



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

MAÉCIO RODRIGUES GUEDES

**ESTUDO SOBRE OS PROCESSOS DE COAGULAÇÃO, FLOCULAÇÃO E
DECANTAÇÃO PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES GERADOS EM UMA
INDÚSTRIA DE TINTAS LOCAL**

João Pessoa, 2018

MAÉCIO RODRIGUES GUEDES

**ESTUDO SOBRE OS PROCESSOS DE COAGULAÇÃO, FLOCULAÇÃO E
DECANTAÇÃO PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES GERADOS EM UMA
INDÚSTRIA DE TINTAS LOCAL**

Trabalho final de curso, submetida à Universidade Federal da Paraíba, Ciência e Tecnologia, João Pessoa – PB, para obtenção do título de bacharel em Engenharia química.

Área de concentração: Tratamento de Efluentes industrial

Linha de pesquisa: processos de coagulação, floculação e decantação.

ORIENTADOR: Prof. Dr Vital de Sousa Queiroz.

João Pessoa, 2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

G924e Guedes, Maecio Rodrigues.

Estudo sobre os processos de coagulação, floculação e decantação para o tratamento de efluentes gerados em uma indústria de tintas local / Maecio Rodrigues Guedes. - João Pessoa, 2018.

50 f.

Orientação: Prof Dr Vital de Sousa Queiroz.
Monografia (Graduação) - UFPB/Tecnologia.

1. Indústria de tintas. 2. Efluentes. 3. Tratamento físico-químico. 4. Coagulação/Floculação. I. Queiroz, Prof Dr Vital de Sousa. II. Título.

UFPB/BC

MAÉCIO RODRIGUES GUEDES

**ESTUDO SOBRE OS PROCESSOS DE COAGULAÇÃO, FLOCULAÇÃO E
DECANTAÇÃO PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES GERADOS EM UMA
INDÚSTRIA DE TINTAS LOCAL**

Trabalho final de curso, submetida à
Universidade Federal da Paraíba,
Ciência e Tecnologia, João Pessoa – PB,
para obtenção do título de bacharel em
Engenharia química.

Trabalho final de curso, aprovado em: 29/08/2018

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Vital de Sousa Queiroz (UFPB/CT/DEQ)

(Orientador)



Prof. Dr. Genaro Zenaide Clericuzi (UFPB/CT/DEQ)

(Avaliador)



Prof. Dr.ª Veruska Araujo Silva (UFPB/CT/DEQ)

(Avaliadora)

João Pessoa, 2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e da persistência. Aos meus pais, Geraldo e Nazaré, obrigada pela oportunidade, pelo amor e apoio incondicional. Aos meus irmãos, obrigado por ser meu motivo de tentar sempre ser uma pessoa melhor. Aos professores componentes da banca, pela disposição para a avaliação deste trabalho e pelas valiosas observações e sugestões. Ao Professor Vital de Sousa Queiroz pela disponibilidade em sempre passar seu conhecimento e me orientar durante o trabalho final de curso.

RESUMO

Nas últimas décadas a indústria de tintas conseguiu avanços atribuídos à pesquisa científica e à aplicação da engenharia moderna. Este grande crescimento industrial trouxe também aumento no volume de resíduos gerados, os quais quando não corretamente dispostos ou tratados, podem causar sérios problemas de contaminação ambiental. Em função da crescente preocupação com o meio ambiente diversas tecnologias de tratamento de efluentes industriais estão sendo desenvolvidas, visando minimizar os impactos gerados sobre os recursos hídricos. Em meio às diversas tecnologias estudadas, os Processos físico-químicos têm recebido considerável atenção. Este trabalho teve como objetivo realizar ensaios para o tratamento do efluente gerado no processo produtivo de tintas acrílicas e esmaltes em uma indústria de tintas local, em escala de bancada, a fim de verificar a possibilidade do reuso do efluente líquido clarificado e do lodo gerado. Foram realizados ensaios de clarificação com auxílio do equipamento Jar Test utilizando dois coagulantes, cloreto férrico e sulfato de alumínio e um floculante catiônico poliacrilamida (PAM), para encontrar a dosagem ótima para um melhor desempenho no tratamento do efluente. Também foram realizados ensaios laboratoriais de prognóstico de geração de lodo para a estação de tratamento de efluente que deve ser implantada. Os resultados obtidos indicam que os coagulantes com o auxílio do floculante são eficientes na remoção de turbidez para o tratamento do efluente oriundo do processo de produção de tintas, os coagulantes cloreto férrico e sulfato de alumínio apresentaram eficiências de redução de turbidez de 99,96 % e 99,83 % respectivamente. O agente coagulante cloreto férrico apresentou na concentração ótima de operação da ETE um maior percentual de remoção de turbidez 99,91 % e menor custos de implementação R\$ 22,89, comparando-se com os resultados obtidos com o sulfato de alumínio, 99,95 % de remoção de turbidez e custo associado de R\$ 29,04.

Palavras-chave: Indústria de tintas, Efluente, Tratamento físico-químico, Coagulação, floculação.

ABSTRACT

In the last decades the paint industry has achieved advances attributed to scientific research and the application of modern engineering . This large industrial growth also brought about an increase in the volume of waste generated, which when not correctly disposed or treated, can cause serious problems of environmental contamination. Due to the growing concern with the environment, several industrial effluent treatment technologies are being developed to minimize the impacts on water resources. Among the various technologies studied, physico-chemical processes have received considerable attention. This work had as objective to carry out tests for the treatment of the effluent generated in the production process of acrylic paints and enamels in a local paints scale industry, in order to verify the possibility of the reuse of the clarified liquid effluent and the generated sludge. Clarification tests were performed using the Jar Test equipment using two coagulants, ferric chloride and aluminum sulfate and a cationic flocculant poliacrilamida (PAM), to find the optimum dosage for a better performance in the effluent treatment. Also, laboratory tests were carried out on the prognosis of sludge generation for the effluent treatment plant to be implanted. The results indicate that the coagulants with the aid of the flocculant are efficient in the removal of turbidity for the treatment of the effluent from the paint production process, the coagulants ferric chloride and aluminum sulphate presented turbidity reduction efficiencies of 99.96% and 99.83% respectively. The ferric chloride coagulant agent presented a higher percentage of turbidity removal 99.91% and a lower implementation cost of R\$ 22.89, compared to the results obtained with aluminum sulphate 99, 95% turbidity removal and associated cost of R\$ 29.04.

Keywords: Paint Industry, Efluente, treatment physical-chemical, Coagulation, Flocculation

SUMÁRIO

1.1	Objetivo geral	11
1.2	Objetivos específicos	11
2	REVISÕES BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	Recursos hídrico	12
2.2	A indústria de tintas e a questão ambiental	14
2.3	Componentes básicos da tinta	16
2.3.1	Resinas	17
2.3.2	Pigmentos	18
2.3.3	Aditivos	19
2.3.4	Solventes	20
2.4	Processos de fabricação de tintas	20
2.4.1	Fabricação de tinta à base de água	21
2.4.2	Pré-mistura e dispersão	21
2.4.3	Completagem	22
2.4.4	Filtrações e envase	22
2.5	Métodos para tratamento de efluentes	22
2.6	Processo de tratamento físico-químico do efluente	23
2.6.1	Coagulação e Floculação	24
2.6.2	Coagulantes	24
2.7	Características de sais de alumínio e ferro	26
2.7.1	Sulfatos de Alumínio	26
2.7.2	Cloreto Férrico	27
2.8	Características Químicas do Efluente	28
2.8.1	pH	28
2.8.2	Turbidez	29
2.8.3	Sólidos e Sólidos Voláteis	29
3	METODOLOGIA	31
3.1	Efluente	31
3.2	Instrumentação e equipamentos	31
3.3	Reagentes	31
3.4	Ensaio de coagulação precipitação	32
3.5	Sólidos sedimentáveis	33
3.6	Volumes de lodo e massa de resíduo seco retidos em Cone Imhoff	33

3.7 Volume de lodo e massa de resíduo seco retidos em cone de Imhoff com o auxílio de coagulante e floculante.....	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 Testes iniciais para determinação das melhores faixas de remoção para os diferentes coagulantes.....	35
4.2 Caracterização do efluente	35
4.3 Ensaios de precipitação.....	35
4.4 Ensaios para obtenção dos dados quantitativos de remoção de turbidez.	36
4.4.1 Coagulante sulfato de alumínio.....	36
4.4.2 Coagulante cloreto férrico.....	37
4.5 Comportamentos do pH nos ensaios.....	38
4.6 Custos associados ao tratamento do efluente.....	39
4.7 Resultados dos ensaios de prognóstico de geração de lodo.....	41
4.7.1 Volume e massa de resíduo seco retido no Cone de Imhoff	41
4.7.2 Volume e massa de resíduo seco retidos no Cone Imhoff com auxílio de coagulante e floculante.	41
4.7.3 Volume e massa de resíduo seco total.....	41
5 CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS	45
ANEXO – FLUXOGRAMA DA ETE.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição da água no mundo	12
Figura 2: Fabrica de Tintas Industriais	16
Figura 3: Composição genérica de uma tinta	17
Figura 4: Cowless para dispersão	21
Figura 5 - Fluxograma de processo de fabricação de tinta	22
Figura 6: Diagrama de coagulação	25
Figura 7: Aparato experimental utilizado nos ensaios de coagulação/floculação	32
Figura 8: Ensaios de coagulação/floculação.....	33
Figura 9: Sólidos sedimentáveis, efluente tratado.....	34
Figura 10: Percentual de remoção de turbidez utilizando o coagulante sulfato de alumínio. ...	36
Figura 11: Percentual de remoção de turbidez utilizando o coagulante cloreto férrico	37
Figura 12: Perfil de pH para diferentes concentrações de cloreto férrico	38
Figura 13: Variação do pH para diferentes concentrações de sulfato de alumínio	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição físico-química do sulfato de alumínio líquido.....	27
Tabela 2 - Propriedade e especificações do cloreto férrico	28
Tabela 3 - Concentração de cada coagulante avaliado	32
Tabela 4 - Características das águas de lavagem do efluente.....	35
Tabela 5 - Principais coagulantes e sua faixa de pH de uso	36
Tabela 6 – Características do efluente após ensaios de coagulação/floculação	40
Tabela 7 – Quantidade de cloreto férrico e floculante catiônico em kg a serem usados na linha de tratamento e os custos em Reais (R\$) por dia.....	40
Tabela 8 – Quantidade de sulfato de alumínio e floculante catiônico em kg a serem usados na linha de tratamento e o custo em reais por dia.	40
Tabela 9 - Resíduo seco obtido no ensaio de com Cone de Imhoff utilizando-se o efluente bruto e tratado, bem como o prognóstico de geração de lodo seco gerado na ETE.	41
Tabela 10 - volume total de lodo do efluente retido no cone Imhoff com e sem adição de reagentes, bem como o prognóstico de geração de volume de lodo diariamente na ETE.....	42

1 INTRODUÇÃO

Os efluentes líquidos oriundos de uma grande variedade de processos, são responsáveis por grande parte da poluição dos recursos hídricos do planeta, gerando assim a necessidade de desenvolvimento de métodos de tratamento de efluente que eliminem ou reduzam os impactos promovidos por tais efluentes.

Estima-se que uma indústria de tintas de grande porte gere 320 m³/mês de efluente. Além disso, dada a constante pressão do mercado por produtos de baixo custo, algumas empresas ainda utilizam-se de pigmentos a base de metais pesados como chumbo ou cádmio, que associam baixo custo com boas características como resistência a intempéries e solidez a luz. Muitos desses produtos podem ser tóxicos ou biodegradáveis (MANSILLA et al., 2001). Por isso é importante manter a qualidade da água que é imprescindível para o ser humano.

De acordo com a resolução CONAMA 430/2011, artigo 3º, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento. Com isso, observa-se que há um interesse crescente por parte das empresas em reduzir os impactos ambientais gerados. Di Bernardo et al (1993), diz que dentre os vários processos de tratamento de efluentes, destacam-se um tratamento físico que é caracterizado por métodos de separação de fases: sedimentação seguida pelo processo de coagulação.

