



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA – CT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

GUILHERME DE ANDRADE CARVALHO DANTAS BARBOSA

**DETERMINAÇÃO DA REMOÇÃO DE COR E PARÂMETROS FÍSICO-
QUÍMICOS EM EFLUENTE TÊXTIL VIA ADSORÇÃO.**

JOÃO PESSOA – PB

2018

GUILHERME DE ANDRADE CARVALHO DANTAS BARBOSA

**DETERMINAÇÃO DA REMOÇÃO DE COR E PARÂMETROS FÍSICO-
QUÍMICOS EM EFLUENTE TÊXTIL VIA ADSORÇÃO.**

Trabalho de conclusão de curso realizado no Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba como requisito obrigatório para obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Genaro Zenaide Clericuzi

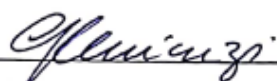
JOÃO PESSOA – PB

2018

GUILHERME DE ANDRADE CARVALHO DANTAS BARBOSA

DETERMINAÇÃO DA REMOÇÃO DE COR E PARÂMETROS FÍSICO-
QUÍMICOS EM EFLUENTE TÊXTIL VIA ADSORÇÃO

Trabalho aprovado em 20/06/2018



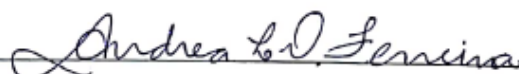
Professor Genaro Zenaide Clericuzi, Dr.

Orientador



Professor Leopoldo Oswaldo Alcázar Rojas, Dr.

Membro da Banca



Professora Andrea Lopes De Oliveira Ferreira, Dra.

Membro da Banca

João Pessoa,
Junho de 2018.

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

B238d Barbosa, Guilherme de Andrade Carvalho Dantas.
DETERMINAÇÃO DA REMOÇÃO DE COR E PARÂMETROS
FÍSICO-QUÍMICOS EM EFLUENTE TÊXTIL VIA ADSORÇÃO /
Guilherme de Andrade Carvalho Dantas Barbosa. - João
Pessoa, 2018.
65 f. : il.

Orientação: Genaro Zenaide Clericuzi.
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. adsorção, efluente têxtil, argila bentonita. I.
Clericuzi, Genaro Zenaide. II. Título.

UFPB/BC

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Paulo de Tarso e Adriana de Andrade e minha irmã Ana Paula por cada incentivo, orientação e conselhos. Obrigado por sempre estarem ao meu lado.

A esta instituição tão imponente eu agradeço pelo ambiente propício à evolução e crescimento, bem como a todas as pessoas que a tornam assim tão especial para quem conhece.

Ao longo de todo meu percurso eu tive o privilégio de trabalhar de perto com os melhores professores, educadores, orientadores. Sem eles não seria possível estar aqui hoje de coração repleto de orgulho. Agradeço em especial ao Prof. Dr. Genaro Zenaide Clericuzi pelo apoio e atenção durante todo o curso e principalmente por me orientar na realização deste estudo.

Aos meus amigos e colegas de curso, que são muitos, pelos momentos de estudo e companheirismo, que tornaram esses anos de graduação mais leves e sempre me apoiaram não só em relação ao curso, mas sempre pude contar com vários.

Aos amigos Arthur Pereira, Diogo Rafael, Raphael Vinícius, Angeolino Pontes e Mateus Sarmiento que me ajudaram ao longo deste trabalho.

Aos meus colegas de trabalho e também amigos da SUDEMA, que me ensinaram muito durante o período em que estive com eles, em especial a João Carlos de Miranda que possibilitou a coleta do efluente deste estudo, e a Bárbara Freire que me ajudou ao longo do trabalho.

RESUMO

Os corantes provenientes dos processos executados na indústria têxtil são descartados nos efluentes, ocasionando diversos problemas ambientais. O processo de adsorção vem se mostrando bastante eficiente e econômico, e o uso da argila como adsorvente vem ganhando espaço neste cenário, pois é um material que existe em abundância no Brasil, além de possuir baixo custo e não oferecer risco de contaminação ao meio ambiente. Este trabalho tem como objetivo avaliar a capacidade de remoção de contaminantes de um efluente têxtil real utilizando a argila como adsorvente, assim como fazer uma análise sobre um possível reuso. Os ensaios de adsorção foram realizados utilizando concentrações de 5% a 100% do efluente bruto, temperatura de 30°C submetido a agitação por 6 horas. Os materiais foram caracterizados através da análise granulométrica, da difração de raio-X (DRX) e da espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FT-IR). Foi obtido percentual de remoção de 66,4% para o maior valor de concentração, 81,7% na remoção de cor, 89,1% de turbidez, e 62,7% na remoção do fósforo total, mostrando assim resultados satisfatórios nestes parâmetros. O estudo das isotermas de adsorção foi realizado através do tratamento dos dados, possibilitando a obtenção do modelo de Freundlich como o mais apropriado, apresentando um coeficiente de regressão linear de 0,9730, possuindo um melhor ajuste para este modelo e o estudo da cinética mostrou que o processo atinge o equilíbrio em aproximadamente 100 minutos de ensaio. De acordo com os resultados deste estudo, é possível afirmar que o uso da argila como adsorvente foi satisfatório na remoção de alguns contaminantes contido no efluente, porém não torna possível o reuso do mesmo devido a ainda alta concentração de fósforo total.

Palavras-chave: adsorção, efluente têxtil, argila bentonita, remoção, contaminantes, isoterma.

ABSTRACT

The pigments coming from the processes executed in the textile industry are disposed on the effluents, leading to a variety of environmental problems. The adsorption process has proven to be efficient and cheap, and the use of clay as adsorber is growing in this scenario. This is occurring because not only an abundant material in Brazil, but also it has a low cost and offers no risk to the environment. The objective of this work is to evaluate adsorption capacity of removal of contaminants in a real textile effluent while using clay as adsorber, and also evaluate the possibility of reuse. The experiments of adsorption used portions of 5% to 100% of the total effluent, at temperatures of 30°C, and under agitation for 6 hours. The materials were characterized through granulometric analysis of the diffraction of x-ray and the spectroscopy of adsorption in the infrared region. A removal of 66,4% was obtained for the largest value of concentration, 81,7% in the color removal, 89,1% in turbidity, and 62,7 in the removal of total phosphorous. Thus, showing satisfactory results in those parameters. The study of adsorption isotherms was made through the processing of data, leading to a Freundlich model as the most fitting, with a linear regression coefficient of 0,9730. According to the results of this work, it is possible to affirm that the use of clay as adsorber was satisfactory in the removal of contaminants present in the effluent, however it is not possible to reuse it due to its high total phosphorous concentration.

