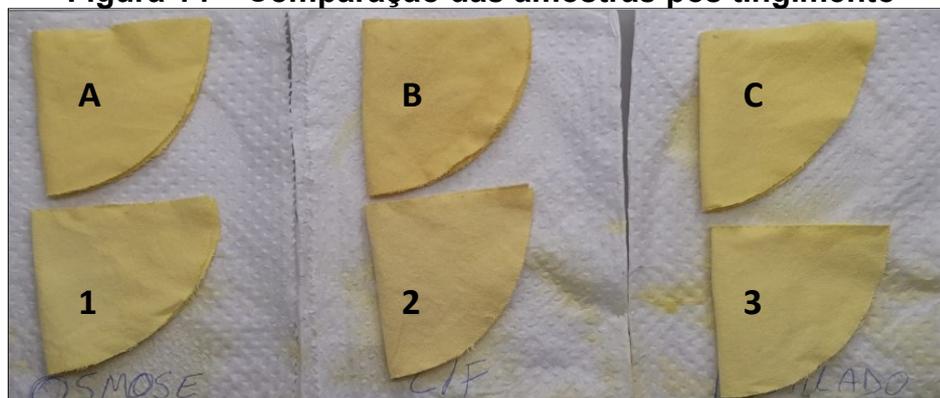
Dentro da indústria Têxtil muitos métodos podem ser utilizados para definir a qualidade de um tingimento, entre eles um dos mais utilizados é o CIELAB. Neste item serão apresentados os resultados obtidos com espectrofotômetro, após realizar o tingimento descrito no Anexo 1.

Na Figura 13 podem verificar por uma análise visual que os banhos de tingimento que foram preparados utilizando o Efluente tratado pela técnica Combinada (A) e o banho preparada com água destilada (C) tiveram pouca ou nenhuma variação, enquanto o banho de tingimento preparado utilizando o efluente tratado apenas pela técnica CF (B) apresentou a coloração um pouco mais escura em relação aos outros, provavelmente pela cor residual existente após a coagulação-floculação.

Figura 13 – Comparação dos banhos de tingimento

Fonte: Autoria própria, 2023

Na Figura 14 podem observar o resultado dos tingimentos onde (A) é o tingimento com o efluente tratado com a técnica combinada, (B) com apenas CF e (C) com padrão usando água destilada sendo que os índices ímpares são referentes aos tecidos ensaboados e enxaguados. A fotografia foi tirada em uma câmera de teste de correspondência de cores utilizando luz D-65.

Figura 14 – Comparação das amostras pós tingimento

Fonte: Autoria própria, 2023

Comparando as amostras foi possível verificar que nos 3 tingimentos ocorreu fixação do corante, visto que em nenhum dos casos a diferença de cor entre antes e após o ensaboamento e enxágue é visivelmente perceptível.

Na Tabela 9 podemos observar a média de 3 medições do espectrofotômetro para as coordenadas L, a e b, para cada uma das amostras de tecido tinto antes do ensaboamento e enxágue.

Tabela 9 – Coordenadas sem lavar

CIELAB	2	4	6
L	82,28	79,75	82,87
a.	-7,15	-5,41	-7,18
b.	49,72	51,75	50,25
Delta E	0,79	3,89	Padrão

Fonte: Autoria própria, 2023

Na Tabela 10 é apresentada a média de 3 medições do espectrofotômetro para as coordenadas L, a e b, para cada uma das amostras de tecido tinto após o ensaboamento e enxágue.