A determinação da turbidez permite evidenciar alterações na água. A água que possui turbidez faz com que as partículas em suspensão reflitam a luz, fazendo com que a esta não chegue aos organismos aquáticos. Para Santos et al. (2007), alguns vírus e bactérias podem se alojar nas partículas em suspensão, se protegendo da ação de desinfetantes, passando a turbidez a ser considerada também sob o ponto de vista sanitário.

Um das operações unitárias mais utilizadas na indústria química é a sedimentação. Nela, as fases sólida e líquida são separadas devido à diferença de peso. Os sedimentadores apresentam geralmente operação contínua, apresentando uma parte cilíndrica e outra cônica, esta com a função de facilitar a retirada da corrente de fundo do equipamento. A parte superior do equipamento é dotada de um vertedouro por onde transborda a corrente de líquido clarificado. A alimentação pode ser feita no topo ou interior do mesmo.

Segundo Pavanelli (2001) as dispersões coloidais que são partículas que tem tamanho bastante reduzido, levariam um tempo muito longo para sedimentar, inviabilizando sua remoção somente por sedimentação. Com o auxílio de produtos químicos, pode-se promover

a união destas partículas, adicionando-se o produto químico no efluente bruto, e rapidamente procurando-se homogeneizar a mistura mecânica ou hidráulicamente, este processo é denominado coagulação. Após a coagulação ocorre o processo físico chamado floculação que promove a aglutinação das partículas já coaguladas, facilitando o choque entre as mesmas devido à agitação lenta imposta ao escoamento do efluente. O Sulfato de alumínio, cloreto férrico e cloreto de alumínio são os agentes mais habitualmente utilizados. Para isso é importante manter o controle do pH.

Com o auxílio do agente coagulante o floco então aumenta de tamanho e precipita, levando consigo qualquer material insolúvel que tenha sido aprisionado na etapa de crescimento. Como auxiliares da floculação podem ser utilizados polímeros sintéticos, que são substâncias químicas orgânicas de cadeia longa e alto peso molecular, polieletrólitos são classificados de acordo com a carga elétrica na cadeia do polímero, os carregados positivamente são chamados de catiônicos, e os que não possuem carga elétrica são os não iônicos, estes favorecem o aumento dos flocos e por consequência diminuem o tempo de sedimentação.

1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo o estudo e o desenvolvimento de um processo de tratamento de efluente líquido de uma indústria de tinta local, utilizando processos físico-químicos de coagulação/ floculação e decantação.

1.2 Objetivos específicos

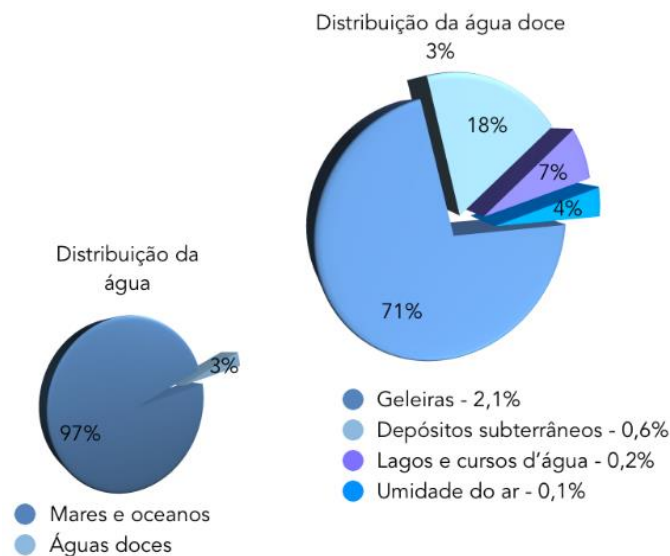
- Diagnosticar o impacto do efluente líquido no meio ambiente.
- Avaliar e determinar o consumo de reagente a ser utilizado na ETE.
- Estimar a quantidade de resíduos sólidos que ficara retido no decantador.
- Verificar a eficiência do tratamento proposto para fins de reuso do efluente.

2 REVISÕES BIBLIOGRÁFICA

2.1 Recursos hídrico

A água apresenta-se em grande quantidade na natureza, podendo ser encontrada nos estados físicos: sólido (gelo), gasoso (vapor) e líquido. É utilizada para consumo humano e para atividades socioeconômicas, podendo ser captada de rios, lagos, represas e aquíferos, também conhecidos como águas subterrâneas. Apenas 3% da água existente na terra é considerada “doce”. Mas somente 0,8% está localizada em lagos, rios e depósitos subterrâneos. A grande parte da água doce está localizada em geleiras (C2ENGENHARIA .2018).

Figura 1: Distribuição da água no mundo



Fonte: C2ENGENHARIA (2018).

As fontes hídricas são abundantes, porém mal distribuídas na superfície do planeta, o que explica a falta dela em algumas regiões. Em algumas áreas, as retiradas são bem maiores que a oferta, causando um desequilíbrio nos recursos hídricos disponíveis. Esses recursos hídricos são de fundamental importância no desenvolvimento de diversas atividades econômicas, pois abrange toda uma cadeia produtiva.

As perspectivas de escassez e degradação da qualidade dos recursos hídricos do planeta colocaram no centro das discussões globais as necessidades de adoção do planejamento e do manejo integrado dos recursos hídricos. As estimativas do Programa de

Desenvolvimento das Nações Unidas apontam que até o ano de 2025 o número de pessoas que vivem em países submetidos à grande pressão sobre os recursos hídricos passará de aproximadamente 700 milhões atuais para mais de três bilhões. No Brasil, a situação é mais confortável em comparação a outras partes do planeta. O Brasil conta com aproximadamente 12% dos recursos hídricos do planeta.

De acordo com a Organização das Nações Unidas, cada pessoa necessita de 3,3m³/pessoa/mês (cerca de 110 litros de água por dia para atender as necessidades de consumo e higiene). No entanto, no Brasil, o consumo por pessoa pode chegar a mais de 200 litros/dia (PORTAL RTS-REDE DE TECNOLOGIA SOCIAL, 2012). O consumo humano, na média nacional, equivale a cerca de 1/3 do total de água utilizada no Brasil. No caso da irrigação, consomem-se 65% dos recursos e as atividades industriais, 18% (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2018).

Nas duas últimas décadas, foram desenvolvidos mecanismos e ações direcionadas para tornar a água de boa qualidade disponível para as gerações atuais e futuras, diminuindo os conflitos do uso da água e ampliando a percepção da conservação da água como um valor social e ambiental de grande valor.

Na indústria, a água é fundamental. A utilização de água pela indústria pode ocorrer de diversas formas, tais como: incorporação ao produto; lavagens de máquinas, tubulações e pisos; águas de sistemas de resfriamento e geradores de vapor; águas utilizadas diretamente nas etapas do processo industrial; esgotos sanitários gerados pelos funcionários. Exceto pelos volumes de águas incorporados aos produtos e pelas perdas por evaporação, as águas tornam-se contaminadas por resíduos do processo industrial originando assim os efluentes líquidos (TUNDIZI et al., 2008).

Os efluentes quando não devidamente tratados ou adequadamente dispostos, podem causar sérios problemas de contaminação ambiental. No Brasil a resolução federal CONAMA 357 / 05 estabelece os padrões de qualidade de efluentes para lançamento em corpos d'água.

Segundo o artigo 34 capítulo VI da resolução do CONAMA, sobre o descarte de efluentes, qualquer fonte poluidora somente poderá ser lançada diretamente no corpo receptor se estiverem de acordo com os seguintes padrões:

I - condições de lançamento de efluentes:

a) pH entre 5 e 9;

- b) Temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- c) Materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- d) No regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;
- e) Óleos e graxas:
- Óleos minerais: até 20 mg/L;
 - Óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;
- f) Ausência de materiais flutuantes;
- g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.

2.2 A indústria de tintas e a questão ambiental

A tinta é uma composição líquida e viscosa devidamente estabilizada, constituída de um ou mais pigmentos dispersos em um aglomerado líquido que ao sofrer um processo de cura, forma um filme fosco ou brilhante que adere ao substrato. São essenciais na preservação de todo tipo de estrutura, contra ataques do intemperismo. Além de conferir proteção, tintas vernizes e as lacas tornam os artigos manufaturados mais atraentes realçando assim seu aspecto estético. (TRINDADE, 1977).

Através dos incentivos direcionados a pesquisa, a indústria de agentes de recobrimento de superfície sofreu uma revolução, que buscava o emprego de constituintes de melhor qualidade, melhorar a formulação e aumentar a adaptabilidade dos processos de aplicação.

Frutos desses avanços foram: redução de custos, dos riscos de incêndio e dos efeitos danosos à saúde e a obtenção de revestimentos melhorados e de maior durabilidade. As melhorias foram mais notáveis nos: recobrimentos arquitetônicos, que incluem as tintas para manutenção; nos recobrimentos industriais usados em materiais de fabricação ou itens produzidos nos processos (SHREVE e BRINK, 1980).

A origem das tintas vem da pré-história, quando os antigos habitantes da Terra registravam suas atividades em figuras coloridas nas paredes das cavernas. O pigmento utilizado em tais tintas era constituído por: terras ou argilas suspensas em água, plantas, carvão e até sangue de animais. Os egípcios, desde muito cedo, desenvolveram a arte de pintar e, por volta de 1500 a.C., dispunham de um vasto número de cores. Em 1000 a.C. descobriram os antecessores dos vernizes atuais, usando resinas naturais ou cera de abelha como ingrediente formador de película.

A fabricação de materiais de recobrimento, como é o caso das tintas, é uma atividade industrial muito importante. Como podemos observar no nosso cotidiano, as tintas fazem parte de quase tudo, ela está em todos os lugares, nas mais variadas cores e composições. De acordo com a ABRAFATI, Associação Brasileira dos Fabricantes de Tinta, em 2010 o Brasil produziu em torno de 359 bilhões de litros de tinta para as mais diversas aplicações. Este volume coloca o Brasil entre os cinco maiores mercados mundiais de tinta. Fabricam-se no país tintas destinadas às mais variadas aplicações, com tecnologia de ponta e grau de competência; técnica comparável à dos mais avançados centros mundiais de produção (VALÉRIO et al, 2012).

Desde sua produção até o descarte do produto ou até mesmo da embalagem As tintas possuem componentes que podem prejudicar o meio ambiente, proporcionando riscos, se manuseados de forma incorreta ou que não condizem com os princípios da sustentabilidade. De acordo com os resíduos provenientes do uso das tintas há uma classificação regida pela NBR 10004. Esses podem ser classificados de acordo com seu grau de periculosidade e destinação. As classes que se dirigem direta ou indiretamente às tintas são:

Classe I – Perigosos: são denominados dessa forma, pois possuem características como periculosidade (risco a saúde pública ou ao meio ambiente), inflamabilidade (que pode entrar em combustão facilmente), reatividade (que pode reagir com outra substância, podendo gerar calor e/ou energia), corrosividade (pode atacar materiais ou organismos, devido a sua acidez ou alcalinidade), toxicidade (que pode causar danos à saúde dos organismos vivos) ou patogenicidade (que apresenta características biológicas infecciosas). Fazem parte dessa classe as embalagens contaminadas com resíduos de tintas como material impregnado com óleo, resinas e vernizes. A disposição inadequada de embalagens contaminadas pode enquadrar a prática nas sanções legais aplicáveis, diminuindo a credibilidade da empresa.

Classe II A – Não perigosos e não inertes: Resíduo que não se enquadra na classificação de resíduos Classe I - Perigosos ou de resíduos Classe II B - Inertes. Possuem propriedades como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Faz parte dessa classe os resíduos de tinta pulverizada.