Keywords: adsorption, textile effluent, bentonite clay, removal, contaminants, isotherm.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação dos corantes por aplicação	22
Figura 2 - Estrutura da montmorilonita.....	33
Figura 3 - Tanque primário do ETE da indústria têxtil estudada	34
Figura 4 - Tanques biológicos do ETE da indústria têxtil estudada.....	35
Figura 5 - Tanque decantador do ETE da indústria têxtil estudada	35
Figura 6 - Bombas dosadoras de polímero.....	36
Figura 7 - Sistema de Rolos prensa do ETE da indústria têxtil estudada.....	36
Figura 8 - Espectrofotômetro Spectroquant® Pharo 300	38
Figura 9 - Condutivímetro SC 1800.....	39
Figura 10 - Turbidímetro 2100Q HACH.....	40
Figura 11 - Kit MERC para análise de Nitratos	41
Figura 12 - Difratoograma da argila PMT-3	43
Figura 13 - Espectro na região infravermelho da argila PMT-3	44
Figura 14 - Gráfico do comprimento de onda do efluente têxtil	46
Figura 15 - Curva de calibração para o cálculo das concentrações.....	46
Figura 16 - Isoterma de adsorção	49
Figura 17 - Linearização do modelo de Freundlich	50
Figura 18 - Linearização do modelo de Langmuir.....	51
Figura 19 - Cinética de adsorção.....	53
Figura 20 - Modelo cinético de pseudo-primeira ordem	54
Figura 21 - Modelo cinético de pseudo-segunda ordem.	54
Figura 22 – Efluente antes do tratamento.....	56
Figura 23 – Efluente após tratamento	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos corantes por aplicação	22
Tabela 2 – Classificação dos corantes por aplicação	23
Tabela 3 – Tipo de Isoterma em relação ao fator r.....	31
Tabela 4 – Resultados das análises físico-químicas.....	45
Tabela 5 – Resultados obtidos para o %Rem e capacidade de remoção (q_{eq}) do efluente	47
Tabela 6 – Parâmetros das isotermas de Langmuir e Freundlich.....	51
Tabela 7 – Fator de separação para adsorção	51
Tabela 8 - Resultados obtidos no ensaio de cinética de adsorção	52
Tabela 9 - Parâmetros do modelo de pseudo-segunda ordem.....	55
Tabela 10 - Comparação dos parâmetros físico-químicos	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivos específicos.....	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1	A indústria têxtil no cenário nacional.....	15
3.1.1	<i>Indústria têxtil regional</i>	16
3.1.2	<i>Características dos estados do Nordeste que mais se destacam no ramo industrial têxtil</i>	17
3.1.3	<i>A Paraíba na indústria têxtil</i>	18
3.2	Reuso do efluente têxtil.....	19
3.3	Contaminantes.....	20
3.4	Corantes Têxteis.....	21
3.5	Adsorção	24
3.5.1	Fatores que influenciam a adsorção	25
3.5.2	<i>Equilíbrio de Adsorção</i>	27
3.5.3	<i>Isotermas de Adsorção</i>	28
3.5.4	<i>Isoterma de Freundlich</i>	29
3.5.5	<i>Isoterma de Langmuir</i>	30
3.5.6	<i>Cinética de Adsorção</i>	31
3.6	Argila.....	32
4	Metodologia	34
4.1	Coleta do efluente têxtil	34
4.2.1	<i>Varredura do Efluente Têxtil</i>	37
4.2.2	<i>Difração de Raios-X (DRX)</i>	37
4.2.3	<i>Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FT-IR)</i>	37
4.2.4	<i>Preparação e Caracterização da Argila PMT-3</i>	37
4.2.5	<i>Análises físico-químicas do efluente têxtil</i>	38
4.3	Experimentos de Adsorção.....	41
5	Resultados e Discussões.....	43
5.1	Caracterização da Argila	43
5.2	Difração de raios-X (DRX)	43
5.3	Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FT-IR).....	44

5.4	Caracterização e estudo do efluente têxtil.....	45
5.4.1	<i>Análises físico-químicas iniciais</i>	45
5.4.2	<i>Absorbância e Curva de Calibração</i>	45
5.5	Análise do percentual de remoção (%Rem) e Capacidade de remoção no equilíbrio (q_{eq}).....	47
5.6	Isotermas de Adsorção	48
5.7	Cinética de Adsorção	52
5.8	Análises físico-químicas finais.....	55
6	CONCLUSÕES.....	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

1 INTRODUÇÃO

Grande parte do nosso planeta é coberto pela água dos oceanos, rios, lagos, lençóis freáticos, entre outros. Entretanto, uma pequena parte dessa água é doce (cerca de 2,5%), e uma percentagem menor ainda é destinada para o consumo humano (aproximadamente 0,01% da quantidade de água existente no planeta terrestre), tornando necessário estudar e avaliar qualquer processo que vá gerar impacto negativo de recursos hídricos, para que possa tomar iniciativas para diminuir ou anular possíveis danos ao meio ambiente (MACHADO, 2003).

Tendo em vista a poluição dos recursos hídricos, a indústria têxtil descarta efluentes que contêm uma gama extensiva de contaminantes nocivos aos meios aquáticos. Eles incluem substâncias que são usadas como insumos e produtos auxiliares em processos têxteis que são removidos dos tecidos pelas águas de lavagem. Contribuindo quantitativa e qualitativamente com carga poluidora rejeitada no meio ambiente, os quais, quando não corretamente tratados, são indutores de sérios problemas de contaminação ambiental. Corantes apresentam alto potencial mutagênico e carcinogênico, além de serem pouquíssimo biodegradáveis, sendo assim uma fonte em potencial de contaminação ambiental (SOUZA, 2006; CERVANTES et al., 2009). De 1% a 15% do corante que é usado e aplicado na indústria têxtil não recebe o devido tratamento, e assim é liberado de qualquer forma em determinado efluente, interferindo diretamente na vida aquática ali presente de forma negativa (VAUTIER et al., 2001; DE SOUZA et al., 2008).

Como vêm sendo estudado diversos modos de minimizar os danos causados ao meio ambiente pelo descarte de efluentes, é de suma importância o aprofundamento no estudo de procedimentos que venham a combater estes contaminantes. Um dos procedimentos mais utilizados hoje em dia é a adsorção, operação esta, que pode ser utilizada a temperatura e pressão atmosférica facilitando muito seu emprego.

Nas últimas décadas, a adsorção vem sendo um dos processos mais populares quando o tema é tratamento de efluentes. A adsorção vem sendo estudada intensamente desde o início do século, apresentando interesses na área industrial e ambiental, além de ser importante em diversas áreas de estudo, sendo assim uma poderosa e valiosa ferramenta para a preservação ambiental. (COONEY, 1999; CRINI, 2005; DABROWSKI, 2001; GURGEL, 2007; MCKAY, 1996).

Segundo Moreira (2008), Tal processo é um dos mais eficientes quando falamos de efluentes e águas residuárias, assim é buscado para ser utilizado nas indústrias (principalmente têxtil) que têm contaminantes em seu processo de produção, visando reduzir a toxicidade de seus compostos ao meio ambiente causando o mínimo de dano possível.

Como essa preocupação a respeito da contaminação de efluentes vem crescendo, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos para encontrar matérias com capacidade de retirar esses poluentes sem agredir o ambiente aquático. Assim, as argilas são fortes candidatas a resolver este problema, pois possuem grande capacidade em adsorver estes poluentes orgânicos, além de apresentarem-se em abundância na natureza em algumas regiões do nosso país.

A argila escolhida foi a do tipo bentonita PMT-3, originária do município de Boa Vista na Paraíba, onde há uma grande reserva deste tipo de material. E sendo um produto do estado, gerará uma certa demanda para o produto e propiciando desenvolvimento para o estado.

2 OBJETIVOS

Avaliação da capacidade de remoção de contaminantes utilizando a argila do tipo bentonita PMT-3 cedida pela PEGMATECH no tratamento de efluente têxtil real.

2.1 Objetivos específicos

Caracterização dos parâmetros físico-químicos antes e depois do tratamento:

- Demanda química de oxigênio (DQO)
- Sólidos Totais
- Nitrato
- Cor
- Turbidez
- PH
- Condutividade
- Fósforo Total

Após comparar os resultados obtidos no trabalho com os do bruto, fazer uma análise para um possível reuso do mesmo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os tópicos posteriores vão abordar toda a teoria existente na literatura, referente ao objetivo do trabalho, a indústria têxtil no cenário nacional e regional, sobre a adsorção e sobre a argila neste quesito.

3.1 A indústria têxtil no cenário nacional

De acordo com Clementino (2012), os primórdios da indústria têxtil no Brasil é de longas datas, desde o período colonial, porém haviam alguns empecilhos que eram impostos pela família real portuguesa. O algodão foi a principal matéria-prima do país por muito tempo, tendo sido utilizado pelos índios antes dos portugueses, originando daí uma produção têxtil doméstica, apesar de pouco sólida.

Porém este cenário começa a mudar em meados dos anos 50, época em que ocorreram inovações na área industrial como um todo (MONTEIRO FILHA e CORRÊA, 2002). A partir de 1965, o setor começa a ser beneficiado com financiamentos concedidos pelo Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), com o objetivo de subsidiar a compra de máquinas e equipamentos, e a instalação de novas indústrias têxteis, promovendo uma modernização das fábricas. Porém, vale salientar que “os investimentos nesse setor foram pouco representativos até 1970, devido à elevada ociosidade e ao alto índice de obsolescência no parque fabril, notadamente na fiação e tecelagem de algodão” (MONTEIRO FILHA E CORRÊA, 2002).