Tabela 10 – Coordenadas pós lavagem

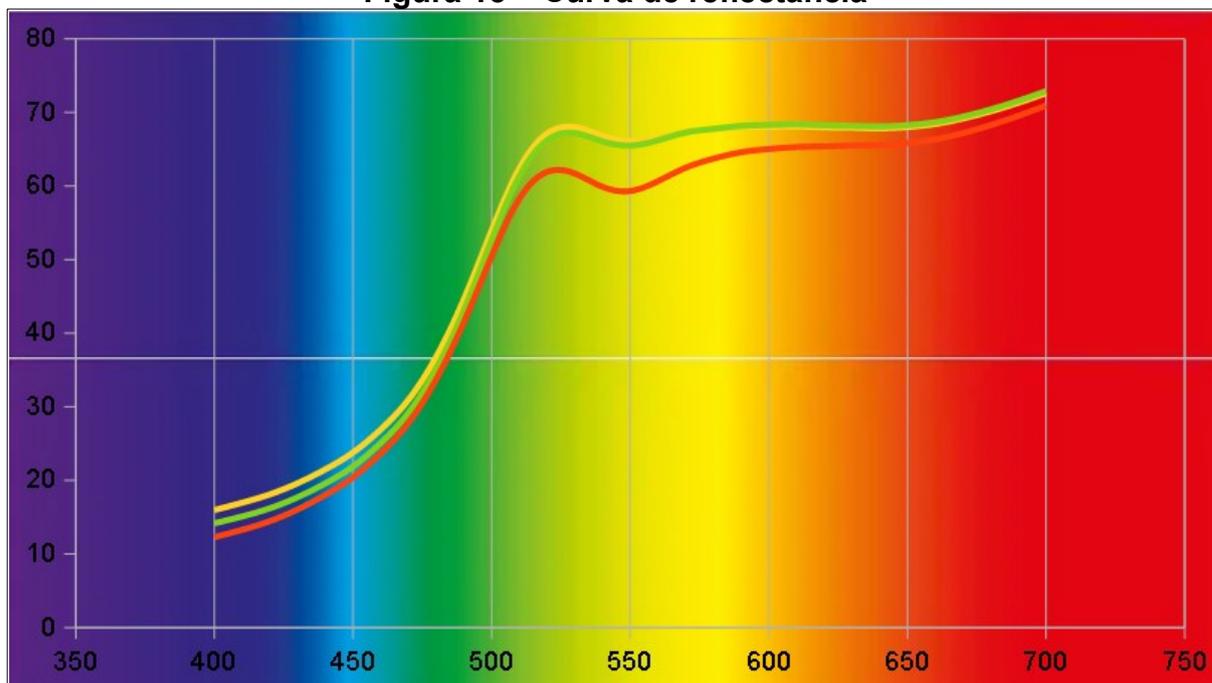
CIELAB	2	4	6
L	83,38	80,81	83,28
a.	-8,22	-6,59	-8,07
b.	42,53	44,18	43,14
Delta E	0,64	2,83	Padrão

Fonte: Autoria própria, 2023

Avaliando as Tabelas 9 e 10 é possível observar que em ambos os casos o Delta E é <1 o que de acordo com Scacchetti (s.d.) é uma variação de cor aceitável para indústria de tingimento.

Diferente da avaliação visual onde aparentemente não houve variação de cor antes e após o ensaboamento e enxague das amostras, ao compararmos individualmente cada parâmetro das coordenadas CIELAB podemos observar nos 3 casos o valor de L aumentou indicando que a cor ficou mais clara, o que significa que um que a exaustão do corante foi influenciada pelas características físico-químicas da água (efluente tratado) utilizada no processo.

Na Figura 15 podemos observar o comportamento da curva de reflectância das amostras que passaram pelo tingimento de teste. Onde a linha amarela representa o tingimento com água destilada, a verde o tingimento com efluente pela técnica combinada e a Laranja o tingimento com efluente tratado apenas por CF.

Figura 15 – Curva de reflectância

Fonte: autoria própria, 2023

No geral o resultado do tingimento foi satisfatório e se comparado aos parâmetros de qualidade estipulados pela indústria de tingimento não sofreria bloqueios se fosse avaliado para ser comercializado.

