

PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA FABRICAÇÃO DE TINTA FLEXOGRÁFICA BASE ÁGUA

Vitor Duarte Preuss¹

Aline Resmini Melo²

Resumo: Este estudo de caso teve como principal finalidade avaliar a técnica mais adequada para realizar o tratamento de efluentes provenientes da limpeza de moinhos industriais de uma Empresa de tintas flexográficas. Para atingir o objetivo proposto, foram realizados ensaios laboratoriais para definir a melhor opção de coagulante, floculante e suas dosagens ideais. Para avaliar esses fatores, utilizaram-se como indicadores a altura de lodo formado, a filtrabilidade dos flocos e a clarificação do filtrado. As dosagens ideais dos reagentes obtidas em laboratório foram de 90 g.L⁻¹ de sulfato de alumínio como coagulante; e 1 g.L⁻¹ de polímero aniônico como floculante. Após uma filtração simples, foi necessária uma segunda filtração com carvão ativado, para eliminar a coloração residual do efluente tratado. Com isso, foi possível definir um procedimento eficiente para o tratamento do efluente. Com o projeto, calcula-se uma redução de custos mensal de R\$291,80, alcançando o payback do projeto em um período de 10,5 meses.

Palavras-chave: Clarificação. Coagulação. Floculação. Filtração.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por utilização dos recursos naturais na produção industrial vem gerando danos e gastos indesejáveis ao meio ambiente, e dentre esses recursos, um dos mais afetados é a água. A poluição de corpos hídricos tornou-se um dos maiores e mais recorrentes impactos ambientais, atraindo atenção mundial à sua preservação.

Na sociedade em que vivemos, a água é vista como recurso hídrico, e não mais como bem natural. Este recurso passou a ser utilizado indiscriminadamente, cada vez mais e, somado ao aumento populacional, levou uma crise socioambiental profunda, a qual pode se tornar um dos problemas mais graves a serem enfrentados neste século (BACCI; PATACA, 2008).

¹ Graduando em Engenharia Química no semestre letivo de 2023-01. E-mail: vitorpreuss@hotmail.com

² Professora do Centro Universitário UniSatc. E-mail: aline.melo@satc.edu.br



Segundo Diniz (2009), as tintas flexográficas, no Brasil, são majoritariamente fabricadas a partir de solventes orgânicos oxigenados, condição esta que é extremamente favorável a esse processo de impressão. Contudo, nos últimos anos, questões burocráticas como licenciamentos ambientais, seguros das fábricas, oscilações de preços dos solventes orgânicos e questões trabalhistas foram intensificadas, despertando o interesse do mercado sobre as tintas à base de água.

As tintas que utilizam a água como solvente surgiram a partir da necessidade de reduzir a periculosidade do processo produtivo e a poluição ambiental, em relação às tintas produzidas com solventes orgânicos. As vantagens das tintas base água em relação às tintas base solvente são sua menor toxicidade, redução de periculosidade e poluentes no ar e fácil adaptação às linhas de pintura. A secagem mais lenta surge como uma das principais desvantagens das tintas base água (KAIRALA, 2009).

A partir dessa demanda, empresas consolidadas no mercado de tintas flexográficas base solvente passaram a oferecer também ao mercado as tintas base água. Ao passar a utilizar um recurso natural no processo produtivo, algumas adaptações são necessárias, como por exemplo, a preocupação com a correta destinação de efluentes derivados do processo fabril.

Nesse sentido, este estudo visou determinar o procedimento necessário para implantação de um processo de tratamento de efluentes em uma indústria de tintas de Cocal do Sul (Santa Catarina).

Os efluentes industriais dessa Empresa são gerados nas etapas de limpeza de moinhos e tanques de formulação e, em menor quantidade, do descarte de testes e limpeza de equipamentos laboratoriais. Todo esse efluente é armazenado em um mesmo recipiente, para posterior destinação.

Sem uma ETE (Estação de Tratamento de Efluentes), faz-se necessária a destinação do efluente para empresas especializadas, gerando para a Empresa um custo com esse serviço, além do custo do frete.

Com a realização desse estudo, foi definido um procedimento adequado para a implantação de um processo de tratamento de efluentes, e avaliada a viabilidade industrial e econômica de se realizar o tratamento na própria Empresa, visando redução de custos com descarte e minimização de danos ambientais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 INDÚSTRIA DE TINTAS

De acordo com Donadio e ABRAFATI (2011), a tinta é uma mistura de produtos químicos que é aplicada em superfícies para dar acabamento, resistência ou proteção.

As tintas já eram usadas por sociedades nômades primitivas há cerca de 30.000 anos, principalmente para fins artísticos em pinturas rupestres. Ao longo da história, elas também foram utilizadas para proteger superfícies (MELLO; SUAREZ, 2012).

Durante a Revolução Industrial em 1867, as tintas foram introduzidas no mercado industrial e a produção em larga escala foi facilitada com o desenvolvimento de equipamentos apropriados (DINIZ, 2009).

De acordo com a ABRAFATI (2023), em 2022, o volume de produção de tintas no Brasil foi de 1,647 bilhão de litros, havendo uma redução de 4% em relação ao ano anterior, no qual foram produzidos 1,715 bilhão de litros.