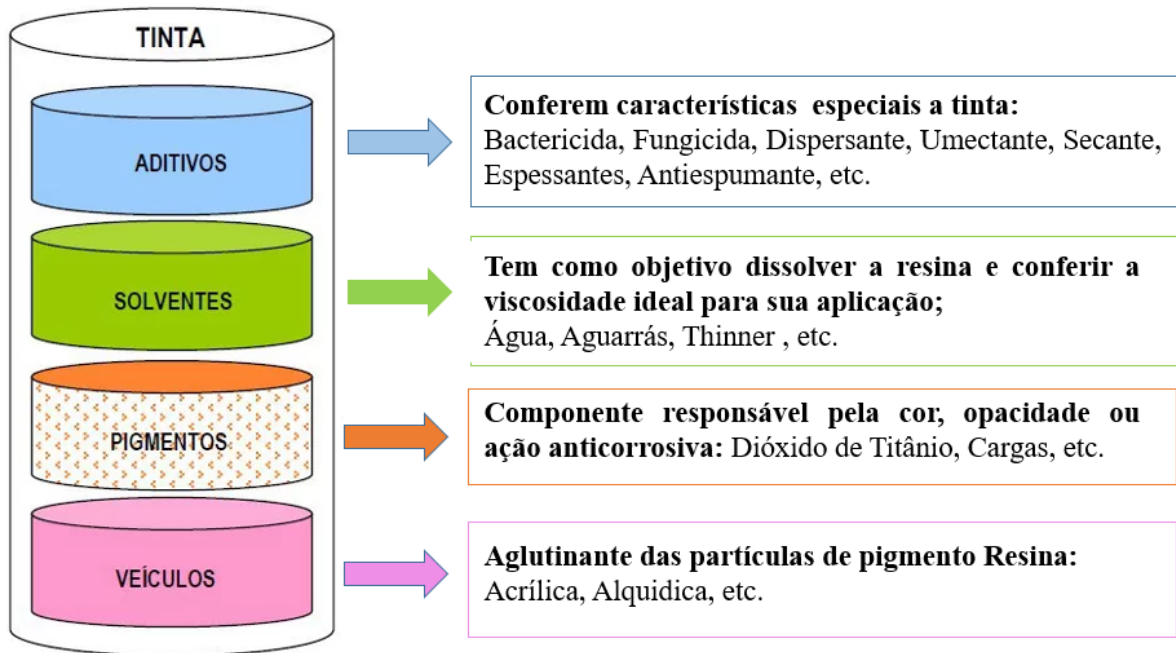
Figura 2: Fabrica de Tintas Industriais



Fonte: MOINHO PIRÂMIDE (2018)

2.3 Componentes básicos da tinta

Existe atualmente no mercado inúmeras formulações de tintas, cada qual com distintas propriedades. No entanto, todas as tintas líquidas são elaboradas a partir da mesma composição base: resina, pigmento, aditivo e solvente. Na formulação e fabricação de uma tinta, esses constituintes são rigorosamente selecionados, qualitativa e quantitativamente, a fim de que o produto final atenda aos requisitos desejados (TARNOWSKI et al, 2013).

Figura 3: Composição genérica de uma tinta

Fonte: O AUTOR (2018).

2.3.1 Resinas

As Resinas são a parte não-volátil das tintas responsáveis por formar a película aderente ao substrato. Além disso, elas conferem à tinta ou verniz as características físicas e químicas do revestimento, como brilho, resistências química e física, aplicabilidade, aderência e secagem, por isso que cada grande parte do revestimento leva em seu nome o tipo da resina. Deste modo, a escolha da resina é de extrema importância, tendo em vista a diversidade de substratos e ambientes onde estão inseridos. (YAMANAKA et al. 2006). As mais utilizadas são:

Resinas acrílicas: podem ser classificadas em dois grupos: termoplásticas e termofixas. As resinas acrílicas termoplásticas são obtidas da polimerização de monômeros acrílicos e metacrílicos (mas podem ser copolimerizados com estireno, dependendo do revestimento desejado). Os polímeros obtidos, no caso as resinas, são utilizados na formulação de lacas acrílicas, que formam a película do revestimento através da volatilização do solvente – porém, essas lacas voltam ao estado líquido ao entrarem em contato com o solvente que as dilui, geralmente são utilizadas para a demarcação rodoviária, pintura de metais e impermeabilização de tijolos e telhas, devido à sua resistência à abrasão. Já as resinas acrílicas termofixas são formadas por monômeros acrílicos e metacrílicos hidroxilados e

formam a película através da reação da hidroxila presente em sua estrutura com o grupo isocianato presente no catalisador. O sistema formado pela resina acrílica e o isocianato é denominado acrílicouretânico, e não volta ao estado líquido, pois há uma reação química irreversível no processo de cura. Esse mecanismo confere às tintas e vernizes alta resistência ao intemperismo, e por isso são indicados para o revestimento de peças de madeira e metálicas de ambientes internos e externos (FAZENDA, JORGE e FILHO, 2005).

Resinas alquídicas: segundo Yamanaka et al., (2006), polímeros obtidos da esterificação de poliácidos e ácidos graxos com poliálcoois, cujas tintas curam pela reação com o oxigênio ou calor.

Resinas epoxídicas ou epóxi: obtidas pela reação do bisfenol A com epícloridina, cujas tintas curam através da reação do grupo glicidila, presente na resina, com grupos de aminas e amidas presentes em catalisadores feitos à base de poliaminas e poliamidas (YAMANAKA et al., 2006). As tintas feitas à base de resinas epoxídicas são comumente utilizadas na manutenção industrial devido às suas altas resistências química e física.

Resina nitrocelulose: Obtida através da reação entre celulose pura com ácido nítrico na presença de ácido sulfúrico, cujas tintas curam pela evaporação do solvente (YAMANAKA et al., 2006). Tais tintas são utilizadas para o revestimento de materiais e equipamentos metálicos e de madeira que não estejam expostos às intempéries e ao atrito.

Resinas poliuretânicas: Polímeros que possuem o grupo isocianato em sua estrutura, cujas tintas bicomponentes curam através da reação entre o grupo isocianato (presente no catalisador) com o hidrogênio presente na resina hidroxilada. Os revestimentos poliuretânicos possuem alta resistência ao intemperismo e à abrasão, por isso são indicados às peças e estruturas metálicas que estejam em ambientes internos e externos (FAZENDA, JORGE e FILHO, 2005).

2.3.2 Pigmentos

Os pigmentos são partículas sólidas, finamente divididas, utilizados para se obter, entre outros objetivos, proteção anticorrosiva, cor, opacidade, impermeabilidade e melhoria das características físicas da película (GAUTO, et al 2007).

Dióxido de Titânio - TiO_2 : Entre os pigmentos brancos esse é o mais utilizado pela indústria na fabricação de tintas de cor branca e tons claros em geral. Possui elevado poder de cobertura ou opacidade, quando comparado a outros pigmentos brancos, decorrente do seu alto índice de refração e do tamanho médio das partículas ($\approx 0,3\mu m$). Além disso, possui excelente resistência química, exceto aos Ácidos sulfúrico e fluorídrico concentrados. O dióxido de titânio pode ser encontrado sob duas formas de estrutura cristalina: rutilo e anatásio. O rutilo é o mais utilizado na fabricação de tintas, pois possui inúmeras vantagens em relação ao anatásio, como índice de refração mais alto (rutilo = 2,71; anatásio = 2,55), o que lhe confere maior opacidade ou poder de cobertura (30-40 % superior), e melhor resistência a radiação solar. (GONÇALVES et al., 2010).

Pigmentos inorgânicos ativos: dióxido de titânio, óxidos de ferro, cromatos de chumbo, cromatos de zinco, verdes de cromo, azul de Prússia, óxido de zinco, óxido de cromo, azul de ultramar, negro de fumo, pigmentos metálicos, fosfato de zinco, aluminato de sódio, níquel titanatos, cromo titanatos e azuis e verdes de cobalto.

Pigmentos inorgânicos inertes: carbonato de cálcio, silicato de magnésio (talco), caulim, sulfato de bário (YAMANAKA et al., 2006).

Os pigmentos orgânicos, em geral, tem o poder de tingimento superior aos inorgânicos e menor toxicidade, tendo, portanto, um custo mais elevado. Dentre os mais utilizados, encontram-se: azul ftalocianina, verde ftalocianina, quinacridona violeta, quinacridona vermelha, perileno vermelhos, toluidina vermelha e aril amídicos amarelos (YAMANAKA et al., 2006).

2.3.3 Aditivos

Os aditivos desempenham um papel importante na produção de tintas, pois conferem propriedades importantes às mesmas. Tais aditivos são empregados para evitar a formação da película de tinta seca acima da tinta líquida (antipele), evitando a corrosão ou seja, uma proteção anticorrosiva, evitar o desgaste da película pelos raios ultravioletas, agindo como um bloqueadores de raios UV, promover a reação de tintas no processo de formação da película (catalisadores de reação), para dispersar a floculação é utilizado o (dispersantes de pigmentos e cargas), com intuito de evitar espumas é usado os (antiespumantes), acelerar a secagem de tintas de secagem oxidativa (secantes), para aumentar a viscosidade (espessantes), impedir

que a tinta escorra durante e após a pintura (ante escorrimento) e evitar a proliferação de microrganismos (biocidas) (YAMANAKA et al., 2006).

2.3.4 Solventes

São compostos (orgânicos ou água) responsáveis pelo aspecto líquido da tinta com uma determinada viscosidade. Após a aplicação da tinta, o solvente evapora deixando uma camada de filme seco sobre o substrato. As tintas de base aquosa utilizam como fase volátil água adicionada de uma pequena quantidade de líquidos orgânicos compatíveis. A escolha de um solvente em uma tinta deve ser feita de acordo com a solubilidade das resinas respectivas da tinta, viscosidade e da forma de aplicação. Os solventes vão promover a dispersão da resina por toda a superfície, contribuir para o nivelamento, controlar a taxa de evaporação e influenciar parâmetros da aparência final, tal como brilho. As diferentes tecnologias de revestimento vão exigir diferentes propriedades de solventes e diferentes concentrações nas suas formulações. Nos revestimentos protetivos, especialmente aqueles usados na indústria automotiva, o solvente pode ser exigido como um agente solubilizante ativo, como um agente acoplador ou simplesmente como diluente. Em tintas da base aquosa, o solvente é frequentemente requerido como um agente coalescente, controlando a taxa de evaporação da água e a solubilidade da resina à medida que a película seca.(GONZALVES et al, 2010).

Com o devido preocupação com a degradação do meio ambiente, atualmente existe um esforço mundial no sentido de diminuir o uso de solventes orgânicos em tintas, com iniciativas tais como: substituição por água, aumento de teor de sólidos, desenvolvimento de tintas em pó, desenvolvimento de sistema de cura por ultravioleta, dentre outras (CANAUD et al., 2007).

2.4 Processos de fabricação de tintas

A indústria de tintas opera em processo batelada, o que favorecendo o ajuste da cor e o acerto final das propriedades da mesma. Nas etapas de fabricação predominam os seguintes processos físicos (mistura, dispersão, completagem, filtração e envase), sendo que as conversões químicas acontecem na produção dos componentes (matérias-primas) da tinta e na secagem do filme após aplicação.

2.4.1 Fabricação de tinta à base de água

As tintas base água, também chamadas de látex, são utilizadas largamente na construção civil, representando atualmente 80% de todas as tintas consumidas por esse segmento de mercado. Este produto é baseado em dispersões aquosas poliméricas (emulsões) tais como: vinílicas, vinil acrílicas, acrílicas, estireno-acrílicas, etc., diferenciando-se assim dos outros tipos de resinas que são feitas a partir de óleos.