Até a década de 90 o estado de São Paulo manteve sua liderança no mercado, mas a partir de 1996 houve uma queda (MELLO, 2004). Ainda com uma pequena participação nesse segmento. Em um próximo período, especificamente durante a Segunda Guerra Mundial, o cenário era favorável à indústria têxtil no Brasil. Durante essa guerra, as exportações eram ascendentes, porém, quando a mesma se findou, os preços dos produtos têxteis não tinham mais condições de competir internacionalmente devido a defasagem e a falta de novos investimentos em equipamentos, mostrando assim, a necessidade de uma modernização no setor.

Segundo MICHELLON (1999 apud MELLO, 2004) foi no final do século XX que se inicia o processo de industrialização brasileira, cujo surgimento da mão de obra

assalariada contribuiu bastante para que esse fato ocorresse, tendo o setor têxtil uma participação decisiva. As indústrias desse segmento foram sendo instaladas no território brasileiro e já no início do século havia aproximadamente 207 fábricas têxteis sendo 97 no Sudeste, 61 no Nordeste, 27 no Sul e 22 no Centro Oeste.

Em 1990 houve um aumento nas indústrias têxteis no Nordeste do Brasil, fato que se explica justamente pela grande quantidade de mão de obra existente na região principalmente nos estados de Ceará e Pernambuco, que precisando de renda aceitavam trabalhar pelo salário posto pelas empresas e indústrias que migravam de São Paulo para o Nordeste nesse momento (MELLO, 2004).

Nos dias atuais, a região Nordeste vem se destacando com a produção em larga escala de peças e produtos têxteis e de vestuário, abastecendo o mercado interno e produzindo também para exportação.

3.1.1 Indústria têxtil regional

Devido a cultura de cultivar o algodão no século XVIII, surgiram as primeiras indústrias têxtil na região. O mesmo foi utilizado para uso próprio em solo brasileiro e para exportação, principalmente quando ocorreu a guerra civil dos EUA, após esse período sua produção voltou a ser limitada para o abastecimento interno. A priori era uma indústria artesanal, que ganhou força e incentivo com a chegada da revolução industrial no Brasil, no século XIX (VIANA, 2005). Ainda segundo VIANA (2005, p. 23): A partir de 1930, uma intensa mudança ocorreu, já que o Estado de São Paulo observava intenso desenvolvimento em diversos setores. A indústria têxtil paulista tomou o lugar da indústria nordestina, tendo sua produção aumentada de 26,3% de participação na produção nacional, em 1907, para 60,6% em 1939. As principais atividades desenvolvidas no Nordeste eram a fiação e a tecelagem, mostrando que o Nordeste se especializou nas atividades que mais se mostravam vantajosas para as condições da região.

Como é sabido, a industrialização no Nordeste se deu de forma diversificada, cada região se industrializou de acordo com suas particularidades, assim como o Nordeste a indústria têxtil também acompanhou esse desenvolvimento diferenciado para cada estado da região. Após a crise pela qual o setor passou a perder sua posição para São Paulo, a indústria volta a participar com mais importância em âmbito nacional a

partir da década de 90 com a reestruturação econômica, onde a abertura comercial fez com que as empresas se reestruturassem, o que acompanhado da grande quantidade de mão de obra existente na região e as políticas de incentivos fiscais feitas pelo estado desencadeou uma forte migração das indústrias do Sudeste e Sul para o Nordeste, especialmente para os estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba, sendo estes os pontos mais estratégicos da região (VIANA, 2005).

3.1.2 Características dos estados do Nordeste que mais se destacam no ramo industrial têxtil

O principal estado da região é Ceará formado por médias e grandes empresas, sendo o segundo maior produtor de confecções do país respondendo por 16,5% do PIB estadual, essa produção é basicamente voltada para abastecer o mercado interno de confecções tendo uma participação fraca na pauta de exportação (VIANA, 2008). Na análise de MELO (2000 apud VIANA, 2005, p. 26), no Ceará está localizado o polo mais importante da região, tanto em termos quantitativos como em termos da diversificação da produção e do alcance de outros mercados.

O polo de confecções de Pernambuco é o segundo maior em importância do estado do Nordeste, se localiza nas cidades de Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe e Toritama, é caracterizado por um alto grau de informalidade principalmente no setor de confecções. Porém junto com o polo do Ceará saem do âmbito regional devido a sua competitividade em termos de preço e qualidade, porém o estado vem perdendo participação devido aos incentivos feitos nos estados do Ceará, Paraíba, Bahia e Rio Grande do Norte (VIANA, 2005). Na Bahia a indústria de confecções é basicamente constituída de pequenas e microempresas, concentradas em Salvador e Feira de Santana. Apresenta um grande potencial com relação ao crescimento por possuir um grande polo de algodão, tendo destaque na produção nacional do produto, possui também o polo petroquímico de Camaçari.

Em Rio Grande do Norte a produção de confecções se concentra na região metropolitana de Natal, com destaque para duas grandes empresas, a Guararapes e a Coteminas, segunda maior produtora têxtil do Brasil, especializada na produção de camisetas de malha para produção internacional, por ter essas duas grandes empresas o estado se destaca com relação ao número de empregos formais gerados.

A Paraíba possui seu destaque em João Pessoa e Campina Grande como grandes produtores de peças de vestuário, com uma produção local feita por pequenas e microempresas.

3.1.3 A Paraíba na indústria têxtil

Uma das vertentes produtivas mais tradicionais da Paraíba é a atividade têxtil. Com a aquisição e implementação de unidades de beneficiamento de algodão nos centros de convergência do produto (1920), a agregação de valor começa a se diversificar uma vez que a "pluma" serviu de matéria-prima para a indústria têxtil, enquanto que o "caroço" (semente) permitiu a produção de óleo (CINEP, 2016).

A partir de 1950, alia-se à indústria têxtil o processamento de sisal, dando ensejo a indústria de cordoaria de sisal que tinha no mercado externo a sua principal meta. Estes dois segmentos produtivos passam a constituir a base da indústria têxtil da Paraíba que, desde então, vem se modernizando radicalmente e crescendo de forma acelerada.

De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Paraíba emprega 9.672 pessoas na indústria têxtil (até o final de 2013, conforme os dados mais recentes oferecidos pelo órgão). O número deixa o estado atrás apenas do Ceará, que conta com 16.837 trabalhadores no setor têxtil.

Na comparação entre os últimos cinco anos levantados pelo IBGE (2008 a 2013), o número de pessoas empregadas no setor subiu 20,58% na Paraíba, sendo o segundo maior crescimento da Região Nordeste - a Bahia cresceu 25,78%. Dos nove estados nordestinos, cinco apresentaram redução no número de pessoas empregadas no setor têxtil. Em todo o País, ainda conforme o IBGE, uma queda de 1,56% foi registrada no período analisado.

Suas atividades estão concentradas na área metropolitana de João Pessoa, Campina Grande, Patos, Sousa e Cajazeiras. Destaca-se ainda a presença do Centro Nacional de Pesquisa Tecnológicas do Algodão, vinculado a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), onde foi desenvolvido o chamado Algodão Colorido da Paraíba, cuja fibra já nasce com as colorações marrom e bege, além da tradicional branca.

3.2 Reuso do efluente têxtil

Nos últimos anos, os problemas ambientais têm se tornado um fenômeno comum no nosso planeta, principalmente devido ao rápido avanço industrial e ao crescimento populacional descontrolado. A contaminação das águas naturais está crescendo a cada dia, fato muito impactante na sociedade contemporânea. Com isso, a economia que se faz através desses métodos nos processos produtivos em geral vem ganhando atenção no cenário industrial principalmente devido ao valor agregado atribuído, acerca de princípios tais como consumidor pagador e poluidor pagador, incorporados em nossa legislação (Kunz, 2002).

Na indústria têxtil, a água é muito usada para transportar produtos que entram no processo, assim como também para remover aqueles produtos que estão em excesso e que são indesejáveis para o substrato têxtil. A maior parte do material contaminante dos efluentes contém impurezas inerentes à matéria-prima, como por exemplo produtos químicos usados para auxiliar em alguma parte do processo e corantes que são eliminados em diferentes etapas do acabamento. A qualidade e quantidade da carga poluidora esta diretamente ligada com as fibras usadas para elaborar os tecidos crus (Twar, 2004).

O setor têxtil, nesse quesito, apresenta destaque devido ao grande volume de efluente altamente colorido gerado em seu parque industrial que são formados pelo fato de não se fixarem na fibra durante o tingimento, e que se não forem devidamente tratados causam contaminação ambiental em grande escala (Twar, 2004).