2.1.1 Processo produtivo de tintas flexográficas

A utilização de água como solvente na produção de tintas surgiu como uma resposta à necessidade de reduzir os riscos ambientais e a periculosidade do processo produtivo associados às tintas que utilizam solventes orgânicos. As tintas à base de água oferecem vantagens significativas, como menor toxicidade, redução da emissão de poluentes no ar e menor risco de incêndio. No entanto, a desvantagem é que a secagem pode ser mais lenta do que as tintas à base de solvente (DEUTSCH; CANABRAVA, 2009).

Segundo Lima (2012), a fabricação de tintas é composta por três etapas principais: pré-mistura, moagem e completagem.

Na pré-mistura, o objetivo é incorporar o pigmento em um veículo líquido para obter uma mistura homogênea e estável (LIMA, 2012). Para isso, utilizam-se dispersores de alta velocidade, que com as forças de impacto e atrito, quebra os aglomerados de pigmento (KAIRALLA; et al., 2009).

A moagem é feita por meio de moinhos de bolas, verticais ou horizontais, para obter uma condição das partículas de pigmento finamente divididas (LIMA, 2012).

De acordo com Kairalla et al., (2009), o moinho de bolas é um cilindro giratório horizontal que geralmente é preenchido com bolas de cerâmica ou de aço e utiliza a dispersão da mistura através de impactos e cisalhamento nas paredes internas do moinho. Atualmente, na indústria de tintas, utilizam-se moinhos horizontais de esferas (Fig. 1), mas que seguem o mesmo princípio do moinho de bolas.

Figura 1: Exemplo de moinho de bolas horizontal.



Fonte: Netzsch (2023)

Por fim, na completagem, ocorre a mistura de uma ou mais pastas formadas na moagem, com água, resinas e aditivos, que conferem as propriedades e a cor desejadas à tinta. O controle de qualidade, filtragem e envase são os últimos passos antes da expedição do produto final (LIMA, 2012).

2.2 TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

Na indústria de tintas, a principal fonte de geração de efluentes decorre das operações de limpeza dos equipamentos entre lotes de cores distintas. Quando os equipamentos são esvaziados após o uso e uma nova formulação é requerida, eles são submetidos a lavagem com água, solventes e/ou soluções de NaOH (YAMANAKA et al., 2006).



As águas residuais do setor industrial em geral têm como principais poluentes substâncias orgânicas biodegradáveis, óleos e graxas, sólidos em suspensão, metais, nitrogênio e fósforo, gosto e odor, cor e turbidez e outras substâncias dissolvidas (CAVALCANTI, 2009).

Devido à variedade de matérias-primas utilizadas por diferentes empresas na produção de tintas, a composição dos efluentes gerados durante o processo de lavagem pode variar. No entanto, todos eles apresentam altas concentrações de solventes e sólidos suspensos, geralmente coloridos, que precisam ser tratados (YAMANAKA et al., 2006).

2.2.1 Sistemas de tratamento de efluentes

Os sistemas de tratamento de efluentes industriais são projetados principalmente para cumprir as normas ambientais em vigor. Em determinadas situações, pode-se também visar a possibilidade de reutilização do efluente no próprio processo, após tratamento adequado (GIORDANO, 2004).

O processo de tratamento de efluentes pode ser operado de duas formas: contínuo ou periódico, dependendo da quantidade de efluente gerado diariamente. No tratamento contínuo, os efluentes são tratados constantemente e podem ser retirados do reator de forma contínua ou intermitente, enquanto no tratamento por batelada, ciclos de operações são estabelecidos para realizar todas as etapas do tratamento. Esse tratamento periódico (ou por batelada) consiste em armazenar o efluente por um certo período de tempo antes de tratá-lo, sendo mais utilizado em indústrias com baixas vazões de efluente (NUNES, 2004).

Existem diversas maneiras de remover os contaminantes presentes nos efluentes industriais, que são classificadas em três categorias principais: físicas, químicas e biológicas. Essas técnicas podem ser realizadas através de operações unitárias (métodos físicos) ou processos unitários (métodos químicos e biológicos), que podem ser utilizados de forma isolada ou combinados de diferentes formas (CAVALVANTI, 2009).

De acordo com Nunes (2004), existem diferentes níveis de tratamento para efluentes industriais. O tratamento preliminar, ou físico, tem o objetivo de remover sólidos grossos, flutuantes e materiais sedimentáveis. Equipamentos como grades,



desarenadores, caixas de retenção de óleo e gordura e peneiras são utilizados nessa etapa. Já o tratamento primário, ou físico-químico, tem como objetivo remover matéria orgânica ou inorgânica em suspensão e parcialmente a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio). Esse processo inclui etapas como coagulação, floculação e decantação, e flotação por ar dissolvido. O tratamento secundário, ou biológico, é utilizado para remover matéria orgânica dissolvida e em suspensão. Os métodos mais comuns incluem lodos ativados, lagoas de estabilização, sistemas anaeróbios com alta eficiência, lagoas aeradas e filtros biológicos. Por fim, o tratamento terciário, ou avançado, é aplicado para remover substâncias que não foram removidas nas etapas anteriores ou para obter efluentes de alta qualidade. Métodos como adsorção em carvão ativado, osmose reversa, eletrodialise, troca iônica, filtros de areia, remoção de nutrientes, oxidação química e desinfecção são utilizados.