O processo de produção das tintas base água ou látex é mais simples, e pode ser descrito pelas seguintes etapas:

2.4.2 Pré-mistura e dispersão

Em um equipamento provido de agitação adequada são misturados: água, aditivos, cargas e pigmento (dióxido de titânio). A dispersão é feita em sequência no mesmo equipamento. Nesta primeira etapa da tinta, entra as cargas, que são os pigmentos inorgânicos (insolúveis) e alguns aditivos que ajudam na dispersão do pó, como: umectantes, antiespumantes, dispersantes, espessantes. O equipamento utilizado para esse processo é o cowless é um dispersor de alta velocidade, que é um disco com as bordas serradas e disposto de forma alternadas montando um eixo de alta rotação. Existem duas ações de dispersão: o impacto e o atrito. O disco é híbrido, ele produz os dois tipos de ações descritas. A dispersão de pigmentos em uma moagem por atrito é atingida por fluxo laminar, se houver a ocorrência de turbulência simplesmente prejudica o atrito e as partículas começam a girar em torno delas, ao invés de colidirem com as outras (GONÇALVES, 2010).

Figura 4: Cowless para dispersão



Fonte:(MOINHO PIRÂMIDE (2017).

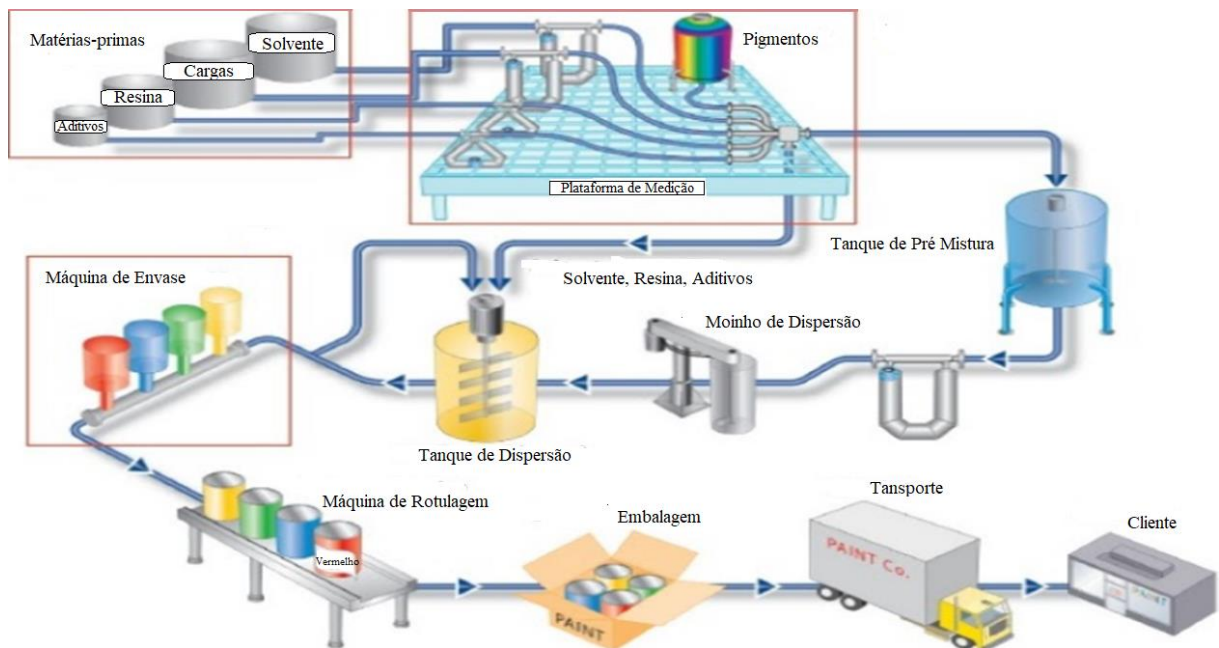
2.4.3 Completagem

Esta etapa é realizada em um tanque com agitação adequada onde são adicionados água, emulsão, aditivos, coalescentes e o produto da dispersão. Nesta etapa são feitos o acerto da cor e as correções necessárias para que se obtenham as características especificadas da tinta (GONÇALVES et al.,2010).

2.4.4 Filtrações e envase

Estas etapas ocorrem simultaneamente. Sua maior aplicação é no ramo imobiliário, predominando as tintas látex. As etapas de fabricação são basicamente as mesmas da base solvente. As diferenças resumem-se a ordem de adição dos componentes da tinta. O fluxograma a seguir ilustra o processo de fabricação:

Figura 5 - Fluxograma de processo de fabricação de tinta



Fonte: O Autor (2018).

2.5 Métodos para tratamento de efluentes

A água está presente em várias etapas do processo de produção. Em alguns casos o volume de efluente gerado é superior ao produzido durante a fabricação. Nesse caso a

recirculação e reutilização do efluente são fundamentais, podendo ser uma recirculação total, recirculação parcial ou sem recirculação. A reutilização de águas residuais oferece vantagens do ponto de vista da proteção do ambiente na medida em que proporciona a redução ou mesmo a eliminação da poluição dos meios hídricos, habitualmente receptores dos efluentes. Independente da sua destinação o efluente industrial precisa ser devidamente tratado (VALÉRIO et al, 2012).

O sistema de tratamento de efluentes industriais para o caso de descarte tem que atender as legislações ambientais, que regulamentam as condições nas quais o efluente pode ser descartado nos rios, lagos, oceano e outros corpos receptores. Para reuso, o efluente deve seguir normas internas e legislações ambientais, de modo que o tratamento esteja relacionado à destinação final do efluente.

Os processos de tratamento de efluentes podem ser classificados em: físicos, químicos e biológicos, a depender do tipo de tratamento utilizado e das metodologias envolvidas no tratamento (GANDHI, 2012).

2.6 Processo de tratamento físico-químico do efluente

O processo de tratamento físico-químico de efluentes consiste no processo de remoção de sólidos presentes em efluentes e precipitação dos mesmos por meio da introdução de produtos químicos coagulantes, seguido de uma mistura rápida para dispersá-los e posteriormente uma mistura lenta para a formulação dos flocos sedimentáveis, no caso por meio de um equipamento denominado Jar-test. Esses produtos podem ser aplicados para a remoção de grande parte das impurezas presentes na água e podem ser classificados de acordo com suas quatro grandes categorias: cal, sais de alumínio, sais de ferro e polímeros (MANCUSO e SANTOS, 2003).

Segundo MACEDO (2001), para clarificação da água é necessário a neutralização das cargas negativas da matéria em suspensão e a aglutinação das partículas que aumentam de tamanho e por ação da gravidade sedimentam.

Os fenômenos de coagulação, floculação e decantação juntos são responsáveis por grande parte do processo de tratamento de soluções aquosas, inclusive para água potável. O que prova a eficiência dessa técnica quando aplicada corretamente.

2.6.1 Coagulação e Floculação

O conceito de coagulação surgiu em 1844, com a finalidade de melhorar o aspecto visual da água para o consumo humano. Em meados do século XIX, foi dada uma maior importância a esse processo, pois descobriu-se que a relação entre a concentração de partículas e a presença de patógenos era diretamente proporcional, o que acarretou na diminuição da transmissão de doenças causadas pelo contato com a água contaminada (LIBÂNIO, 2010).

A coagulação consiste no processo de desestabilização das partículas coloidais e suspensas, esse processo é realizado pela junção de ações físicas e químicas. Para o processo de coagulação são necessárias duas etapas: a mistura rápida e a mistura lenta. O processo de mistura rápida primeira etapa, tem por objetivo dissipar o coagulante de forma que haja o maior aproveitamento possível, nesta etapa é importante que tenha ocorrido a checagem de parâmetros como o pH, por exemplo, fator que interfere diretamente na formação dos coágulos (LIBÂNIO, 2010).

A próxima etapa é a de mistura lenta, segunda etapa que ocorre após a desestabilização das partículas e formação dos coágulos, inicia-se então a floculação, que ocorre na fase de mistura lenta. Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), a floculação consiste na agitação relativamente suave, para que ocorram choques entre as partículas e que se aglomerem formando partículas maiores, os flocos.

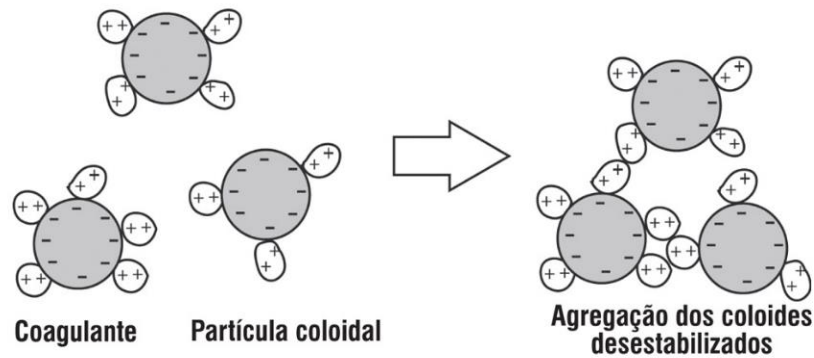
A floculação se caracteriza por uma operação unitária de clarificação, constituída por um conjunto de atividades físicas, nos quais se objetiva reduzir o número de partículas suspensas e coloidais presente na massa líquida, buscando a formação de flocos mais robustos que serão extraídos com mais facilidade posteriormente (LIBÂNIO, 2010).

2.6.2 Coagulantes

Com o desenvolvimento da sociedade o homem descobriu que ao adicionar determinados produtos químicos à água, após um período de tempo, ela se tornava mais límpida. Atualmente sabe-se que os parâmetros de cor e turbidez melhoravam devido à precipitação de coágulos, formados a partir da ionização desses produtos após o contato com a água (BORBA, 2001).

Segundo Borba (2001), os mais convencionais são os químicos como por exemplo, o sulfato de alumínio, cloreto férrico, cloreto ferroso, além de outros, devido à grande eletropositividade dos elementos químicos que se opõem. No momento em que são dissolvidos em água, se transformam em compostos gelatinosos de carga positiva (figura 6).

Figura 6: Diagrama de coagulação



Fonte: SASAKI (2015).

De acordo com SANTOS FILHO (1985) há três tipos de polieletrólitos que podem ser usados para floculação. São eles: Catiônico, aniônico e não iônico. O catiônico é aquele que quando dissolvido na água se ioniza, adquire carga positiva e atua como um autêntico cátion. O aniônico, de maneira semelhante, adquire carga negativa e atua como ânion. O não iônico é aquele que não se ioniza em água. Os polímeros não iônicos não são polieletrólitos, mas são incluídos nesta categoria devido a semelhança de suas aplicações (SANTOS FILHO, 1985).

Segundo OLIVEIRA e DA LUZ (2001), a escolha de coagulantes e floculantes ainda tem se baseado em resultados empíricos e nem mesmo modelos semi-empíricos foram desenvolvidos para auxiliar inicialmente no processo de seleção. O *jar test* tem sido o método mais utilizado em experimentos de coagulação realizados em laboratório. Logo após a coagulação o efluente deve passar pela unidade de decantação, onde a água ficará em repouso. O tempo de retenção é aquele necessário para se encher os tanques de mistura e de sedimentação a uma dada vazão. Ele pode ser calculado da seguinte forma:

$$\text{Tempo de detenção } (h) = \frac{\text{Volume do tanque } (m^3)}{\text{vazão } \left(\frac{m^3}{h}\right)} \quad (01)$$

O lodo retido nos decantadores com umidade muito alta, normalmente em torno de 98%, necessita ser desidratado. O mesmo pode passar por adensamento através de um filtro

prensa de placas, este equipamento é muito utilizado na desidratação de lodo, apresentando torta com concentração de matéria seca na ordem de 25 a 35 % (SANTOS FILHO, 1985).

2.7 Características de sais de alumínio e ferro

No momento em que um sal de alumínio ou ferro é adicionado no meio aquoso, ocorre inicialmente sua dissociação, seguida pela reação com a água, permitindo a formação de espécies mononucleares e polinucleares. A seguir serão mostradas algumas reações dos coagulantes:

- Formação de produtos de Hidrolise

Hidrolise do sulfato de alumínio, formando hidróxido de alumínio.



Hidrolise do cloreto férrico, formando hidróxido de ferro.