Em termos de consumo geral de água uma indústria, o setor têxtil é responsável por 15%. Os processos produtivos mais contaminantes da indústria têxtil estão ligados as partes de tinturaria e acabamento (TOLEDO, 2004). De acordo com MORAN et al. (1997) e TALARPOSHTI et al. (2001), as indústrias têxteis possuem cargas poluidoras consideradas altíssimas em seu efluente, pelo fato de que as variações em seus produtos e processos tornam seus efluentes um composto complexo.

A racionalização da água torna-se possível na indústria têxtil com a modernização dos equipamentos e incremento nos produtos e processos, buscando uma menor utilização de tal recurso. Para minimizar o consumo da água, é preciso monitorar os desperdícios que são feitos diariamente em cada etapa do processo produtivo, procedendo com outros insumos como energia térmica, elétrica, ou ar comprimido, visando a contenção de despesas.

Para CORRÊA JR. e FURLAN (2003), o grande desafio seria reduzir o consumo de água sem afetar o rendimento do processo, ou seja, tentar reduzir a captação sem afetar a rentabilidade. Este tema deverá ser destaque num futuro próximo, já que a escassez de água vem aumentando rapidamente nas últimas décadas.

3.3 Contaminantes

Um grande número de substâncias químicas orgânicas sintéticas são lançadas ao meio ambiente devido às atividades industriais. Os efluentes têxteis contêm uma gama extensiva de combinações não polar e polar, mas as polares são predominantes. Eles incluem substâncias que são usadas como insumos e produtos auxiliares em processos têxteis que são removidos dos tecidos pelas águas de lavagem. Contribuindo quantitativa e qualitativamente com carga poluidora rejeitada no meio ambiente, os quais, quando não corretamente tratados, são indutores de sérios problemas de contaminação ambiental.

Segundo Moraes (1999), o setor têxtil é conhecido por ter um potencial poluente altíssimo, que abrange cinco campos: emissões de gases e partículas, resíduos sólidos, efluentes líquidos, ruídos e odores. O alto consumo de água nas etapas do processo de fabricação de tecidos gera um alto volume de água residual com altas vazões e elevada toxicidade, assim tendo um efeito poluidor significativo (Vandevivere et al., 1998). Quando este efluente com alta toxicidade é descartado, causará grande impacto no corpo receptor, causado por seu alto nível de carga poluente (Kunz, 1999), pois os efluentes têxteis possuem elevados valores para níveis de coloração, demanda química e bioquímica de oxigênio, sólidos suspensos e baixas concentrações de oxigênio dissolvido (Schonbereger, 1999).

Grande parte dos efluentes gerados provém, sobretudo, das fases de lavagem e tingimento (Tunay et al, 1996). Devido à grande variedade de fibras, corantes, produtos auxiliares e de acabamento, tipos de equipamentos e processamento, os efluentes possuem grande diversidade e complexidade química. Entre os produtos que conferem elevada carga poluente, podemos destacar: amido, proteínas, substâncias gordurosas, surfactantes, produtos auxiliares no tingimento e os corantes. Além destes produtos, a temperatura elevada e pH dos banhos também conferem igualmente alto potencial poluidor (Silva, 2005).

Os efluentes têxteis caracterizam-se por serem altamente coloridos, devido à presença de corantes que durante o processo de tingimento não se fixam na fibra (O'Neil, 1999), gerando assim, grandes danos ambientais, impedindo a luz solar de chegar até o ecossistema aquático, prejudicando a qualidade da água para consumo (Schonbereger, 1999). Estes corantes (naturais ou xenobióticos) normalmente permanecem num determinado ambiente de forma inalterada ou apresentam uma cinética de degradação muito lenta para os processos biológicos convencionais, e geram efluentes finais (após o tratamento) com uma coloração ainda muito intensa (Bahorsky e Bryant, 1995; Peres, 1997). A molécula do corante possui uma estrutura responsável pela absorção da radiação visível e exposição da cor, sendo a família dos azocorantes a mais utilizada, correspondendo aproximadamente a 70% de todos os corantes têxteis produzidos (Vandevivere et al. 1998). Alguns corantes azóicos podem produzir organoclorados com alta toxicidade e cloraminas que além de tóxicas quando clivadas, podem gerar como subproduto substâncias indutoras de efeitos carcinogênicos e mutagênicos capazes de causar cânceros no organismo humano (Chung et al, 1992).

Os resíduos sólidos resultantes, assim como, os compostos poluentes utilizados no processo de fabricação das matérias-primas para a produção, o consumo elevado de água e a infiltração de águas contaminadas são constantes ameaças para a qualidade do solo no que se refere ao setor têxtil.

3.4 Corantes Têxteis

Corantes têxteis são compostos orgânicos cuja finalidade é colorir um determinado substrato, ou seja, uma fibra natural ou sintética. Os corantes apresentam dois componentes principais na sua estrutura molecular: o grupo funcional que permite a fixação nas fibras dos tecidos e o grupo cromóforo, responsável pela cor que absorve a luz solar. A forma da fixação da molécula do corante às fibras é feita geralmente em solução aquosa e as ligações das interações são basicamente de quatro tipos: ligações iônicas, ligações de hidrogênio, ligações de Van der Waals, e ligações covalentes.

Vários corantes são usados nas indústrias têxteis, alimentícia, de fabricação de papel e na indústria cosmética. Estes corantes, em especial os corantes têxteis, são considerados extremamente perigosos devido sua toxicidade e por apresentarem baixa taxa de degradabilidade (PEIXOTO, MARINHO, & RODRIGUES, 2013).

Os corantes são classificados de acordo com sua estrutura química ou de acordo com o método que ele é inserido na fibra têxtil. Os principais grupos de corantes classificados pelo tipo de fixação são mostrados nas Tabelas 1 e 2:

Tabela 1 – Classificação dos corantes por aplicação

CLASSE	CLASSIFICAÇÃO POR APLICAÇÃO
Acridina	Básicos
Aminocetona	À tina, mordentes
Antraquinona	Ácidos, à tina, dispersos, azóicos, básicos, diretos, reativos
Ao enxofre	Enxofre, à cuba
Azina	Ácidos, básicos, solventes
Azo	Ácidos diretos, dispersos, básicos, mordentes, reativos
Azóico	Básicos, naftóis
Difenilmetano	Ácidos, básicos, mordentes
Estilbeno	Diretos, reativos, branqueadores ópticos
Ftalocianina	Ácidos, diretos, azóicos, à cuba, reativos, solventes
Indamina e Indofenol	Básicos, solventes
Indigóide	À tina
Metina e Polimetina	Básicos, dispersos
Nitro	Ácidos, dispersos, mordentes
Nitroso	Ácidos, dispersos, mordentes
Oxazina	Básicos, mordentes
Quinolina	Ácidos, básicos
Tiazina	Básicos, mordentes
Triazol	Branqueadores ópticos, básicos, diretos
Triarilmetano	Ácidos, básicos, mordentes
Xanteno	Ácidos, básicos, branqueadores ópticos, solventes

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA, 2011.

Tabela 2 – Classificação dos corantes por aplicação

CLASSE	PRINCIPAIS CAMPOS DE APLICAÇÃO
Branqueadores ópticos	Detergentes, fibras naturais, fibras artificiais, fibras sintéticas, óleos, plásticos, sabões, tintas e papel
Corantes	
À cuba	Fibras naturais e artificiais
À tina	Fibras naturais
Ácidos	Alimentos, couro, fibras naturais e sintéticas, lã e papel
Ao enxofre	Fibras naturais
Azóicos	Fibras naturais e sintéticas
Básicos	Couro, fibras sintéticas, lã, madeira, papel
Diretos	Couro, fibras naturais e artificiais, papel
Dispersos	Fibras naturais e sintéticas
Mordentes	Alumínio anodizado, lã, fibras naturais e sintéticas
Reativos	Couro, fibras naturais e artificiais, papel
Solventes	Ceras, cosméticos, gasolina, madeira, plásticos, solventes orgânicos, vernizes e tintas
Pré-metalizados	Fibras protéicas e poliamidas

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA, 2011.