A sedimentação é um fenômeno físico em que as partículas sólidas suspensas no fluido sofrem ação da força da gravidade, depositando-se no fundo do sistema (DI BERNARDO et al., 2002).

Segundo França e Casqueira (2007), a sedimentação pode ser dividida em cinco etapas:

1. A suspensão encontra-se em fase homogênea, ou seja, todas as partículas sólidas estão dispersas pelo líquido;
2. As partículas mais densas descem para o fundo do recipiente, mas as partículas de menor densidade continuam em suspensão;
3. Essas partículas menos densas lentamente superam o empuxo exercido pelo líquido, e vão também para o fundo do recipiente;
4. Nessa etapa, há o aparecimento da região de compactação das partículas de diferentes densidades;
5. Por fim, ocorre a acomodação do leito sedimentado, e acima desta região, fica o líquido clarificado.

2.3 DESTINAÇÃO DO EFLUENTE TRATADO

Depois de passar pelo processo de tratamento, o efluente pode ser reutilizado no processo produtivo ou em atividades auxiliares, ou então ser descartado

em corpos hídricos. No primeiro caso, o efluente tratado precisa atender aos requisitos específicos do processo ao qual será destinado. Já no segundo caso, ele deve estar em conformidade com os parâmetros estabelecidos pela legislação ambiental aplicável.

A Resolução CONSEMA SC nº 181 dispõe sobre os critérios que o efluente tratado precisa atender para poder ser descartado em corpos hídricos em todo o território do Estado de Santa Catarina. Os critérios estão dispostos na Tab. 1 (SANTA CATARINA, 2021).

Tabela 1: Especificações CONSEMA SC nº 181.

Parâmetro	Especificação
pH	Entre 6 e 7
Óleos (vegetais ou animais)	< 30 mg/L
Cromo hexavalente	< 0,1 mg/L
Cobre total	< 0,5 mg/L
Cádmio total	< 0,1 mg/L
Merúrio total	< 0,005 mg/L
Níquel total	< 1,0 mg/L
Zinco total	< 1,0 mg/L
Arsênio total	< 0,1 mg/L
Prata total	< 0,02 mg/L
Selênio total	< 0,02 mg/L
Manganês +2 solúvel	< 1,0 mg/L
Fenóis	< 0,2 mg/L
Substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno	< 2,0 mg/L
Compostos organofosforados e carbamatos	< 0,1 mg/L
Sulfeto de carbono, etileno	< 1,0 mg/L
Outros compostos organoclorados	< 0,05 mg/L

Fonte: Resolução CONSEMA SC nº 181 (adaptado)

A Resolução CONAMA nº 430 dispõe sobre os requisitos mínimos para a descartabilidade de efluentes em todo o território nacional (BRASIL, 2011). Esses requisitos estão dispostos na Tab. 2.

O CONAMA 430/11 estipula que, além dos parâmetros físico-químicos, é necessário cumprir com os critérios ecotoxicológicos definidos pelas autoridades competentes, a fim de garantir que o efluente não tenha efeitos tóxicos sobre os organismos aquáticos do corpo receptor (BRASIL, 2011).

Ainda, a Portaria FATMA nº 17, de 18 de abril de 2002, estabelece os níveis máximos de toxicidade aguda para os efluentes de diferentes origens em Santa Catarina (SANTA CATARINA, 2002).

Tabela 2: Especificações CONAMA nº 430.

Parâmetro	Especificação
pH	Entre 5 e 9
Temperatura	< 40°C
Óleos vegetais e animais	< 50 mg/L
Óleos minerais	< 20 mg/L
Arsênio total	< 0,5 mg/L
Bário total	< 5,0 mg/L
Boro total (Não se aplica para o lançamento em águas salinas)	< 5,0 mg/L
Cádmio total	< 0,2 mg/L
Chumbo total	< 0,5 mg/L
Cianeto total	< 1,0 mg/L
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	< 0,2 mg/L
Cobre dissolvido	< 1,0 mg/L
Cromo hexavalente	< 0,1 mg/L
Cromo trivalente	< 1,0 mg/L
Estanho total	< 4,0 mg/L
Ferro dissolvido	< 15,0 mg/L
Fluoreto total	< 10,0 mg/L
Manganês dissolvido	< 1,0 mg/L
Mercúrio total	< 0,01 mg/L
Níquel total	< 2,0 mg/L
Nitrogênio amoniacal total	< 20,0 mg/L

Fonte: Resolução CONAMA nº 430 (adaptado).