6 CONCLUSÃO

A combinação das Técnicas CF e SPM por OI mostrou-se eficaz no tratamento de efluente de lavanderia industrial, nas condições deste estudo. A técnica CF sozinha apresentou redução de sólidos totais de 35,9%, além da remoção de 6g/L de sólidos em suspensão, resultando em uma redução de 68,2% diminuindo a concentração de matéria orgânica no efluente, o que possibilitou a viabilidade de aplicar o tratamento SPM por OI que não é indicado para elevadas concentração de matéria orgânica por conta do efeito de *Fulling* que acaba entupindo a membrana.

Já ao aplicar em sequência a SPM por OI obteve-se uma redução de sólidos totais em 92,31% em relação ao efluente bruto, além da remoção de 90,72%, outra conclusão importante foi a redução da condutividade elétrica em 90%, o que indica eficiência na retenção de sólidos como cloretos, nitratos e sulfatos.

Por fim, a associação das duas técnicas de tratamento possibilitou o condicionamento do efluente ao ponto de atender os parâmetros físicos – químicos necessários para reutilização na indústria Têxtil, fato esse que também fica evidente com a avaliação do tingimento realizado, onde o resultado de Delta E < 1% é considerado aceitável dentro do controle de qualidade na indústria de tingimento.

Entretanto aplicar essa combinação de técnicas nas condições trabalho em escala industrial é inviável. Visto que o fluxo de efluente permeado pela membrana foi muito baixo. Para extrapolar esses resultados de eficiência para viabilidade industrial, seria necessário trabalhar no desenvolvimento com uma membrana OI específica para tratamento de efluentes, tendo maior área de contato disponível entre a membrana e o efluente. Além de utilizar uma bomba de água que forneça uma pressão maior do que a utilizada nesse trabalho.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE Et. Al. **Relação entre os valores de dco e dbo da estação de tratamento de esgoto de peixinhos em olinda – pe.** disponível em: <<http://www.eventosufrpe.com.br/jepex2009/cd/resumos/r0549-3.pdf>>. acesso em: 28 maio. 2023.

ANWAR T. B. et al. **Utilization of textile sludge and public health risk assessment in Bangladesh.** Sustainable Environment. Research, v. 28, p. 228-233, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. ABIT: **Perfil do setor.** 2020.

BERNARDO, Hiago Nunes Valeriano. **Avaliação da qualidade da água da lagoa Dr. Humberto Afonso localizada na cidade de Custódia-PE.** 2016.

CAMPOS, Victor Marques; BRITO, Núbia Natália de. **Tratamento de efluente têxtil utilizando coagulação/floculação e Fenton.** 2014.

CASAGRANDE, d. I. **Ensaio em economia internacional: produtividade, intensidade dos fatores e abertura comercial.** [s.l.] universidade federal de pernambuco, 28 jun. 2018.

CASSINI, A. S. **Estudo de processos alternativos no pré-tratamento de efluentes provenientes da produção de isolados protéicos.** 2008.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho CONAMA.**

COSTA, ACR. **Panorama da cadeia produtiva têxtil e de confecções e a questão da inovação.** p., v. 159, p. 202, 2009.

COSTA, Daniel; SOUZA, Fabrício Rodrigo Q. de; CAVALCANTE, Wilson Silva. **Implantação da célula de manufatura para produtos com baixo volume e alta complexidade.** 2018.

DUARTE, Silva, A. R. **Design têxtil e moda: tingimento através de microrganismos.** [s.l.] repository utl, 2021.

FERNANDES, A. K. **Reúso de água no processamento de jeans na indústria têxtil.** [s.l.] universidade federal do rio grande do Norte, 22 dez. 2010.

FEUP. **Processo de coagulação/floculação.** disponível em: **processos de coagulação/floculação, 2017** – pdf free download (docplayer.com.br). acesso em: 10 nov. 2022

FONSECA, Isabela Santini. **Desenvolvimento de uniformes escolares.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

FORTINO, P. C. **Pós-tratamento de efluente têxtil usando coagulação/floculação combinado com processos de separação por membranas.** 2012.