2.7.1 Sulfatos de Alumínio

O sulfato de alumínio tem por fórmula química $(Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O)$ trata-se de um coagulante muito conhecido devido a sua grande utilização no tratamento de água potável, essa notoriedade deve-se a facilidade de transporte e baixo custo (CARVALHO, 2008).

Quando o sulfato de alumínio entra em contato com a água logo ocorre sua dissociação formando dois moles de $(Al_3)^{+3}$ e três moles de $(SO_4)^{-2}$, no decorrer da hidrólise são formados íons H^+ que tornam a solução mais ácida e promovendo a ineficiência do sistema. Desta maneira, em números de pH, o sulfato de alumínio apresenta melhores índices de remoção com o pH entre 5,5 e 8,5 (ROSALINO. 2011).

Uma característica negativa em relação ao uso deste coagulante é em relação ao lodo proveniente do seu processo de coagulação, floculação e decantação, devido as características

do sulfato de alumínio o lodo gerado não é biodegradável, por isso existe uma problemática a respeito de seu tratamento e disposição final (CARVALHO, 1998).

Tabela 1 - Composição físico-química do sulfato de alumínio líquido

Características Físico-química sulfato de Alumínio	
Composição	
% Al ₂ O ₃	85
% Fe ₂ O ₃	0,047
Acidez ou Al ₂ O ₃ livre	0,3
% insolúveis	-
Massa específica (g/cm ³) a 15°C	1,34
Viscosidade (Cp) a 15°C	26
pH de solução a 1%	3,5
Cor	Incolor
Concentração do produto (massa/massa)	50%

Fonte: NHEEL QUÍMICA LTDA (2017).

2.7.2 Cloreto Férrico

A reação a quente do ácido clorídrico, concentrado com o minério de ferro (hematita-Fe₂O₃) seguido de resfriamento e filtração, proporciona a produção de cloreto férrico de alta pureza. De acordo com FRANCO (2009), o cloreto férrico (FeCl₃) é amplamente utilizado no tratamento de efluentes. Essa espécie química possui efeitos corrosivos, por isso devem-se haver certos cuidados em relação a sua estocagem.

Segundo PAVANELLI (2001) A utilização do cloreto férrico diminui drasticamente a turbidez e a DBO, e elimina fosfatos; uma boa parte de metais pesados (mercúrio, chumbo) ou venenosos (arsênio, selênio, bário) também é eliminado quando a coagulação é realizada na faixa de pH com a melhor eficiência do coagulante

A coagulação decorrente do cloreto férrico ocorre por meio de mecanismos de varredura, ou seja, não existe relação estequiométrica entre a área superficial da partícula e a dosagem de coagulante (LIBÂNIO e MARTINS, 2010). Além de ser um tratamento bastante eficiente na remoção de sólidos em suspensão e fósforo. Geralmente sua dosagem é calculada juntamente com a dosagem de cal ou hidróxido de sódio, pois estes ajudam na produção dos flocos em decorrência do aumento do pH da água (MANCUSO e SANTOS, 2003).

Para o cloreto férrico, a maior efetividade no processo de remoção acontece quando o pH encontra-se entre as faixas de 4,5 e 5,5, por proporcionar a formação de flocos maiores e mais pesados os polímeros e hidróxidos colaboram auxiliando os processos de coagulação. A

quantidade e o tipo do produto coagulante normalmente é encontrada de forma experimental (MANCUSO e SANTOS, 2003).

Quando o agente coagulante é adicionado ao efluente a ser tratado ocorre à hidrólise do cloreto férrico, logo os complexos de ferro adquirem cargas positivas. Os sólidos suspensos na água unem-se aos complexos férricos resultando na coagulação e neutralização dos sedimentos que possuem cargas negativas (FRANCO, 2013).

Tabela 2 - Propriedade e especificações do cloreto férrico

Propriedades	
Fórmula química	FeCl ₃
Massa molecular (g/mol)	207,35
Massa específica (g/cm ³) a 20°C	2,804
Pureza	99 %
Aparência	Pó
Coloração	Marrom
Solubilidade a 20°C	920g/L
HCL (PESO %)	< 1

Fonte: CHOICE CHEMICALS (2018).

2.8 Características Químicas do Efluente

2.8.1 pH

O potencial hidrogeniônico (pH) expressa a intensidade de uma condição ácida ou alcalina em um dado meio. Substâncias alcalinas possuem com (pH > 7,0) tendem a formar incrustações, enquanto os ácidos, os quais são aqueles que possuem valores baixos de pH (pH <7,0), tendem a ser corrosivos (CARVALHO, 2008). Desta forma, a alcalinidade pode ser entendida como a capacidade da água em neutralizar ácidos, e a acidez, como a de neutralizar bases (MORAES, 2007).

O pH deve ser observado com maior frequência em uma rotina operacional de tratamento, pois sua variação interfere em determinados processos unitários de tratamento (LIBÂNIO, 2010), como por exemplo, a coagulação química. A alta alcalinidade pode exigir a adição de um acidulante para o ajuste do pH, deve-se atentar para a quantidade de acidulante

adicionado, pois caso a alcalinidade ou a acidez forem altos, provavelmente haverá problemas de coagulação na solução (DI BERNARDO, DANTAS, 2005).

Dentro do processo de fabricação de uma tinta, existem vários fatores que podem desestabilizar o produto, esta desestabilização é apresentada como uma diminuição do pH e isso traz consequências indesejadas para o produto final, gerando um material de película com baixa aderência, baixa qualidade cor, textura pobre, baixo brilho, desenvolvimento de bactérias e, conseqüentemente, um mau cheiro de tinta.

Para garantir a funcionalidade adequada dos espessantes acrílicos deve neutralizar os grupos ácidos nas cadeias de polímero. Tipicamente, a formulação espessada deve ter um pH final entre 8 e 9,5 para assegurar a eficiência ótima de espessamento e manter uma viscosidade estável.

No processo de fabricação de tintas, o pH deve ser controlado e o final do processo tem de ser ajustada para os limites adequados para conseguir uma boa estabilidade.

2.8.2 Turbidez

A Turbidez, assim como a cor, é causada principalmente pela presença de partículas em suspensão e em estado coloidal no efluente. Seus principais causadores são: areia, argila e micro-organismos em geral (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). Para (Libânio, 2010), a turbidez, sólidos suspensos e contagem de partículas, de forma geral, consistem em um parâmetro único, pois representam significados semelhantes em termos de qualidade da água porém, a turbidez adquiriu primazia como parâmetro de monitoramento devido à simplicidade e rapidez da sua determinação.

De acordo com RICHTER e AZEVEDO, (2002), a eficiência das fases de coagulação e floculação pode ser avaliada pelo consumo de coagulante e pela turbidez da água decantada. A Resolução CONAMA 357/05 determina como padrão limite para o lançamento de efluente turbidez de até 100 NTU.

2.8.3 Sólidos e Sólidos Voláteis

De acordo com APHA (1998), todas as matérias suspensas ou dissolvidas em água podem ser caracterizadas como Resíduos ou Sólidos. Sendo assim, pelo que Libânio (2010)

entende por sólidos, existe uma correlação entre a quantidade de sólidos totais encontradas em uma amostra líquida e a sua turbidez.

Os sólidos totais presentes em uma substância líquida pode ser classificados de duas formas: Sólidos Fixos e Sólidos Voláteis. O termo “Sólidos Fixos” é aplicado ao resto total, em suspensão ou dissolvido após aquecimento e secagem por períodos e temperaturas preestabelecidas (por exemplo, 100 °C por um período de 12 horas). Em decorrência da ignição parte dos sólidos se volatiliza, a diferença entre a massa de sólidos e a massa final pode ser denominada “Sólidos Voláteis” (APHA, 1998).

3 METODOLOGIA

3.1 Efluente

Os estudos foram realizados no LCA-UFPB (Laboratório de Carvão Ativado) em um efluente real coletado em uma indústria de tinta sediada na cidade de João Pessoa/PB. Para esse estudo foram coletados 10 litros de efluente. O efluente foi coletado na estação de tratamento da empresa, antes da adição de qualquer agente coagulante / floculante para fins de tratamento do mesmo.

3.2 Instrumentação e equipamentos

Os equipamentos utilizados nesse estudo são listados abaixo:

- ✓ Turbidímetro de bancada (DIGIMED);
- ✓ Cone de Imhoff;
- ✓ Equipamento de reatores estáticos Jar-Test, constituído de 4 jarros com capacidade de 2 litros cada (POLICONTROL) ;
- ✓ Potenciômetro para leitura de pH (QUIMIS);
- ✓ Papel filtro (DOUBLE);
- ✓ Vidro de relógio;
- ✓ Bomba a vácuo (QUIMIS);
- ✓ Balança analítica (QUIMIS);
- ✓ Dessecador

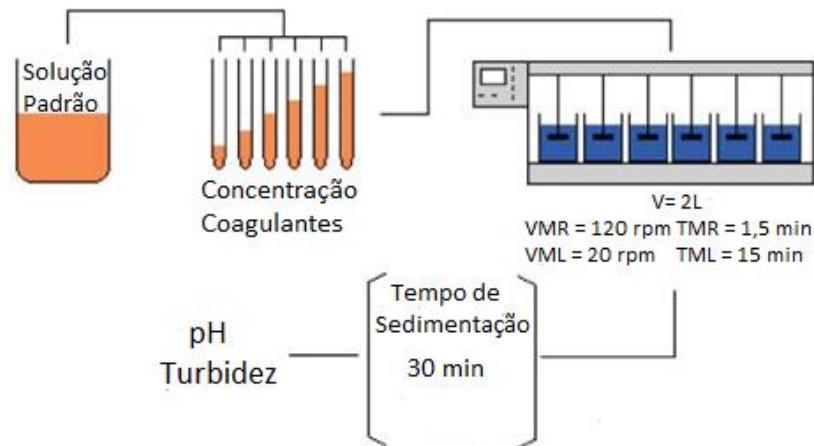
3.3 Reagentes

- a) Coreto Férrico (10%) (CHOICE CHEMICALS)
- b) Sulfato de Alumínio (10%) (PA-QUIMIBRAS)
- c) Floculante Catiônico (01%) (flopeq FXCE/64)

3.4 Ensaios de coagulação precipitação

Foram realizados ensaios de coagulação/floculação num equipamento Jar-Test Microcontrolado marca (POLICONTROL), para avaliar a eficiência de cada coagulante, como ilustrado na Figura 7.

Figura 7: Aparato experimental utilizado nos ensaios de coagulação/floculação



Fonte: Ecl. Quím., São Paulo, (2010).

Foram analisados coagulantes do tipo inorgânicos (sulfato de alumínio e cloreto férrico) no processo de coagulação/floculação.

Os ensaios de coagulação/floculação foram realizados a fim de determinar a faixa de dosagem de trabalho para cada coagulante estudado, bem como o custo associado aos mesmos. A dosagem das concentrações dos coagulantes (sulfato de alumínio, cloreto férrico) são apresentados na (tabela 3). Estes valores foram estabelecidos com base em outros estudos preliminares.

Tabela 3 - Concentração de cada coagulante avaliado

Coagulante	Concentração (g.L ⁻¹)			
Sulfato de alumínio	0,5	0,66	0,83	1
Cloreto férrico	0,5	0,66	0,83	1

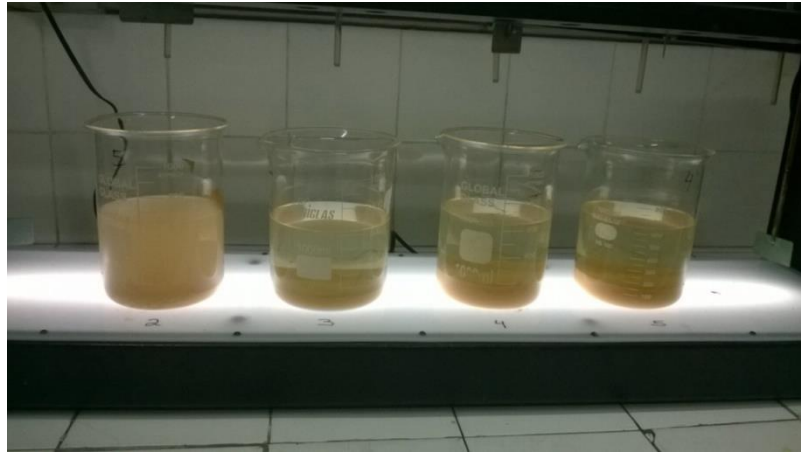
Fonte: O Autor (2018).