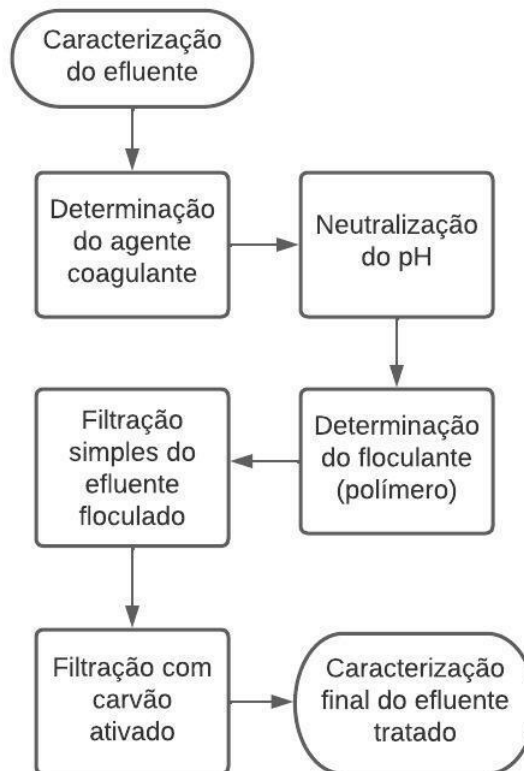
3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a realização da viabilidade industrial e econômica de se realizar o tratamento do efluente na própria Empresa, foram realizados ensaios de clarificação, sedimentação e filtração, seguindo as metodologias apresentadas por Bernardo, Bernardo e Filho (2002), Cavalcanti (2009) e França e Casqueira (2007).

As amostras de efluentes foram coletadas na Empresa Cyan Química LTDA, diretamente dos tambores de armazenamento da água residual da limpeza dos moinhos.

O procedimento laboratorial, para determinar os melhores reagentes e suas dosagens ideais, foi realizado de acordo com o fluxograma apresentado na Fig. 2.

Figura 2: Fluxograma de testes.



Fonte: Do autor (2023)

Para caracterização inicial do efluente, foi aferida sua densidade com o picnômetro, seu pH medido no pHmetro digital, da marca Quimis, modelo Q400MT, e seu percentual de sólidos, utilizando uma balança determinadora de sólidos, da marca Ohaus, modelo MB27, para fins de comparação entre início e fim do processo. Todas as medições foram realizadas em triplicata.

O efluente foi distribuído em dezesseis copos, preenchendo-os com 300 mL em cada copo. Foram testados o PAC (policloreto de alumínio) e o sulfato de alumínio em solução a 20%, em dosagens diferentes: 25, 50, 75, 90, 135, 180, 225 e 270 g.L⁻¹. Agitado por dois minutos em alta rotação, e após cessada a agitação, verificado qual reagente e qual dosagem apresentou melhor coagulação.



Antes de adicionar os floculantes, o pH das misturas foi corrigido com uma solução de hidróxido de sódio 0,1 N, para $7,0 \pm 0,3$, que é a faixa ideal de atuação dos agentes poliméricos.

Com o agente coagulante e sua melhor dosagem definidos, e com o pH da mistura próximo à neutralidade, fez-se outra batelada de dezesseis copos, utilizando essa melhor condição de coagulante em todas as amostras para definir o melhor agente floculante e sua dosagem ideal. Foram testadas as soluções a 0,1% dos polímeros catiônico e aniônico, nas seguintes dosagens: 1, 3, 5 e 10 g.L^{-1} . Agitado por dois minutos em baixa rotação, e após cessada a agitação, verificada a melhor condição de separação de líquido clarificado e flocos.

O líquido devidamente clarificado foi retirado, para que reste apenas o lodo. Esse lodo foi passado por uma filtração simples, utilizando filtro de propileno expandido com $10 \mu\text{m}$ de retenção.

Por fim, com o líquido clarificado (fase separada na sedimentação, juntamente com o filtrado) foi realizada uma segunda filtração, desta vez com carvão ativado.

Além de avaliar novamente a densidade e o pH do efluente em seu estado final (tratado), para comparação ao estado inicial, o efluente tratado foi testado para reutilização em seu processo originário, de limpeza dos moinhos.

A avaliação econômica, da viabilidade do projeto, foi realizada com base na metodologia proposta por Bastos, Silva e Graf (2022):

1. Análise de mercado: Realizar uma pesquisa de mercado, catalogar “concorrentes” do projeto (neste caso empresas de coleta de resíduos) e seus preços;
2. Projeção de custos e investimentos: Verificar o investimento inicial com infraestrutura, os custos de matéria-prima e mão de obra para realização do processo;
3. Projeção de fluxo de caixa: Projetar uma estimativa de redução de custo ao realizar o processo internamente;
4. Avaliação de indicadores: Aplicar o indicador de *Payback*, para analisar a atratividade de se aplicar o projeto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efluente utilizado foi caracterizado conforme descrito no procedimento, e os resultados estão descritos na Tab. 3.

Foram realizados os testes de coagulação com sulfato de alumínio e policloreto de alumínio (PAC). Os resultados obtidos estão descritos no Qd. 1.

Tabela 3: Caracterização do efluente

Propriedade	Resultados			
	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média
Densidade	1016,9 kg/m ³	1017,4 kg/m ³	1017,0 kg/m ³	1017,1 kg/m ³
pH	8,4	8,5	8,5	8,5
Teor de sólido	3,92%	3,98%	4,16%	4,02%

Fonte: Do autor (2023)

Quadro 1: Resultados do teste de coagulação.