A produção total de corantes no mundo é estimada em 800.000 ton./ano e pelo menos 10-15% destes corantes entram no meio ambiente através dos efluentes (GANODERMAIERI, G., CENNAMO, G., SANNIA, G., 2005, REVANKAR, M.S., LELE, S.S., 2007).

Na falta de alguma regulamentação governamental específica de disposição desses corantes, o problema se mostra como a principal dificuldade em relação às

atividades têxteis e o meio ambiente (MORAES, S.G., FREIRE, R. S., DURÁN, N., 2000).

Na Paraíba, o órgão ambiental CONAMA é responsável pela fiscalização da qualidade do efluente produzido pela indústria têxtil. Assim, é de suma importância que as propriedades físico-químicas do efluente esteja dentro dos limites estabelecidos pela Norma Técnica 301 de 2013.

A taxa volumétrica extremamente alta de efluente industrial descartada em combinação com o aumento do rigor da legislação, faz a pesquisa de tecnologias apropriadas de tratamento uma prioridade (ROMERO, S., 2006, WESENBERG, D., 1999).

3.5 Adsorção

A adsorção é um fenômeno em que uma fase fluida entra em contato com uma fase sólida para realização de transferência de massa. O sólido ou adsorvente, tem a capacidade de remover partículas indesejadas presentes na fase fluida. O material que foi adsorvido pelo sólido, fica acumulado na superfície do adsorvente. Uma vez que os componentes adsorvidos concentram-se sobre a superfície externa, quanto maior for esta superfície externa por unidade de massa sólida, mais favorável será a adsorção. Por isso, geralmente os adsorventes são sólidos com partículas porosas (RUTHVEN, 1984).

Então, a adsorção se tornou o método mais popular para este fim, ganhando importância como um processo de purificação e separação. A adsorção tem sido objeto de interesse dos cientistas desde o início do século, apresentando importância tecnológica, biológica, além de aplicações práticas na indústria e na proteção ambiental, tornando-se uma ferramenta útil em vários setores (COONEY, 1999; CRINI, 2005; DABROWSKI, 2001; GURGEL, 2007; MCKAY, 1996). Adsorção é um dos processos mais eficientes de tratamento de águas e águas residuais, sendo empregadas nas indústrias a fim de reduzir dos seus efluentes os níveis de compostos tóxicos ao meio ambiente (MOREIRA, 2008).

O processo de adsorção é baseado em três mecanismos: o mecanismo estérico, mecanismo de equilíbrio e mecanismo cinético. O mecanismo estérico determina que os sítios ativos dos adsorventes possuem dimensões específicas, assim, apenas moléculas de dimensões menores ou iguais aos poros do adsorvente podem se infiltrar. O

mecanismo de equilíbrio, trata-se da capacidade que os diferentes sólidos possuem para acomodar diferentes tipos de adsorbatos. O mecanismo cinético, é baseado nas difusividades dos sítios ativos do adsorvente.

Dependendo da natureza das forças envolvidas, a adsorção pode ser considerada física ou química. Na adsorção física, as interações moleculares entre adsorbato e adsorvente são mais fracas, isso é atribuído as forças de Van der Waalls. É um processo que envolve um calor de adsorção pequeno, da mesma ordem de grandeza dos calores de condensação. Devido a fraca interação molecular, o processo de adsorção física é completamente reversível, assim pode-se reutilizar o adsorvente em processos futuros. Outra característica da adsorção física é que ela ocorre em toda a superfície do adsorvente, por isso é dita ser não localizada, ao passo que a adsorção química só pode ocorrer nos sítios ativos, sendo assim, é dita localizada (Adsorção: Aspectos teóricos e Aplicações Ambientais, 2014).

Na adsorção química ou quimissorção, ocorre ligações químicas entre as moléculas do adsorvente e o adsorbato, ou seja, a troca de elétrons está acontecendo. A adsorção química acontece em uma única camada e geralmente é necessário que aconteça uma adsorção física anteriormente. Devido às fortes interações moleculares, a adsorção química é considerada irreversível, sendo o calor de adsorção da mesma ordem de grandeza dos calores de reação. A variação de entalpia é positiva, indicando então que o processo é endotérmico, ou seja, um aumento na temperatura favorece a adsorção (YOUSSEF *et al.*, 2004).

3.5.1 Fatores que influenciam a adsorção

O fenômeno de adsorção acontece devido a interação molecular entre a superfície do adsorvente e o adsorbato. Portanto, os fatores que influenciam o processo estão ligados a essa combinação de forças moleculares. No adsorvente é necessário ter conhecimento a respeito da sua área superficial, tamanho dos poros, densidade, grupos funcionais presentes na superfície e hidrofobicidade do material. Por outro lado, no adsorbato é preciso saber sua polaridade, pH, tamanho da molécula e encontrar a temperatura ótima de interação com o adsorvente. As condições operacionais incluem, principalmente, temperatura, pH e natureza do solvente (COONEY, 1999).

a) Área Superficial

A intensidade da adsorção é proporcional à área superficial específica, visto que a adsorção é um fenômeno de superfície. Para partículas maiores, a resistência à difusão é menor e grande parte da superfície interna da partícula não é disponibilizada para adsorção (SEKAR et al., 2004).

b) Propriedades do Adsorvente

A natureza físico-química do adsorvente é fator determinante, pois a capacidade e a taxa de adsorção dependem da área superficial específica, porosidade, volume específico de poros, distribuição do tamanho de poros, dos grupos funcionais presentes na superfície do adsorvente e da natureza do material precursor (DOMINGUES, 2005).

c) Propriedades do Adsorvato

Devido a taxa de adsorção depender das interações intermoleculares, o tamanho da partícula de adsorvato é um fator que altera significativamente a taxa de adsorção. Outra característica de forte influência é a polaridade do adsorvato, uma vez que uma espécie polar terá mais afinidade para o solvente ou para o adsorvente, conforme a polaridade (DOMINGUES, 2005).

d) Temperatura

Em processos de adsorção, o efeito da temperatura sobre o sistema afeta, principalmente, a constante de velocidade de adsorção. Um aumento na temperatura pode ocasionar aumento de energia cinética e na mobilidade das espécies do adsorvato, e ainda provocar um aumento na taxa de difusão intrapartícula do adsorvato (JIMENEZ; BOSCO; CARVALHO, 2004). Segundo Khattri e Singh (1999), já para a adsorção, o aumento de temperatura não é favorável. O aumento na temperatura pode afetar a solubilidade e o potencial químico do adsorvato. Desta forma, a alteração na temperatura de um processo conduz a uma mudança na capacidade de adsorção.

A temperatura possui dois efeitos importantes sobre o processo de adsorção. Um aumento da temperatura aumenta a taxa de difusão das moléculas do adsorvato em toda camada limite externa e interna nos poros da partícula do adsorvente, devido à diminuição na viscosidade da solução. Além disso, a variação da temperatura altera o estado de equilíbrio da adsorção para um determinado adsorvato (DOGAN; ALKAN; DEMIRBAS, 2006). Um aumento da temperatura pode produzir uma desobstrução de poros no interior da estrutura do adsorvente, permitindo a penetração de moléculas maiores do adsorvato (DOGAN; ALKAN; DEMIRBAS, 2006).

e) pH

O pH do meio determina quais espécies químicas serão adsorvidas pela superfície do adsorvente. Um índice conveniente da tendência de uma superfície se tornar positiva ou negativamente carregada em função do pH, é o valor do mesmo requerido para que a carga líquida do adsorvente seja nula, o chamado ponto de carga zero (pHPZC). Para valores de pH inferiores ao pHPZC, a carga superficial é positiva e a adsorção de ânions é favorecida; e para valores de pH superiores ao pHPZC, a carga superficial é negativa e a adsorção de cátions é favorecida (APEEL; MA; RHUEL, 2003).

A teoria que determina a obtenção do PZC, afirma que os íons OH^- e H^+ constituem íons determinantes em potencial. O adsorvente em fase aquosa poderá adsorver estes íons e a carga superficial, assim, a seletividade de adsorção dos íons dependerá do pH da solução. As superfícies de cada sítio ativo podem associar ou dissociar íons da solução, tudo dependerá das características do adsorvente e do pH do meio. Consequentemente, a superfície dos sítios ativos torna-se positivamente carregada quando se associa com os prótons provenientes da solução, sob condições ácidas, ou negativamente carregadas quando ocorre a perda de prótons para a solução, sob condições alcalinas (ČEROVIĆ et al., 2007).