Em cada cuba do Jar Test foram adicionados 1,2 L do efluente proveniente da indústria de tinta, variando as concentrações de cada coagulante, conforme apresentado na Tabela 3. As velocidades de mistura rápida (VMR) e lenta (VML) empregadas foram 120 rpm e 20 rpm, respectivamente. Os tempos de mistura rápida (TMR) e lenta (TML) foram 1,5

min e 15 min, respectivamente, Os ensaios foram realizados no pH da solução efluente na temperatura ambiente.

Após o tempo de sedimentação de 30 min, foram coletadas cerca de 50 mL do sobrenadante e foram analisados os parâmetros: pH e turbidez (NTU) em Potenciômetro para leitura de pH (QUIMIS) e Turbidímetro de bancada (DIGIMED), respectivamente.

Figura 8: Ensaio de coagulação/floculação



Fonte: O Autor (2018).

3.5 Sólidos sedimentáveis

Para determinar os sólidos sedimentáveis, deixou-se decantar 1 Litro do efluente por uma hora no Cone de Imhoff. Após esse período leu-se o volume em mL.L^{-1} de sólidos sedimentáveis.

3.6 Volumes de lodo e massa de resíduo seco retidos em Cone Imhoff

O efluente permaneceu 30 minutos no Cone de Imhoff. O tempo citado deve-se ao período de detenção no decantador primários em função da vazão e do volume do tanque da ETE.

Passado o tempo de detenção leu-se o volume de lodo decantado. O cálculo do tempo de detenção foi calculado a partir da equação (01).

O tempo de detenção para o Efluente foi calculado usando-se o volume dos tanques igual a $0,5 \text{ m}^3$ e vazão $1 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$. A vazão foi obtida com base no volume total do efluente gerado diariamente e o tempo de bombeamento, 8 horas diárias.

O material decantado foi retirado do cone de Imhoff para posterior filtração. Em seguida secou-se previamente o papel filtro na estufa e pesou-se o mesmo com o auxílio de uma balança analítica, até verificar que o peso estava constante. Anotou-se o peso como P1. Após o mesmo resfriar no dessecador, filtrou-se a amostra no kitasato. Em seguida, transferiu-se o papel filtro para o vidro de relógio. O conjunto foi seco na estufa a 105°C por uma hora. Após o processo de resfriamento no dessecador, anotou-se o peso constante obtido como P2. Para determinar a massa de sólido seco retido no cone Imhoff pode-se utilizar a equação 06:

$$\text{massa de sólidos} = (P_2 - P_1) = (g \cdot L^{-1}) \quad (06)$$

3.7 Volume de lodo e massa de resíduo seco retidos em cone de Imhoff com o auxílio de coagulante e floculante.

Para essa etapa, deixou-se sedimentar por 30 minutos o efluente. Em seguida foi coletado o sobrenadante, fez-se o ensaio de coagulação/floculação. Com as dosagem ótimas obtidas de sulfato de alumino, cloreto férrico e o floculante catiônico para o efluente em análise, deixou-se sedimentar em Cone de Imhoff para que fosse possível a leitura do volume de lodo decantado. Em seguida o lodo retido no cone foi filtrado como descrito no ensaio acima.

Figura 9: Sólidos sedimentáveis, efluente tratado



Fonte: O autor (2018)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Testes iniciais para determinação das melhores faixas de remoção para os diferentes coagulantes

Neste trabalho foram realizados estudos para otimizar a dosagem dos coagulantes sulfato de alumínio, cloreto férrico, nas condições de mistura rápida e lenta no tratamento do efluente, onde se verificou o desempenho dos coagulantes para remoção de turbidez, perfil de Ph e prognóstico de geração de lodo.

4.2 Caracterização do efluente

Na Tabela 4 são apresentadas as especificações do efluente líquido proveniente de uma indústria de tinta local, empregado métodos físico-químicos nos ensaios de coagulação/floculação em jar-test. Os parâmetros pH e turbidez apresentado pelo respectivo efluente foram elevados, além de uma grande quantidade de sólidos suspensos portanto, o efluente deve ser submetido a um tratamento antes do seu descarte ou reuso.

Tabela 4 - Características das águas de lavagem do efluente

Parâmetros	Turbidez (NUT)	PH	Sólidos Sedimentáveis (mL.L ⁻¹)
	17000	7	100

Fonte: O Autor (2018).

4.3 Ensaio de precipitação

Os resultados do teste de precipitação demonstraram que após o ajuste do pH inicial do efluente 7 para 7,5 houve a formação de precipitado. O pH é um parâmetro importante no processo de coagulação/floculação uma vez que cada coagulante tem uma faixa ótima de operação, como mostra a tabela 5. Em pH superior ao do efluente a remoção da turbidez ocorre também devido a precipitação, como o foco deste trabalho é avaliar o processo de coagulação/floculação optou-se em trabalhar no pH do efluente bruto. Além disso, o valor de pH do efluente se enquadra na faixa de operação requerida para cada coagulante estudado.

Tabela 5 - Principais coagulantes e sua faixa de pH de uso

Coagulante	Zona de pH
Sulfato de alumínio	5,0 - 8,0
Sulfato de ferro	8,5 - 11,0
Cloreto férrico	5,0 - 11,0
Sulfato férrico	5,9 - 11,0
Sulfato férrico clorado	4,0 -+
Aluminato de sódio	6,0 - 8,5

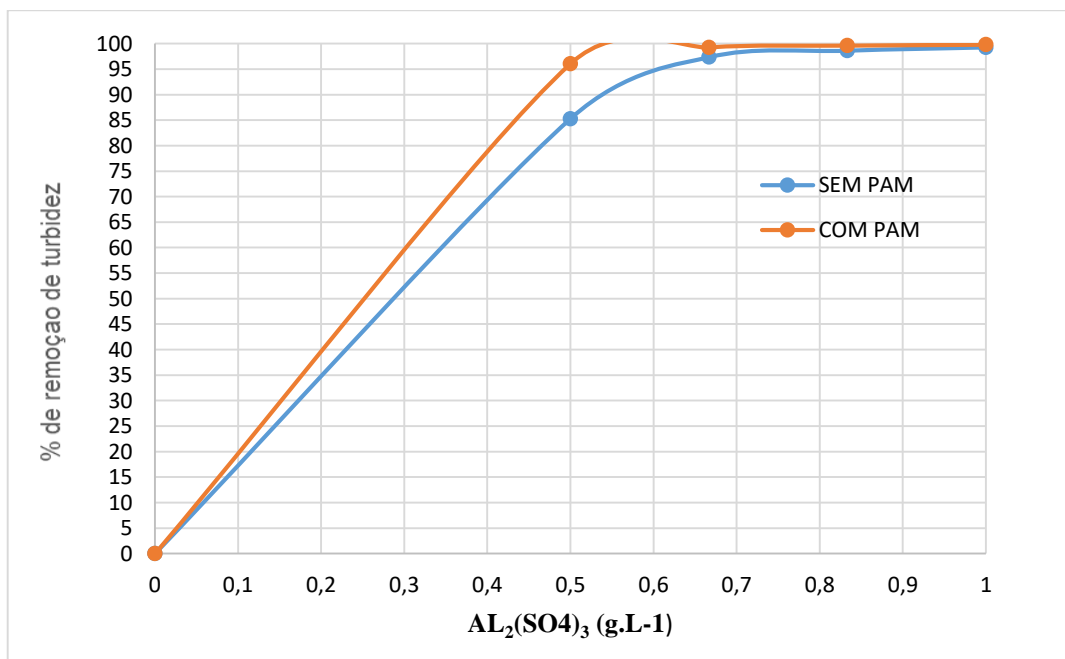
Fonte: LEME (1990).

4.4 Ensaios para obtenção dos dados quantitativos de remoção de turbidez.

Para os ensaios de coagulação/ floculação foram avaliados através dos valores de turbidez e pH das amostras tratadas, após o tempo de sedimentação pré-estabelecido (30min). Os resultados para remoção de turbidez e perfil de pH obtidos para cada coagulante são apresentados nas Figuras (10-11 e 12-13), respectivamente.

4.4.1 Coagulante sulfato de alumínio

Figura 10: Percentual de remoção de turbidez utilizando o coagulante sulfato de alumínio.

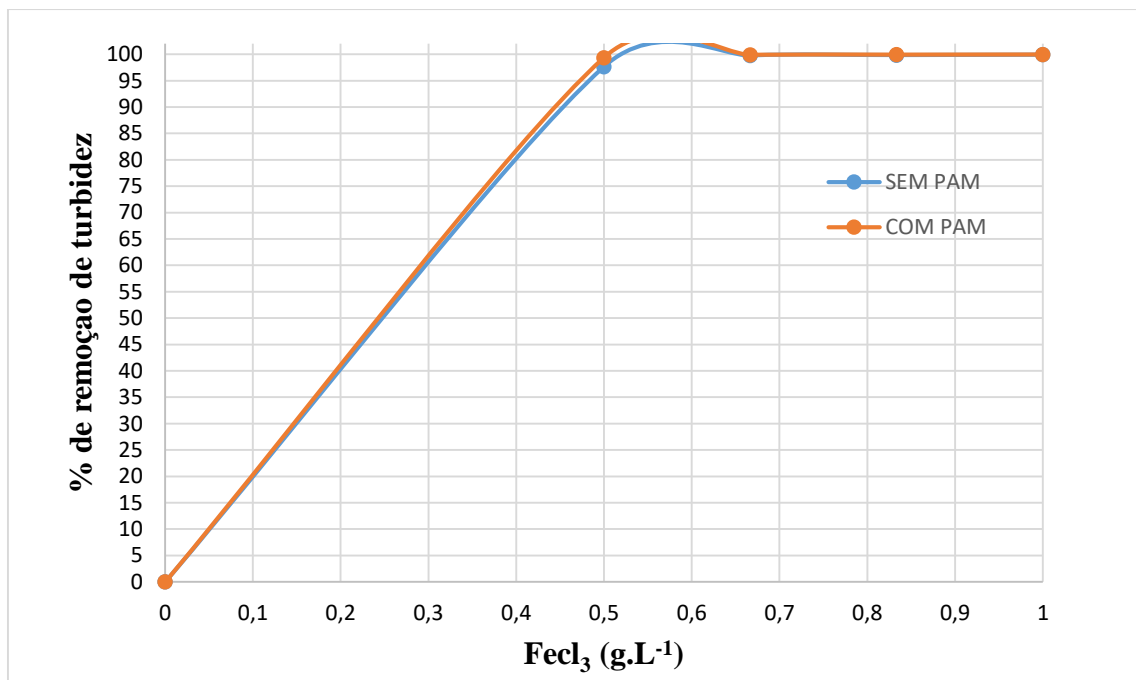


Fonte: O Autor (2018).

Para o coagulante inorgânico sulfato de alumínio figura 10, observa-se para baixas concentrações do mesmo combinado com o floculante catiônico (PAM) ocasionou um aumento significativo da eficiência de remoção de turbidez. O maior percentual de remoção de turbidez de 99,81% foi obtido empregando a concentração de 1g/L, juntamente com adição de 2 ml do agente floculante poliacrilamida (PAM) no tempo de sedimentação de 30 min. Porém observa-se que com uma dosagem menor, de 0,66 g/L, já resultou em um desempenho satisfatório, chegando a 99,5 % de remoção de turbidez.