Qtd (g.L ⁻¹)	Sulfato de alumínio	Policloreto de alumínio (PAC)
25	Sem efeito	Espessamento, sem coagulação
50	Sem efeito	Espessamento, sem coagulação
75	Leve coagulação, sem separação	Espessamento, sem coagulação
90	Coagulação (7,8 cm de lodo)	Espessamento, sem coagulação
135	Coagulação (7,9 cm de lodo)	Espessamento, sem coagulação
180	Coagulação (8,0 cm de lodo)	Espessamento, sem coagulação
225	Coagulação (8,0 cm de lodo)	Espessamento, sem coagulação
270	Coagulação (8,5 cm de lodo)	Espessamento, sem coagulação

Fonte: Do autor (2023)

Os resultados negativos obtidos com o PAC possivelmente ocorreram porque o policloreto de alumínio possui uma fase polimérica de alto peso molecular, ideal para espessar as partículas coaguladas, facilitando processos de filtração forçada como filtros prensa ou filtros esteira, mas que acaba dificultando os processos por densidade.

O sulfato de alumínio começou a apresentar eficiência a partir da dosagem de 75 g por litro de efluente, porém nesta dosagem não apresentou separação de fases.

A partir de 90 g.L⁻¹, ocorreu a separação do efluente em uma fase líquida sobrenadante, e o lodo sedimentado. Como todos os recipientes de teste receberam

o mesmo volume de efluente, quanto menor a altura do lodo, considera-se que ocorreu uma melhor separação.

Neste sentido, analisando os resultados do sulfato de alumínio no Qd. 1, e a Fig. 2, a menor altura de lodo foi com a dosagem de 90 g.L⁻¹. Segundo Fernandes (2011), a subdosagem do coagulante faz com que a desestabilização dos coloides em suspensão não seja suficiente, enquanto a superdosagem, além de ser economicamente custosa, tende a formar flocos morfologicamente mais irregulares e porosos, o que justifica a altura do lodo ser levemente superior nas dosagens mais altas.

Figura 2: Separação de fases com sulfato de alumínio – 90 a 180 g.L⁻¹.



Fonte: Do autor (2023)

Sendo também a situação de menor adição, 90 g/L dosagem adotada para a continuidade dos testes.

Devido ao baixo pH do sulfato de alumínio, o pH da solução nessa etapa encontrava-se em 3,5. Antes da adição dos floculantes, o pH foi corrigido para 7,3 com a adição de 35g de solução 0,1N de hidróxido de sódio.

Após a adição dos floculantes em agitação branda por dois minutos, não foi possível verificar de imediato quais resultados foram ou não satisfatórios, já que apenas a amostra em que foi adicionado o polímero catiônico 1 g.L⁻¹ apresentou alguma separação, enquanto todos os demais estavam visivelmente floculados, mas os flocos não chegavam a sedimentar ou flotar.

Por conta disso todos os testes foram submetidos à etapa seguinte, da filtração simples, para verificar se houve uma melhor formação de flocos filtráveis em alguma das dosagens. Os resultados estão dispostos no Qd. 2.

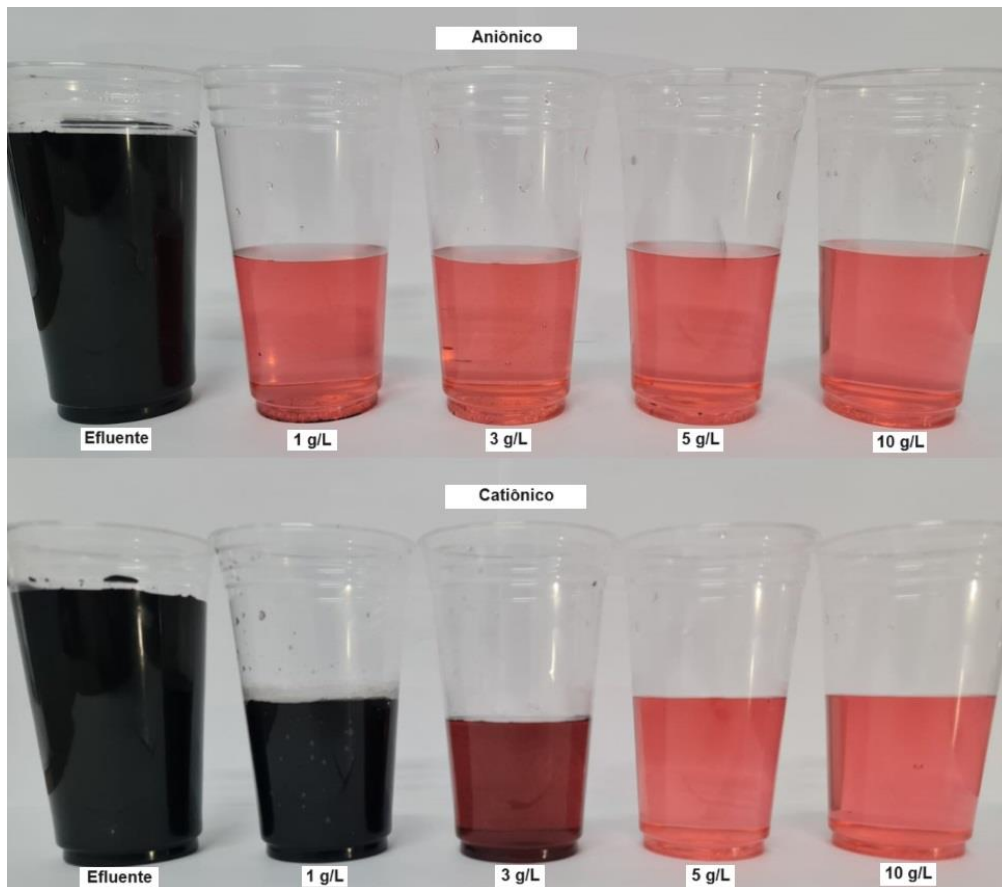
Quadro 2: Resultados do teste de floculação após filtração.