3.5.2 Equilíbrio de Adsorção

O equilíbrio de adsorção é um requisito primordial para determinação de parâmetros importantes que viabilizam e aprimoram o processo de adsorção. Quando

uma determinada massa de adsorvente é colocada em contato com o líquido, é preciso determinar o tempo que o processo leva para saturar, ou seja, o tempo máximo em que aquela quantidade de adsorvente não fará mais efeito pois toda a superfície do sólido já está repleta do material adsorvido. Nesse estágio é dito que o sistema atingiu o estado de equilíbrio e a capacidade de adsorção do adsorvente (q_e) é determinada (COONEY, 1999).

A eficiência do processo é determinada a partir dos dados de equilíbrio do sistema. Portanto, esses dados geram as isotermas de adsorção, são elas que mostram a capacidade de adsorção de um adsorvente. Desta forma, o processo de adsorção pode ser avaliado quantitativamente por meio das isotermas. Além disso, para um bom desempenho de um sistema de adsorção para remoção de corantes é importante descrever os dados de equilíbrio por meio de um modelo matemático e avaliar os fatores que influenciam essa adsorção (Costa de Oliveira, 2010). Dentre os principais fatores que influenciam o processo de adsorção pode-se destacar o pH, temperatura e concentração da solução, além das características físico químicas do adsorvente e adsorvato (Costa de Oliveira, 2010). Normalmente, a quantidade de material adsorvido para a massa unitária de adsorvente aumenta com a concentração do adsorvente, embora não diretamente (MISSEN, 1999).

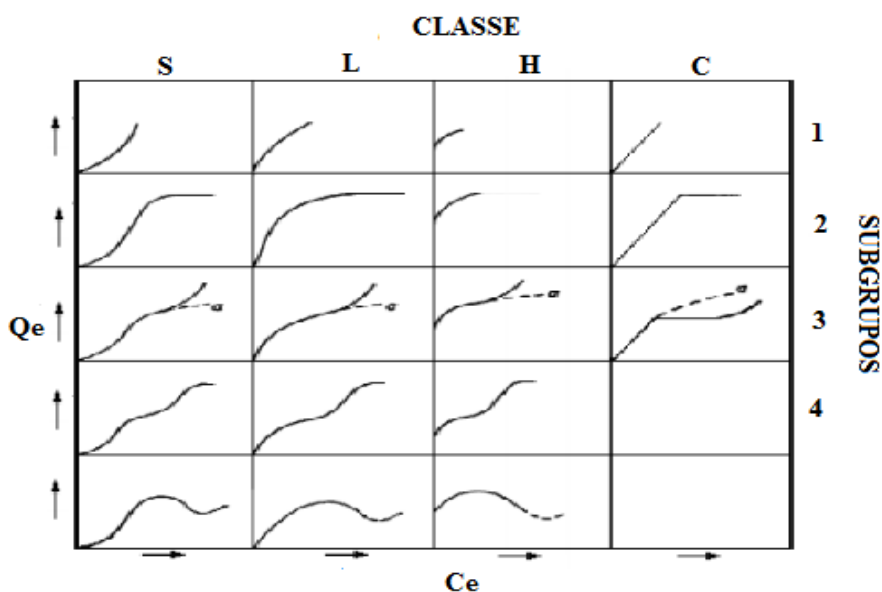
3.5.3 *Isotermas de Adsorção*

O estudo de um processo de adsorção de um dado adsorvente requer o conhecimento de informações de equilíbrio de adsorção. Os dados de equilíbrio são obtidos das isotermas de adsorção, as quais são utilizadas, para avaliar a capacidade de diferentes adsorventes para adsorver uma determinada molécula. As isotermas de adsorção fornecem informações sobre como o adsorvente efetivamente adsorverá as impurezas presentes e se a purificação desejada poderá ser obtida. Além disso, pode se ter uma estimativa da quantidade máxima de impurezas que será adsorvida e, ainda, é útil na avaliação econômica do uso de um determinado adsorvente e na remoção de um contaminante específico durante o tratamento de efluentes (ROOSTAEI e TEZE, 2004).

As isotermas são a maneira mais conveniente para se especificar o equilíbrio de adsorção e o seu tratamento teórico. A forma das isotermas também é a primeira ferramenta experimental para conhecer o tipo de interação entre o adsorbato e o

adsorvente (CASTILLA, 2004). Giles et al. (1960) dividiram as isotermas de adsorção em quatro classes principais, de acordo com sua inclinação inicial e, cada classe, por sua vez, em vários subgrupos, baseados na forma das partes superiores da curva. As quatro classes foram nomeadas de isotermas do tipo S (“Spherical”), L (“Langmuir”), H (“High affinity”) e C (“Constant partition”), e estão apresentadas na Figura 1.

Figura 1 – Classificação das isotermas de adsorção



Fonte: OSCIK, 1982 apud BUENO, 2007

3.5.4 Isoterma de Freundlich

Esse modelo, um dos mais divulgados para a adsorção de compostos em soluções líquidas, foi proposto originalmente por Boedeker em 1885 e popularizado por Freundlich (1906). Foi desenvolvido a partir de estudos sobre a adsorção de compostos orgânicos de soluções aquosas em carvão vegetal (TADINI et al., 2015). A isoterma de Freundlich está representada na Equação (1):

$$q_e = b C_e^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

Onde, q_e : quantidade de soluto adsorvido por grama de adsorvente no equilíbrio (mg/g);

C_e : concentração do adsorbato no equilíbrio (mg/ L) ;

K_F : constante de capacidade de adsorção de Freundlich ((mg/g)
(mg/g^{1/n});

1/n: constante relacionada à intensidade de adsorção de Freundlich.

Esta equação é usada em sua forma linearizada, sendo expressa por:

$$\ln q_e = \ln b + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (2)$$

Então, para obtermos os parâmetros em questão, é necessário plotar um gráfico com os valores de $\log q_e$ em função de $\log C_e$.

3.5.5 *Isoterma de Langmuir*

As isotermas do tipo I, que são as mais comuns, são geralmente representadas pelo modelo de Langmuir. Esse modelo clássico de isoterma talvez seja o mais conhecido dentre todos e preferencialmente adotado como primeira escolha para o ajuste de dados experimentais. Foi proposto por Langmuir em 1916 (TADINI et al., 2015). A expressão que representa a isoterma de Langmuir é dada pela equação 3:

$$q_e = \frac{b q_m C_e}{1 + b C_e} \quad (3)$$

Onde, q_e : quantidade de soluto adsorvido por grama de adsorvente no equilíbrio(mg /g);

q_m : capacidade máxima de adsorção (mg/ g);

C_e : concentração do adsorbato no equilíbrio (mg/ L) ;

b : constante de adsorção de Langmuir (L/ mg).

Assim como na isoterma de Freundlich, esta equação também é usada na forma linearizada para determinarmos os valores de q_m e b , como mostra a equação 4:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m b C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (4)$$

Ainda há uma forma onde a isoterma de Langmuir pode ser expressa, como vêm ser calculado na equação 5 e interpretada na tabela 3:

$$r = \frac{1}{1 + b C_0} \quad (5)$$

Tabela 3 – Tipo de Isoterma em relação ao fator r.

Valor de r	Tipo de isoterma
$0 < r < 1$	Favorável
$r = 1$	Linear
$r > 1$	Desfavorável
$r = 0$	Irreversível

Fonte: NGAH e LIANG, 1999.

3.5.6 Cinética de Adsorção

O conhecimento da cinética de adsorção representa o primeiro passo para investigar as possibilidades de uso de um adsorvente em um determinado processo de separação. O processo de adsorção de um fluido em um sólido poroso envolve as seguintes etapas:

Transporte das moléculas do fluido do interior da fase fluida até a camada limite que circunda o sólido;

Movimento das moléculas do fluido através da camada limite até a superfície externa do sólido e adsorção nos sítios superficiais externos;

Difusão das moléculas do fluido no interior dos poros do sólido;

Adsorção das moléculas do fluido nos sítios disponíveis na superfície interna do sólido.