4.4.2 Coagulante cloreto férrico

Figura 11: Percentual de remoção de turbidez utilizando o coagulante cloreto férrico



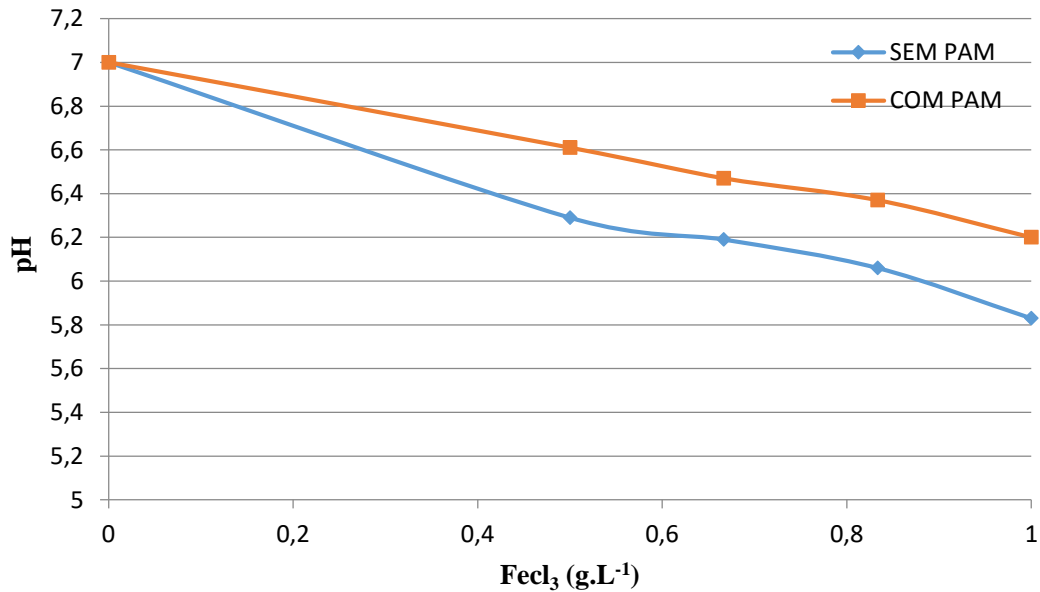
Fonte: O Autor (2018).

Utilizando o coagulante cloreto férrico, observa-se que dentre todas as concentrações utilizadas a que possibilitou a maior remoção de turbidez ocorre na concentração de 1g/L, chegando a remover 99,96 % da turbidez no tempo de sedimentação de 30 min. Porém observa-se que com uma dosagem menor, de 0,66 g/L, já resultou em um ótimo percentual de 99,91 % de remoção de turbidez.

4.5 Comportamentos do pH nos ensaios

As figuras 12 e figura 13 demonstram o comportamento do pH durante o processo de sedimentação nos ensaios.

Figura 12: Perfil de pH para diferentes concentrações de cloreto férrico

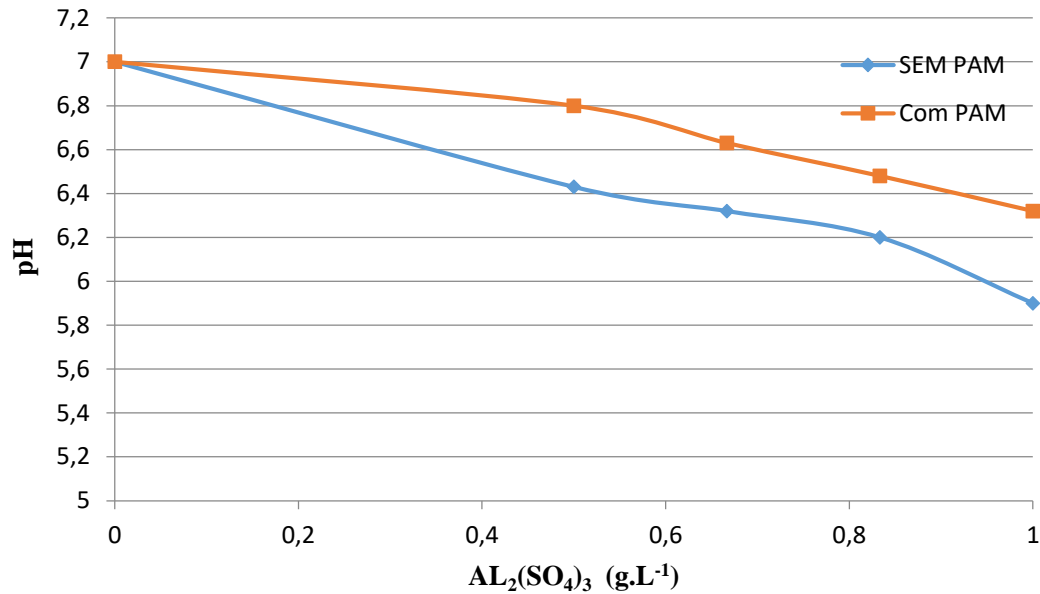


Fonte: O Autor (2018).

Antes do contato com a solução coagulante o efluente apresentou um pH igual a 7,00. Na figura 12 observou-se que quanto maior a concentração de cloreto férrico mais ácida se torna a solução, devido a reação de hidrólise do cloreto férrico, formando hidróxido ferro e liberando prótons (H^+). Os ensaios com o agente floculante o polímero PAM, apresentaram uma menor variação de pH no efluente, possibilitando que o mesmo enquadre-se no requisito exigido pelo CONAMA e possibilitando uma melhor adequação do efluente para fins de reúso, uma vez que promove uma melhor estabilidade do processo.

De acordo com a resolução do CONAMA 357, estabelece que os níveis para lançamento de um efluente deve estar entre o pH 6 e 9, logo o efluente tratado com cloreto férrico mais o agente floculante (PMA), estaria apto neste requisito para descarte ou ser reintroduzido no processo.

Figura 13: Variação do pH para diferentes concentrações de sulfato de alumínio



Fonte: O Autor (2018).

Na figura 13 observou-se que quanto maior a quantidade de sulfato de alumínio mais ácida se torna a solução, devido ao caráter ácido da solução coagulante, com a concentração de 1 g/L o efluente atinge o pH de 5,9 ou seja não se enquadra na faixa de tolerância exigida pelo CONAMA em relação ao pH. Para fins de reuso seria necessário adicionar um maior percentual de alcalinizante para manter a estabilidade da tinta que ocorre em Ph entre 8 e 9,5. Com o auxílio do agente floculante o efluente apresentou uma menor variação de pH, possibilitando que o mesmo atenda a resolução do CONAMA para toda faixa de concentração do coagulante sulfato de alumínio.

4.6 Custos associados ao tratamento do efluente

Os testes iniciais tiveram o intuito de verificar as melhores faixas de concentração para cada agente coagulante. A partir da obtenção dessas grandezas, foi possível determinar a abrangência de concentrações que seriam estudadas para implementação de uma possível ETE.

A tabela 6 apresenta as características do efluente após os ensaios de coagulação/floculação, com as concentrações dos coagulante cloreto férrico e sulfato de alumínio que tiveram melhor desempenho em termos de remoção de turbidez e variação de pH.

Tabela 6 – Características do efluente após ensaios de coagulação/floculação

Parâmetros	Efluente Bruto	Efluente tratado com sulfato de alumínio	Efluente tratado com cloreto férrico
pH	7,0	6,63	6,47
Turbidez (NTU)	17000	70,07	14,07

Fonte: O Autor (2018).

Para o efluente proveniente da indústria de tinta local, os agentes coagulante/floculante mostraram-se eficientes em termos de remoção de turbidez e variação de Ph, dentre os dois agentes coagulante/floculantes em análise o cloreto férrico mostrou-se mais eficiência, ou seja mais promissor para o tratamento deste tipo de efluente.

A tabela 7 elucida o custo do tratamento para o efluente em análise. Os preços dos produtos foram cotados com a BANDEIRANTES produtos químicos S.A e a CHOICE CHEMICALS S.A. No dia 05 (cinco) de maio de 2018, no qual o sulfato de alumínio (PAQUIMIBRAS) custa R\$ 5,50 kg, cloreto férrico (CHOICE CHEMICALS) R\$ 4,33 kg e o agente floculante catiônico (0,1%) (flopeq) R\$ 18,30 por kg.

Tabela 7 – Quantidade de cloreto férrico e floculante catiônico em kg a serem usados na linha de tratamento e os custos em Reais (R\$) por dia.

Efluente	Cloreto	Floculante	Custo
	Férrico (Kg)	Catiônico (Kg)	Diário (R\$)
	5,28	0,0016	22,89

Fonte: O Autor (2018).

O valor referente ao custo apresentado nas tabelas 7 e 8 foram calculados com base na multiplicação das concentrações ideais dos reagentes encontrados nos ensaios com Jar test, pela vazão diária de efluente 8m³/dia

Tabela 8 – Quantidade de sulfato de alumínio e floculante catiônico em kg a serem usados na linha de tratamento e o custo em reais por dia.

Efluente	Sulfato de	Floculante	Custo
	Alumínio (Kg)	Catiônico (Kg)	Diário (R\$)
	5,28	0,0016	29,04

Fonte: O Autor (2018).

4.7 Resultados dos ensaios de prognóstico de geração de lodo

4.7.1 Volume e massa de resíduo seco retido no Cone de Imhoff

Os resultados obtidos para 1 litro de efluente bruto por 30 minutos, obteve-se 15,835 g de resíduo seco, e 100 ml.L⁻¹ de volume no cone.

4.7.2 Volume e massa de resíduo seco retidos no Cone Imhoff com auxílio de coagulante e floculante.

Para 1 litro de efluente, utilizou-se 0,66 g.L⁻¹ de cloreto férrico e 2 mL de floculante catiônico, resultando em um volume de lodo de 45 ml.L⁻¹ e 1,047 g de resíduo seco. Para 0,66 g/L do agente coagulante sulfato de alumínio e 2 mL de floculante catiônico, o volume obtido de lodo decantado foi de 41 ml.L⁻¹ e a massa de resíduo seco de 0,983 g.

4.7.3 Volume e massa de resíduo seco total

Para o cálculo de resíduo seco gerado na ETE apresentado na tabela 9 foram feitos a partir dos dados de resíduo seco total encontrados em teste de bancada para 1 (um) litro de efluente, e em seguida extrapolado para uma vazão de 8m³. Dias⁻¹ de efluente.

Tabela 9 - Resíduo seco obtido no ensaio de com Cone de Imhoff utilizando-se o efluente bruto e tratado, bem como o prognóstico de geração de lodo seco gerado na ETE.

Resíduo seco efluente tratado (g.L ⁻¹)	Resíduo seco efluente bruto (g.L ⁻¹)	Resíduo seco total (g.L ⁻¹)	Resíduo seco gerado na ETE diariamente (kg)
1,047 (1)	15,835	16,882	135,05
0,983 (2)	15,835	16,818	134,54

(1) Ensaio realizado com cloreto férrico e floculante catiônico

(2) Ensaio realizado com sulfato de alumínio e floculante catiônico vazão 8000 litros/dia

Fonte: O Autor (2018).

Conciderando os dados da Tabela 9 ten-se uma retenção de massa de residuo no floculador /decantador para uam vazao de 8m³.Dia⁻¹ quando usado o cloreto ferrico:

$$m_{FeCl_3} = \frac{1,047g}{L} * 8000 L = 8,374 * 10^3g \quad (07)$$

Usando o sulfato de alumínio como coagulante:

$$m_{Al_2(SO_4)_3} = \frac{0,983g}{L} * 8000 L = 7,864 * 10^3 g \quad (08)$$

Na Tabela abaixo está exposto o volume de lodo gerado no Cone Imhoff, e em seguida extrapolado para a realidade da ETE.

Tabela 10 - volume total de lodo do efluente retido no cone Imhoff com e sem adição de reagentes, bem como o prognóstico de geração de volume de lodo diariamente na ETE.