Qtd (g.L ⁻¹)	Polímero catiônico	Polímero aniônico
1	Reteve boa parte da borra, mas o líquido passante continuou escuro e turvo	Líquido passante claro e translúcido, levemente avermelhado
3	O líquido passante perdeu boa parte da cor e turbidez	Líquido passante claro e translúcido, levemente avermelhado
5	Líquido passante claro e translúcido, levemente avermelhado	Líquido passante claro e translúcido, levemente avermelhado
10	Líquido passante claro e translúcido, levemente avermelhado	Líquido passante claro e translúcido, levemente avermelhado

Fonte: Do autor (2023)

Os resultados descritos no Qd. 2 podem ser verificados também nas imagens da Fig. 3.

Figura 3: Resultados do teste de floculação após filtração.



Fonte: Do autor (2023)

O polímero catiônico na concentração de 1 g.L^{-1} foi o único que antes da filtração apresentava separação de fases, e foi o que obteve o pior resultado após a filtração. Isso pode ter ocorrido porque nessa concentração, foram formados flocos muito pequenos, que não foram retidos no filtro.

Na concentração acima de 5 g.L^{-1} , o resultado foi satisfatório, restando apenas uma coloração residual.

O polímero aniônico apresentou resultado satisfatório mesmo na dosagem mais baixa, de 1 g.L^{-1} , resultado que se manteve estável em todas as dosagens.

O melhor desempenho do polímero aniônico em relação ao catiônico provavelmente se deve à natureza das cargas da suspensão, que sendo predominantemente positivas, sofrem maior influência do polímero aniônico, que é carregado negativamente.

Por ser uma baixa dosagem, e tecnicamente eficiente, optou-se por utilizar o polímero aniônico na dosagem de 1 g.L^{-1} .

Por fim, foi realizada uma segunda filtração, utilizando carvão ativado como adsorvente, a fim de remover a coloração residual.

O produto dessa filtração foi um líquido límpido e inodoro. Na Fig. 4 mostra-se uma comparação visual entre o efluente inicial, o produto da filtração simples, e o produto da filtração com carvão ativado.

Figura 4: Comparação visual das etapas de tratamento: da esquerda para a direita, (a) efluente inicial; (b) efluente após tratamento físico-químico; (c) efluente após tratamento avançado.



Fonte: Do autor (2023)

A caracterização do produto foi refeita, conforme a inicial, e os resultados estão descritos na Tab. 4.

Tabela 4: Caracterização do produto.

Propriedade	Resultados			
	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média
Densidade	1004,4 kg/m ³	1003,9 kg/m ³	1004,1 kg/m ³	1004,1 kg/m ³
pH	7,3	7,3	7,3	7,3
Teor de sólido	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Fonte: Do autor (2023)



Para avaliar a eficiência do efluente tratado para reuso na limpeza dos moinhos, esse procedimento foi replicado em escala para 2 L, e o efluente tratado foi utilizado para limpar um moinho de laboratório da marca Netzsch, modelo MiniZeta.

Nessa limpeza do equipamento, o efluente tratado obteve o mesmo desempenho que a água virgem, não sendo percebida nenhuma dificuldade pelo operador.

Foi avaliada ainda a utilização do efluente tratado para diluição de uma tinta base água em 20% m/m, para certificar-se que não haveria problema de incompatibilidade caso restasse alguma quantidade de água dentro dos moinhos após a limpeza. Nesse teste também não foi detectada nenhuma divergência.

Uma análise de mercado foi feita com três empresas de Santa Catarina que terceirizam o descarte de efluente na região, uma da cidade de Cocal do Sul, uma de Forquilha e uma de Brusque, que serão referenciadas como 1, 2 e 3, respectivamente. Os orçamentos realizados estão dispostos na Tab. 5.

Tabela 5: Análise de mercado.

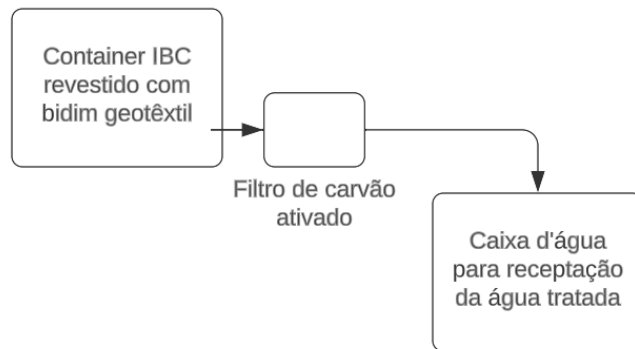
Empresa	Localidade	Preço
1	Cocal do Sul	R\$670,00/m ³ + frete
2	Forquilha	R\$350,00/m ³ + frete
3	Brusque	R\$780,00/m ³ + frete

Fonte: Do autor (2023)

Na sequência, foram levantados os custos com investimento inicial, com infraestrutura, os custos operacionais e de matérias-primas.