Um dos vários processos anteriores pode ser muito mais lento que outros e, neste caso, ele determina a taxa de adsorção (CIOLA, 1981). A primeira etapa de adsorção pode ser afetada pela concentração do adsorbato e pela agitação. Portanto, um aumento da concentração do adsorbato pode acelerar a difusão das moléculas da solução para a superfície do sólido (SOARES, 1998). Além disso, alguns modelos cinéticos podem ser adotados para identificar e compreender o mecanismo do processo, destacando-se os modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem (HO e MCKAY, 1999).

O modelo de pseudo-primeira ordem é representado pela equação a seguir:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 \cdot (q_e - q_t) \quad (6)$$

Onde, q_e : quantidade de soluto adsorvido no equilíbrio (mg/g);

k_1 : Constante de equilíbrio de primeira ordem (min^{-1});

q_t : quantidade de soluto adsorvido em função do tempo (mg/g);

t : tempo (min).

Integrando a equação 6 e usando as condições de contorno com t variando de 0 a t e q_t variando de 0 a $q_t(t)$ e linearizando-a, têm-se:

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2,303 t} \quad (7)$$

Equação esta, utilizada para a determinação dos parâmetros q_e e k_1 , que se dá pela construção de um gráfico de $\log(q_e - q_t)$ em função de t, onde serão usado os valores obtidos no experimento de cinética.

Já o modelo de pseudo-segunda ordem, é representado pela equação:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 \cdot (q_e - q_t) \quad (8)$$

Onde, q_e : quantidade de soluto adsorvido no equilíbrio (mg/g);

k_2 : constante de equilíbrio de segunda ordem (g/mg.min);

q_t : quantidade de soluto adsorvido em função do tempo (mg/g);

t: tempo de adsorção (min).

Integrando a equação 8 e usando as condições de contorno citadas no modelo de pseudo-primeira ordem e também linearizando-a, têm-se:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (9)$$

Esta equação, por sua vez, é utilizada para a determinação dos parâmetros q_e e k_2 , que se dá pela construção de um gráfico de $1/q_t$ em função de t, onde serão usados os valores obtidos no experimento de cinética (SILVA, 2010).

3.6 Argila

A argila é um mineral de rochas sedimentares compostas de grãos muito finos de silicatos de alumínio, associados a óxidos que lhes dão diversas tonalidades e propriedades. São originadas a partir de um conjunto de processos físicos e químicos que modificam as rochas e alteram sua forma física e composição química.

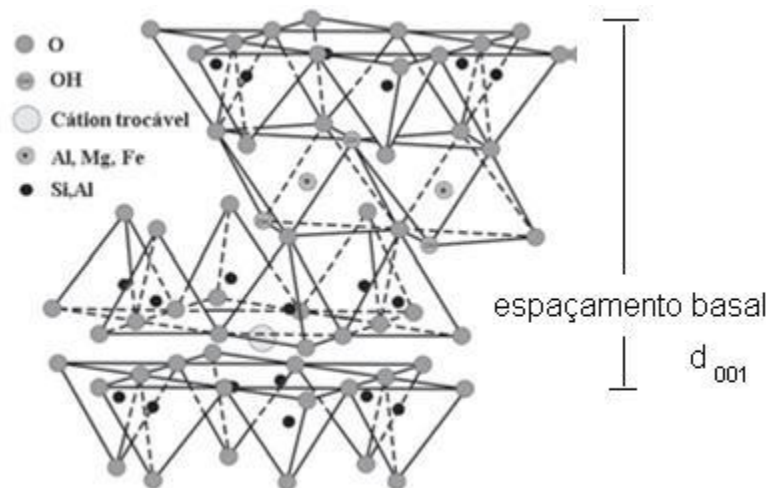
Suas propriedades úteis são advindas de minerais argilosos, característicos de argilas e geralmente cristalinos, que são denominados silicatos hidratados, podendo conter cátions como: Al^{+3} , Mg^{+2} , Ca^{+2} , K^{+} . As argilas têm como componentes característicos os minerais argilosos, onde estes podem ocorrerem sós, ou podem estar

misturados em diversas proporções com outros minerais não argilosos, como por exemplo o quartzo, mica, feldspato, etc (FERNANDES, *et al*, 2013).

Possui ampla aplicação industrial, a argila é usada principalmente na fabricação de revestimentos cerâmicos, louças, utensílios domésticos, decoração, mas seu uso vem se ampliando cada vez mais para tratamentos estéticos, medicinais e como adsorventes.

Bentonita é uma argila que contém a montmorillonita como argilomineral mais abundante pertencente ao grupo das esmectitas. Ela pertence ao grupo dos filossilicatos 2:1, e possui estruturas constituídas por duas folhas tetraédricas de sílica com uma folha central octaédrica de alumina, que são unidas entre si por átomos de oxigênio (FERNANDES, *et al*, 2013), representada na Figura 2:

Figura 2 - Estrutura da montmorillonita



Fonte: FERNANDES e PENHA, 2013.

Em seu estudo, Teleken et al. (2015) mostrou que a argila do tipo bentonita foi eficaz na redução de acidez de óleo residual, enfatizando suas características físicas e químicas de troca catiônica, bem como sua baixa densidade e alta porosidade.

4 Metodologia

Neste tópico será citado todos os procedimentos feitos em laboratório para tratamento do efluente têxtil, desde o adsorvente escolhido para os testes de adsorção.

4.1 Coleta do efluente têxtil

O efluente têxtil utilizado, foi coletado em uma indústria têxtil de grande porte, localizada na região industrial de João Pessoa – PB. Esta indústria dispõe de uma estação de tratamento de fluente (ETE) convencional, onde é composta com um tanque primário (com dosador de ácido), dois tanques biológicos (coagulante utilizado é o cloreto de alumínio), sistema de bombeamento de polímero, um tanque decantador e um sistema de prensas que trabalha 24h por dia para remoção do lodo. Uma coleta foi realizada no tanque primário, - onde se encontra o efluente bruto, coleta esta, realizada em Abril de 2018. As Figuras 3, 4, 5, 6 e 7 mostram o ETE estudado:

Figura 3 - Tanque primário do ETE da indústria têxtil estudada



Fonte: Autoria própria.

Figura 4 - Tanques biológicos do ETE da indústria têxtil estudada



Fonte: Autoria própria.

Figura 5 - Tanque decantador do ETE da indústria têxtil estudada



Fonte: Autoria própria.

Figura 6 - Bombas dosadoras de polímero



Fonte: Autoria própria.

Figura 7 - Sistema de Rolos prensa do ETE da indústria têxtil estudada



Fonte: Autoria própria.

4.2.1 Varredura do Efluente Têxtil

A amostra da coleta de efluente têxtil foi analisada no espectrofotômetro do Laboratório de Carvão Ativado (LCA), localizado na Universidade federal da Paraíba. O objetivo desta varredura foi obter o comprimento de onda mais relevante no efluente e obter uma curva de calibração. Posteriormente, todas análises seriam baseadas no comprimento de onda saliente obtido, e o tratamento dos dados feitos com base na curva de calibração obtida.

4.2.2 Difração de Raios-X (DRX)

A argila foi caracterizada por difração de raios-X (DRX) no Laboratório de Combustíveis e Materiais (LACOM) da UFPB, pelo aparelho de difração de raios-X, Shimadzu XRD com fonte de radiação $\text{CuK}\alpha$, tensão de 40 KV, corrente de 30mA, tamanho do passo de 0,02 θ e tempo por passo de 0,60s, com velocidade de varredura de 2 $^\circ$ (2 θ) /min, com ângulo 2 θ percorrido de 3 $^\circ$ a 50 $^\circ$.

4.2.3 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FT-IR)

A argila foi caracterizada por FT-IR no Laboratório de Combustíveis e Materiais da UFPB. Os espectros de adsorção foram obtidos pelo espectrofotômetro de infravermelho por transformada de Fourier modelo vertex70 – Bruker, em comprimento de onda na faixa de 4500 - 500 cm^{-1} .

4.2.4 Preparação e Caracterização da Argila PMT-3

A argila passou apenas por granulometria, no Laboratório de Operações Unitárias da UFPB, proveniente da indústria Pegmatech - Especialidade Tecnológica Ltda, na Paraíba. Na Granulometria a Argila utilizada ficou entre as peneiras de 115 e 200 mesh.