GAINESVILLE, Fla. **Uf study of lice dna shows humans first wore clothes 170,000 years ago.** disponível em: **uf study of lice dna shows humans first wore clothes 170,000 years ago – news – university of florida (ufl.edu)**, 2011. acesso em: 10 nov. 2022

JÚNIOR, Couto.; Moreira, O. **Tratamento de efluentes da indústria têxtil por coagulação e floculação utilizando polímeros naturais.** [s.l.] universidade estadual de maringá, 2011.

KULAY, et.Al. (2017). **AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO DE CALÇA JEANS.**

LIRA, D. S. **Processo de microfiltração de efluente da indústria têxtil utilizando membrana de fibra oca – modelagem e simulação.** 2018.

LITTLE, A. H. **Water supplies and the treatment and disposal of effluents.** The textile institute manchester, n. 2, 1975

MOLETTA, Larissa Fernanda Yassugui et al. **Abordagem conceitual teórica e experimental sobre assuntos de hidrostática.** Revista Conexão UEPG, v. 10, n. 2, p. 288-299, 2014.

OLIVEIRA Mendes Junior, b. setor têxtil – **Produção, comércio internacional e perspectivas para Brasil, Nordeste, Ceará e Pernambuco em 2021.**bnb, 2021.

PASSOS, Priscilla Nogueira Calmon. **A conferência de Estocolmo como ponto de partida para a proteção internacional do meio ambiente.** Revista Direitos Fundamentais & Democracia, v. 6, 2009.

RIBEIRO, V. A.; TAVARES, C. R. G. **Análise do reúso de efluente de lavanderia de jeans tratado por fotocatalise heterogênea.** Brazilian journal of animal and environmental research, 2018.

SALCEDO, Elena. **Moda ética para um futuro sustentável.** Barcelona: Gustavo Gili, 2014.

SALES. **LAB Color Difference Formula.** Disponível em: <<http://meterglobal.com/info-2.html>>. Acesso em: 28 maio. 2023.

SCACCHETTI, F. A. **DELTA E CIELAB como parâmetro de qualidade para tingimento.** S.D.

SENAI. **Confecção 4.0.** disponível em: **portal senai sp – francisco matarazzo – confecção 4.0.** acesso em: 10 nov. 2022.

SILAH, S. H. D.; LEIKNES. **Cleaning strategies in ceramic microfiltration membranes fouled by oil and particulate matter in produced water. desalination**, v. 236, p. 160-169, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2007.10.063>

SOUZA, B. G. **Análise dos aspectos físicos em peças confeccionadas em denim e submetidas a processos de estonagem.** Apucarana – pr: repositório utfpr, 2018.

STREIT, A. F. M. Obtenção de carvão ativado a partir de lodo industrial para a remoção de contaminantes e recuperação de bioálcoois via adsorção, 2011. [s.l.] universidade federal de santa maria, 7 dec. 2021

TAMOZINE Et. Al. Utilização de medidas de turbidez na quantificação da movimentação de sólidos por veiculação hídrica nas bacias dos rios anta gorda, brinco, coxilha rica e jirau – sudoeste do estado do paraná. Biblioteca digital de periódicos da universidade federal do paraná, 2005.

TKACZYK, A.; MITROWSKA, K.; POSYNIAK, A. Synthetic organic dyes as contaminants of the aquatic environment and their implications for ecosystems: a review. the science of the total environment, v. 717, n. 137222, p. 137222, 2020.

VELOZO Oliveira, v. A lavagem de roupas evolui com a mulher: análise comparativa entre dois comerciais de sabão em p , anos 1950-2016. porto alegre – rs: lume ufrgs, 2018.

VICTORINO, Célia Jurema Aito. Planeta  gua morrendo de sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos. Edipuhrs, 2007.

YASEEN, D. A.; SCHOLZ, M. Treatment of synthetic textile wastewater containing dye mixtures with microcosms. environmental science and pollution research international, v. 25, n. 2, p. 1980–1997, 2018.