Volume de lodo decantado (mL.L ⁻¹)	Volume de lodo decantado com auxílio de reagente (mL.L ⁻¹)	Volume total de lodo decantado (mL.L ⁻¹)	Volume total de lodo gerado na ETE diariamente (L)
100	45 (1)	145	1160
100	41 (2)	176	1128

(1) Ensaio realizado com cloreto férrico e floculante catiônico

(2) Ensaio realizado com sulfato de alumínio e floculante catiônica vazão 8000 litros/dia

Fonte: O Autor (2018).

Fazendo uma extrapolação dos valores mostrado na tabela 10, para uma vazão 8000 litros/ dia o volume de lodo retido no decantador primário:

$$V_{Lodo} = \frac{0,1L}{L} * 8000L = 800 L \quad (09)$$

Os volumes de lodo retido no floculador/decantador utilizando os coagulantes cloreto férrico e sulfato de alumínio serão respectivamente:

$$V_{Lodo Fecl_3} = \frac{0,045L}{L} * 8000L = 360 L \quad (10)$$

$$V_{Lodo Al_2(SO_4)_3} = \frac{0,041L}{L} * 8000L = 328 L \quad (11)$$

Em relação à estação de tratamento de efluentes em implantação, é sugerido que a adição de coagulante deve ser previa a adição de floculante, devido a reação entre o alcalinizante e o coagulante ser uma reação rápida. Segundo NUNES (1996), a mistura entre o efluente a ser tratado e a solução coagulante deve ser vigorosa. Isso para que a ETE alcance eficiência semelhante a encontrada em escala de bancada.

O resíduo sólido gerado é composto basicamente por matérias primas e insumos utilizados na preparação de tintas e esmaltes, podendo assim ser utilizado, uma vez que os mesmos têm alto valor agregado. O reaproveitamento do lodo, há de ser considerado os custos ambientais e econômicos do seu reuso, uma vez que os custos da disposição em aterros licenciados pela organização ambiental são bastante onerosos. O lodo gerado também pode ser utilizado no processo produtivo de massas acrílicas pigmentadas, pois possui alto teor de sólidos em suspensão o que favorece uma melhor estabilidade do material.

5 CONCLUSÃO

Para o efluente em estudo, a utilização de $0,66 \text{ g.L}^{-1}$ de cloreto férrico combinado com $0,03 \text{ mg.L}^{-1}$ de floculante catiônico (PAM) mostrou-se tecnicamente mais eficiente para remoção de sólidos suspensos, reduzindo a turbidez em 99,91%. É economicamente mais promissor, uma vez que o cloreto férrico chega a ser 21,1 % mais barato que o sulfato de alumínio.

Devido ao grande volume de efluente gerado, chegando a $176 \text{ m}^3/\text{mês}$ o processo de reutilização do efluente clarificado é de suma importância, pois a reintegração do mesmo ao processo é técnica e economicamente viável em função da redução dos custos com a própria água do processo, uma vez que, segundo dados da CAGEPA a tarifa para consumo a nível de empresa é de R\$ 13,05 / m^3 .

Em caso de descarte do efluente, é necessário avaliar os parâmetros previstos pela legislação ambiental como DBO e DQO, além dos metais utilizados como componentes dos esmaltes e tintas. Dentre os metais que devem ser monitorados no efluente destaca-se: zinco, chumbo, níquel, alumínio.

O resíduo sólido gerado nos ensaios em escala de bancada com o cone Imhoff e em seguida extrapolado para realidade da ETE, fornecem uma estimativa de 135 kg de resíduo seco retido no decantador quando usado o coagulante cloreto férrico combinado com o floculante (PAM).

É possível concluir que os sistemas descritos neste trabalho apresentam-se como uma alternativa promissora para o tratamento de soluções aquosas proveniente do processo produtivo de tintas.

REFERÊNCIAS

APHA, **Tratamento de Emissões Gaseosas, Efluentes Líquidos y Resíduos Sólidos de la Indústria Cerâmica**. Espanha: IMPIVA, 1998.

C2ENERGIASOLAR. **Distribuição da água no mundo**, 2018. Disponível em: < <https://c2energiasolar.com> > , acessado em 03 maio.2018.

CANAUD, **Dossiê técnico**, rede de tecnologia do rio de janeiro, 2007.

CARVALHO, MARIA J. H. **Uso de Coagulantes Naturais no Processo de Obtenção de Água Potável**. 2008. 154f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

CARVALHO, MARIA J. H. **Uso de Coagulantes Naturais no Processo de Obtenção de Água Potável**. 2008. 154f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

CARVALHO. **Projeto e análise do desempenho de um sedimentador lamelado piloto para suspensões flocculentas**. 1998. 78p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - PEQ/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1998.

CONAMA, 2011. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

DI BERNARDO, LUIZ; DANTAS, ANGELA D. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2005.

DI BERNARDO, LUIZ; DANTAS, ANGELA D. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2005.

F. A. Santos, Tese de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS (2007).

FAZENDA, Jorge M. R. e FILHO, Constantino T. **Resinas. Tintas e Vernizes – Ciência e Tecnologia**, Vol. 1, 3ª ed. Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas, 2005.

FRANCO, E. F. **Avaliação da Influência dos Coagulantes de Alumínio e Cloreto Férrico na Remoção de Turbidez e Cor da Água Brita e Sua Relação com Sólidos na Geração de Lodo em Estações de Tratamento de Água**. 2009. 187f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto - SP. 2013.

GONÇALVES, **tintas iquine LTDA**. Porto Alegre 2010.

GUSTAVO, M. Regina, M. Teresinha. **Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia**. Ecl. Quím., São Paulo, 35 - 4: 45 - 54, 2010.

H.C.MARTINS. **Estudo sobre os processos de coagulação floculação e decantação em efluentes oriundos de usina canavieira.**Dissertação (Título de Engenheiro Ambiental)-Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina,2014.

LEME, Francilio P. **Teoria e Técnicas de Tratamento de água.** Rio de Janeiro: ABES, LIBÂNIO, MARCELO. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água.** 3. ed. Campinas: Editora Átomo, 2010.

MACEDO, Jorge A.B. de. **Água & Água.** São Paulo: livraria Varela, 2001.

MANCUSO, PEDRO C. S.; SANTOS, F. **Reúso da água.** 3 ed. Barueri: Manuelie, 2003.

MANCUSO, SANTOS, **Reuso de Água:**1 Ed. São Paulo: Editora manole,2003.

MOINHOPIRAMIDE. **Fábrica de tintas industriais,** 2017. Disponível em: <<http://www.moinhopiramide.com.br/fabricas-completas>> Acessado em 03 maio 2018.

MORAES, LEILA C. K. **Estudo da Coagulação-Filtração Para a Produção de Água Potável.** 2004. 135f. Tese (mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade estadual de Maringá, Maringá, 2007.

Norma ABNT NBR 10.004:2014, **Associação de resíduos sólidos,** agosto, 2006.

PAVANELLI. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de agua com cor ou turbidez elevada.** Tese de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos – SP (2001).

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Meio ambiente e uso de água,** 2017.Disponível em : <<https://www.portalsaofrancisco.com.br/meio-ambiente/usos-da-agua>. >Acessado em 03 jul. 2018.

R. N. Shreve, J. Jr. Brink, A. **Industria de Processos Químicos,** Editora Guanabara Koogan S.A., Rio de Janeiro, 4 ed., 1977, cap. 24.

RICHTER, Carlos A; AZEVEDO NETTO, José M. **Tratamento de Água.** São Paulo:EDGARD BLÜCHER, 2002.

RODRIGUES, José Carlos. **Resinas celulósicas, hidrocarbônicas, borracha clorada e de silicone. Tintas e Vernizes – Ciência e Tecnologia,** Vol. 1, 3ª ed. Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas, 2005.

ROSALINO, Melanie R. R. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano.** 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

SANTOS FILHO, D. F. **Tecnologia de Tratamento de Água : Água para Industria.** Rio de Janeiro: Almeida Neves, 1985.

SANTOS FILHO, Davino. F. dos. **Tecnologia de Tratamento de Água – Água para a Indústria.** 3 ed. São Paulo: NOBEL, 1985.

TARNOWSKI. **Fábrica de tintas industriais**. Joinville, 2013.

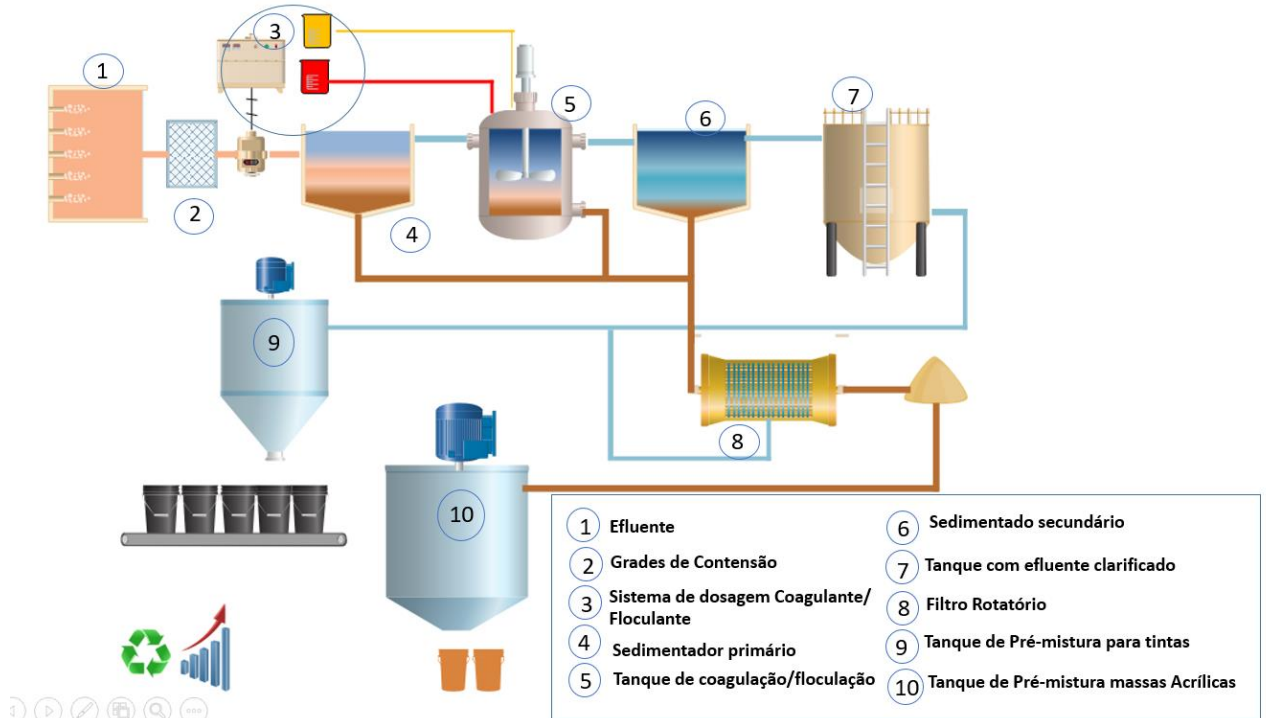
TRINDADE, N.E. **Curso de hidráulica**. 5.ed. Porto Alegre: Globo,1977.

TUNDIZI.J.G **Recursos no futuro, problemas e solução**. Scielo, Estudos avançados 22 (63), 2008.

YAMANAKA, Hélio T.; BARBOSA, Fábio S.; BETTIOL, Neliane L. S.; TAMDJIAN, Renata M. M.; FAZENDA, Jorge; BONFIM, Gisele; FURLANETI, Fernando; SILVA, Luis E. P.; MARTINS, Jaime; SICOLIN, Airton; BEGER, Ricardo. **Guia Técnico Ambiental Tintas e Vernizes** - Série P+L. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo - FIESP, 2006.

ANEXO – FLUXOGRAMA DA ETE

Fluxograma ETE processo coagulação/ floculação e decantação



Fonte: O Autor (2018).