A única etapa que necessita de uma estrutura específica é a filtração. Essa estrutura consiste em um container IBC de 1 m³ com registro, revestido internamente com uma manta de bidim geotêxtil, uma caixa d'água de 1 m³, um filtro de carvão ativado e uma bomba de 1,0 Cv para transferência da água tratada para outro recipiente. Um esquema simplificado do funcionamento desse sistema de filtração está representado na Fig. 5.

Figura 5: Esquema do sistema de filtração.



Fonte: Do autor (2023)

Os investimentos iniciais necessários estão dispostos na Tab. 6.

Tabela 6: Investimentos em infraestrutura.

Item	Preço	Durabilidade
Container IBC 1 m ³	R\$ 1.200,00	Indefinida
Manta de bidim geotêxtil - 69 m ²	R\$ 284,00	Indefinida
Caixa d'água 1 m ³	R\$ 369,00	Indefinida
Filtro de carvão ativado	R\$ 266,00	6 meses
Bomba 1,0 Cv	R\$ 683,00	Indefinida
Total	R\$ 2.802,00	

Fonte: Do autor (2023)

A durabilidade da manta foi considerada indefinida porque dependerá do entupimento dos poros ao longo do uso, porém com uma compra é possível fazer dez substituições.

Os custos das matérias-primas, bem como seus custos por m³ de efluente estão dispostos na Tab. 7.

Tabela 7: Custos de matérias-primas.

Matérias-primas	Preço	Uso	Preço por m ³
Sulfato de Alumínio	R\$ 11,50/Kg	Sol. 20% - 90 Kg/m ³	R\$ 207,00
Polímero aniônico	R\$ 54,00/Kg	Sol. 0,1% - 1 Kg/m ³	R\$ 0,054
Hidróxido de sódio	R\$ 12,50/Kg	Sol. 0,1N - 35 Kg/m ³	R\$ 70,00
Total			R\$ 277,05

Fonte: Do autor (2023)



Não serão considerados custos de mão de obra, uma vez que por ser um processo por demanda, e não diário, não é necessário um operador dedicado para esse trabalho.

Comparando-se com a empresa terceirizada de menor custo da Tab. 5, obtém-se uma redução de R\$ 72,95/m³.

Baseando-se na demanda dos meses de setembro e outubro de 2023, nos quais foram gerados em média 4 m³ de efluente mensal, verifica-se uma redução de custos de R\$ 291,80 mensalmente.

Para o cálculo do payback, divide-se o capital investido pelo fluxo de caixa médio, que neste caso é a redução de custos. Para esse cálculo, será considerado um capital investido de R\$ 3068,00, referente ao calculado na Tab. 6 mais a aquisição de um segundo filtro de carvão ativado, devido a sua durabilidade limitada.

Com isso, calcula-se um payback de 10,5 meses para a demanda mensal atual. Ressaltando que quanto mais crescer a demanda mensal, menor será o tempo para o payback.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo objetivou avaliar a melhor condição de reagentes e a viabilidade do tratamento de efluentes gerados na limpeza de equipamentos industriais durante a fabricação de tintas flexográficas base água.

Inicialmente, avaliou-se a eficiência dos coagulantes sulfato de alumínio contra o policloreto de alumínio, em diversas dosagens. Nessa etapa, definiu-se que o sulfato de alumínio na dosagem de 90 g.L⁻¹ apresentou o melhor resultado.

Em seguida, foram testados os polímeros catiônicos e aniônicos, como floculantes, em quatro dosagens diferentes. Assim definindo-se o polímero aniônico na dosagem de 1 g.L⁻¹ como ideal.

Os resultados dos ensaios mostraram que a técnica, composta por coagulação, floculação, filtração simples e adsorção em carvão ativado, foi eficiente para a completa separação e clarificação do efluente.

O efluente tratado foi testado para reutilização na limpeza dos moinhos, seu processo originário, não apresentando nenhum ônus em sua utilização se comparado a água virgem.



Economicamente, calculou-se uma redução de custos mensais no valor de R\$ 291,80, com o projeto alcançando seu payback no período de 10,5 meses.

O maior custo envolvido na execução do projeto vem do coagulante, sendo assim, para um aprimoramento do projeto, sugere-se um estudo mais aprofundado na etapa de coagulação, a fim de reduzir ainda mais os custos de operação.

Para um próximo estudo, sugere-se ainda avaliar a possibilidade de utilização da borra formada em outras áreas da indústria, a fim de tornar o processo ainda mais sustentável, ambientalmente e economicamente.