Anexo I – Roteiro da prática de tingimento

Materiais

- béquer;
- proveta;
- balão volumétrico;
- balança; espátula;
- tesoura;
- água destilada;
- detergente;
- água do tratamento de efluente;
- chave allen;
- máquina de canelas;
- canecas;
- tecido 100% co;
- cortador de amostra de gramatura;
- cloreto de sódio;
- carbonato de sódio;
- corante reativo amarelo gb-4b;

Receita de tingimento

- amostras de 2 g de tecido 100% c;
- rb 1-30;
- corante amarelo 1 spm%;
- nacl 45 g/l;
- na₂co₃ 8 g/l

Procedimento experimental

Recorte com o cortador de amostras de gramatura, 3 bolachas de tecido 100%co;

Usar balão volumétrico para preparar soluções mãe de 0,25:250 (pesar em um béquer na balança, usando a espátula, 0,25g do corante amarelo e diluir em 250ml de água tratada pela combinação das técnicas);

Usar balão volumétrico para preparar soluções mãe de 0,25:250 (pesar em um béquer na balança, usando a espátula, 0,25g do corante amarelo e diluir em 250ml de água destilada);

Usar balão volumétrico para preparar soluções mãe de 0,25:250 (pesar em um béquer na balança, usando a espátula, 0,25g do corante rosa e diluir em 250ml de água tratada por cf);

Pesar em um béquer na balança, usando a espátula 2,7g de nacl, reserve em um béquer (fazer 3 vezes);

Pesar em um béquer na balança, usando a espátula 0,5g de Na_2CO_3 , reserve em u béquer (fazer 3 vezes);

Medir com uma proveta 20ml da solução mãe do corante amarelo, reserve em um béquer (uma para cada variação);

Identifique canecas com x1, x2 e x3;

Coloque uma amostra de tecido em cada caneca;

Transfira as soluções de corante amarelo para as canecas, uma para cada;

Seguindo a lógica, medir 20ml de cada uma das águas com uma proveta e transfira para um dos béqueres com NaCl, em seguida dilua o sal, faça a mesma coisa para um béquer com Na_2CO_3 , depois transfira para uma caneca (fazer uma sequência dessa para cada caneca);

Vedar as canecas com a tampa e a chave allen;

Levar para máquina de canecas e programar o equipamento para 80 °c; • deixar o tingimento ocorrer por 40 minutos após atingir a temperatura;

Desligar a máquina e resfriar as canecas;

Abrir as canecas e reservar parte do banho de tingimento de cada caneca em béqueres identificados;

Descartar o restante do banho no galão de resíduo;

Recortar as amostras em duas partes;

Deixar a metade de cada amostra secando em frente ao seu respectivo béquer com banho residual;

Enxaguar 2 vezes a outra metade;

Lavar as canecas;

Medir com a proveta 60ml de cada água;

Transferir da proveta para as respectivas canecas;

Colocar a metade enxaguada de cada amostra em suas respectivas canecas;

Medir e adicionar para ensaboar 1 gota de detergente em cada caneca, temperatura 90°C por 20 minutos;

Enxaguar 2 vezes;

Deixar secando por 2 h;

Realizar a análise com espectrofotômetro;

Procedimento de enxágue;

Colocar amostra na caneca com 60ml de água (destilada ou residual respectivamente);

Vedar a caneca e levar a máquina de canecas em 25°C por 2 minutos;

Abrir a caneca descartar o banho no galão de efluente;



**Presidência da República
Casa Civil
Subchefia para Assuntos Jurídicos**

LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998¹.

Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

Título I - Disposições Preliminares

Art. 1º Esta Lei regula os direitos autorais, entendendo-se sob esta denominação os direitos de autor e os que lhes são conexos.

Art. 2º Os estrangeiros domiciliados no exterior gozarão da proteção assegurada nos acordos, convenções e tratados em vigor no Brasil.