REFERÊNCIAS

- ABRAFATI. **Dados do setor**. São Paulo, SP: 2023. Disponível em: <<https://abrafati.com.br/setor-de-tintas/dados-do-setor/>> Acesso em: 15 abr. 2023.
- BACCI, Denise De La Corte; PATACA, Ermelinda Moutinho. **Educação para a água**. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a14.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2023.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 430**, de 13 de maio de 2011: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Ministério do Meio Ambiente. 2011.
- BASTOS, Pedro; SILVA, Carlos Eduardo; GRAF, Catarina. **Estudo de Viabilidade Econômica: O que é e como fazer antes de tomar uma decisão**. Brasília, 2022. Disponível em: <<https://econsult.org.br/blog/estudo-de-viabilidade-economica/>> Acesso em: 20 mai. 2023
- BERNARDO, Luiz Di; BERNARDO, Angela Di; FILHO, Paulo Luiz Centurione. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos, SP: RiMA, 2002. 237 p.
- CAVALCANTI, José Eduardo W. A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. São Paulo: Engenho, 2009. 453 p.
- DEUTSCH, Paul; CANABRAVA, Wilson M. Tintas e vernizes aquosos. In: FAZENDA, Jorge M. R. **Tintas e vernizes: Ciência e tecnologia**. 4. ed. São Paulo: Blücher, 2009. Cap. 22
- DINIZ, Francisco D. Introdução, história e composição básica. In: FAZENDA, Jorge M. R. **Tintas e vernizes: Ciência e tecnologia**. 4. ed. São Paulo: Blücher, 2009. Cap. 1
- DONADIO, P. A., ABRAFATI. **Manual básico sobre tintas**. Guia química, 2011. Disponível em: <https://silo.tips/queue/manual-basico-sobre-tintas?&queue_id=1&v=1682357077&u=MTc3LjE4NC4xNDQuOTQ=>>. Acesso em: 09 abr. 2023
- FERNANDES, Neusa Margarete Gomes; GINORIS, Yovanka Perez; RIOS, Rosely Harumi Tango; BRANDÃO, Cristina Célia Silveira. Influência do pH de coagulação e da dose de sulfato de alumínio na remoção de oocistos de *Cryptosporidium* por filtração direta descendente. In.: **Engenharia Sanitária Ambiental** 15.ed. Brasília: UnB, 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/qjc6TXCqSjbgyt8k53kS39F/?format=pdf&lang=pt>>
- FRANÇA, Sílvia Cristina Alves; CASQUEIRA, Rui de Góes. **Ensaio de Sedimentação**. In.: CETEM. Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais. Rio de Janeiro, 2007. cap. 23. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1068>>. Acesso em: 06 mai. 2023.



GIORDANO, Gandhi. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Rio de Janeiro, 2004. 81p. Disponível em:

<<http://72.29.69.19/~nead/disci/gesamb/doc/mod7/2.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2023.

KAIRALLA, Ricardo Bernardo; MACHADO, Jonatas Rodrigues. Princípios de formulações. In: FAZENDA, Jorge M. R. **Tintas e Vernizes: Ciência e Tecnologia**. 4. ed. São Paulo: Blücher, 2009. Cap. 15.

KAIRALLA, Ricardo Bernardo; GIANFARDONI, Ana Lúcia Cardoso; PRADO, Paulo Sérgio do; TIANO, Paulo César Maziero. Processo de fabricação. In: FAZENDA, Jorge M. R. **Tintas e Vernizes: Ciência e Tecnologia**. 4. ed. São Paulo: Blücher, 2009. Cap. 16.

LIMA, Geonir Moreira de. **Produção de tintas e sua correlação com os materiais poliméricos**. 2012. 87 f. TCC (Graduação) – Curso de Tecnologia em Polímeros, Faculdade de Tecnologia de Sorocaba, Sorocaba, 2012. Disponível em:

<<https://fatecsorocaba.edu.br/principal/pesquisas/nuplas/dissertacoes/TCCs1sem2012/Geonir%20Moreira%20de%20Lima.pdf>>. Acesso em: 09 abr. 2023.

MELLO, V. M., SUAREZ, P. A. Z. **As formulações de tintas expressivas através da história**. Revista Virtual de Química, Brasília, v. 4, n. 1, p. 2-12, mar. 2012.

Disponível em: <<https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/248/218>>.

Acesso em: 09 abr. 2023.

NUNES, José Alves. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 4ª ed. Aracaju, SE: Gráfica Editora J. Andrade, 2004. 298 p.

SANTA CATARINA. **Portaria FATMA nº 17**, de 18 de abril de 2002: Estabelece os Limites Máximos de Toxicidade Aguda para efluentes de diferentes origens e dá outras providências. Fundação do Meio Ambiente. 2002.

SANTA CATARINA. **Resolução CONSEMA SC nº 181**, de 02 de agosto de 2021: Estabelece as diretrizes para os padrões de lançamento de efluentes. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. 2021.

YAMANAKA, Hélio Tadashi; BARBOSA, Fábio Saad; BETTIOL, Neliane L. S.; TAMDJIAN, Renata M. Mariano; FAZENDA, Jorge; BONFIM, Gisele; FURLANETI, Fernando; SILVA, Luis Eugênio P.; MARTINS, Jaime; SICOLIN, Airton; BEGER, Ricardo. **Guia Técnico Ambiental Tintas e Vernizes – Série P+L**. São Paulo: Fiesp/Sesi/Senai/IRS, 2006, 70 p. Disponível em:

<<https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/tintas.pdf>>. Acesso em: 09 abr. 2023