Parágrafo único. Aplica-se o disposto nesta Lei aos nacionais ou pessoas domiciliadas em país que assegure aos brasileiros ou pessoas domiciliadas no Brasil a reciprocidade na proteção aos direitos autorais ou equivalentes.

Art. 3º Os direitos autorais reputam-se, para os efeitos legais, bens móveis.

Art. 4º Interpretam-se restritivamente os negócios jurídicos sobre os direitos autorais.

Art. 5º Para os efeitos desta Lei, considera-se:

I - publicação - o oferecimento de obra literária, artística ou científica ao conhecimento do público, com o consentimento do autor, ou de qualquer outro titular de direito de autor, por qualquer forma ou processo;

II - transmissão ou emissão - a difusão de sons ou de sons e imagens, por meio de ondas radioelétricas; sinais de satélite; fio, cabo ou outro condutor; meios óticos ou qualquer outro processo eletromagnético;

III - retransmissão - a emissão simultânea da transmissão de uma empresa por outra;

IV - distribuição - a colocação à disposição do público do original ou cópia de obras literárias, artísticas ou científicas, interpretações ou execuções fixadas e fonogramas, mediante a venda, locação ou qualquer outra forma de transferência de propriedade ou posse;

V - comunicação ao público - ato mediante o qual a obra é colocada ao alcance do público, por qualquer meio ou procedimento e que não consista na distribuição de exemplares;

VI - reprodução - a cópia de um ou vários exemplares de uma obra literária, artística ou científica ou de um fonograma, de qualquer forma tangível, incluindo qualquer armazenamento permanente ou temporário por meios eletrônicos ou qualquer outro meio de fixação que venha a ser desenvolvido;

VII - contrafação - a reprodução não autorizada;

VIII - obra:

a) em co-autoria - quando é criada em comum, por dois ou mais autores;

b) anônima - quando não se indica o nome do autor, por sua vontade ou por ser desconhecido;

c) pseudônima - quando o autor se oculta sob nome suposto;

d) inédita - a que não haja sido objeto de publicação;

e) póstuma - a que se publique após a morte do autor;

f) originária - a criação primígena;

g) derivada - a que, constituindo criação intelectual nova, resulta da transformação de obra originária;

h) coletiva - a criada por iniciativa, organização e responsabilidade de uma pessoa física ou jurídica, que a publica sob seu nome ou marca e que é constituída pela participação de diferentes autores, cujas contribuições se fundem numa criação autônoma;

i) audiovisual - a que resulta da fixação de imagens com ou sem som, que tenha a finalidade de criar, por meio de sua reprodução, a impressão de movimento, independentemente dos processos de sua captação, do suporte usado inicial ou posteriormente para fixá-lo, bem como dos meios utilizados para sua veiculação;

IX - fonograma - toda fixação de sons de uma execução ou interpretação ou de outros sons, ou de uma representação de sons que não seja uma fixação incluída em uma obra audiovisual;

X - editor - a pessoa física ou jurídica à qual se atribui o direito exclusivo de reprodução da obra e o dever de divulgá-la, nos limites previstos no contrato de edição;

XI - produtor - a pessoa física ou jurídica que toma a iniciativa e tem a responsabilidade econômica da primeira fixação do fonograma ou da obra audiovisual, qualquer que seja a natureza do suporte utilizado;

XII - radiodifusão - a transmissão sem fio, inclusive por satélites, de sons ou imagens e sons ou das representações desses, para recepção ao público e a transmissão de sinais codificados, quando os meios de decodificação sejam oferecidos ao público pelo organismo de radiodifusão ou com seu consentimento;

XIII - artistas intérpretes ou executantes - todos os atores, cantores, músicos, bailarinos ou outras pessoas que representem um papel, cantem, recitem, declamem, interpretem ou executem em qualquer forma obras literárias ou artísticas ou expressões do folclore.

Art. 6º Não serão de domínio da União, dos Estados, do Distrito Federal ou dos Municípios as obras por eles simplesmente subvencionadas.

¹ Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9610.htm.