4.2.5 Análises físico-químicas do efluente têxtil

De acordo com os limites da CONAMA, todo efluente têxtil com desembocadura em algum rio ou lago, precisa seguir uma série de padrões necessários para a preservação do meio ambiente, esses parâmetros são: sólidos dissolvidos totais, demanda química de oxigênio (DQO), nitratos, cor, turbidez, PH, condutividade e fósforos totais.

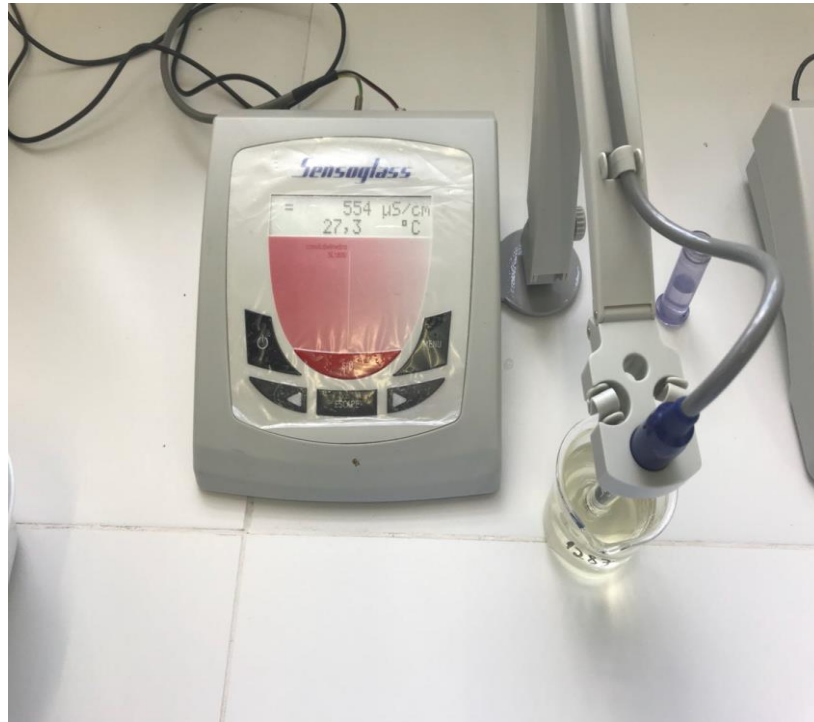
As análises citadas foram feitas no laboratório de Coordenadoria de Medições Ambientais (CMA) da Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA), onde todos os parâmetros foram analisados e comparados antes e depois do tratamento via adsorção. Nesta etapa, os equipamentos utilizados foram o Spectroquant® Pharo 300, Condutivímetro SC 1800 Sensoglass, Turbidímetro 2100Q HACH e os kits de análises MERC referente a cada parâmetro, mostrados nas Figuras 8, 9, 10 e 11:

Figura 8 - Espectrofotômetro Spectroquant® Pharo 300



Fonte: Autoria própria.

Figura 9 - Condutivímetro SC 1800



Fonte: Autoria própria.

Figura 10 - Turbidímetro 2100Q HACH



Fonte: Autoria própria.

Figura 11 - Kit MERC para análise de Nitratos



Fonte: Autoria própria.

4.3 Experimentos de Adsorção

Os experimentos em banho finito pelo processo de adsorção foram realizados no Laboratório de Carvão Ativado (LCA), utilizando o efluente têxtil em questão para a obtenção das isothermas e cinética de adsorção.

Isotermas

Os ensaios foram preparados usando-se 1g da argila PMT-3 e 50ml do efluente têxtil nas diluições de 5, 10, 25, 35, 50, 60 e 75%, além do efluente bruto (100%) em erlenmeyers de 250ml e vedados com papel filme. Em seguida foram postos na mesa agitadora por um período de 6 horas à 250rpm, de forma que fosse garantido o equilíbrio no sistema. A leitura foi feita no Espectrofotômetro SHIMADZU mini-1240.

A porcentagem de remoção do efluente no processo (%Rem) e a capacidade de remoção no equilíbrio (q_{eq}) foram obtidas através das equações 6 e 7, respectivamente:

$$\% \text{Rem} = \left(\frac{C_0 - C_f}{C_0} \right) * 100 \quad (6)$$

Onde, C_0 : concentração inicial da solução (mg/L)

C_f : concentração final da solução (mg/L)

$$q_{\text{eq}} = \frac{V}{m} (C_0 - C_e) \quad (7)$$

Onde, V : volume da solução (mL)

m : massa de adsorvente (g)

C_0 : concentração inicial da solução (mg/L)

C_e : concentração no equilíbrio (mg/L)

Cinética

Após o tratamento de dados do primeiro banho finito, os ensaios foram preparados usando 1g da argila PMT-3 e 50ml do efluente têxtil bruto em todas elas, em seguida foram postas na mesa agitadora e foi retirando-se os erlenmeyers nos intervalos de tempo (5, 10, 20, 30 50, 100, 220 e 360min) para que fosse obtida a cinética de adsorção.

5 Resultados e Discussões

Nos tópicos a seguir, serão discutidos todos os dados obtidos durante todos os experimentos realizados, determinação e comparação dos parâmetros físico-químicos analisados na temperatura de 35° C e pH 8,12, isotermas de adsorção e possível reuso na indústria têxtil.

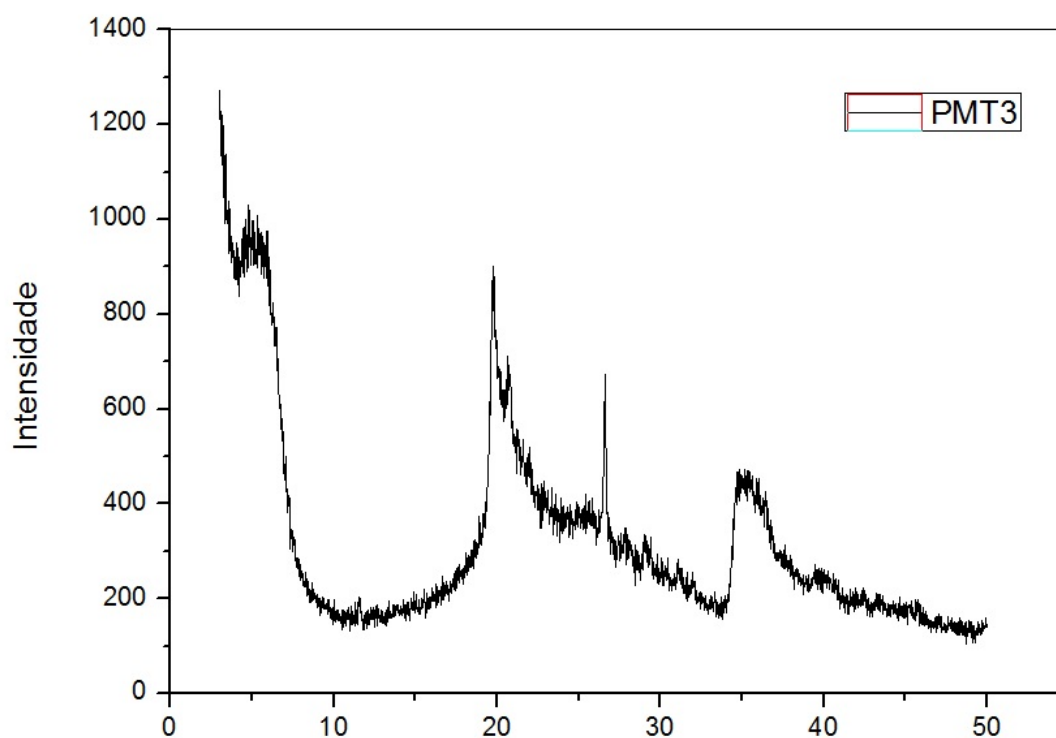
5.1 Caracterização da Argila

Nesta sessão serão discutidos os resultados obtidos na difração de raios-X (DRX) e espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FT-IR) obtidos com a argila PMT-3.

5.2 Difração de raios-X (DRX)

Na Figura 12, temos a difratograma do adsorvente utilizado:

Figura 12 - Difratograma da argila PMT-3



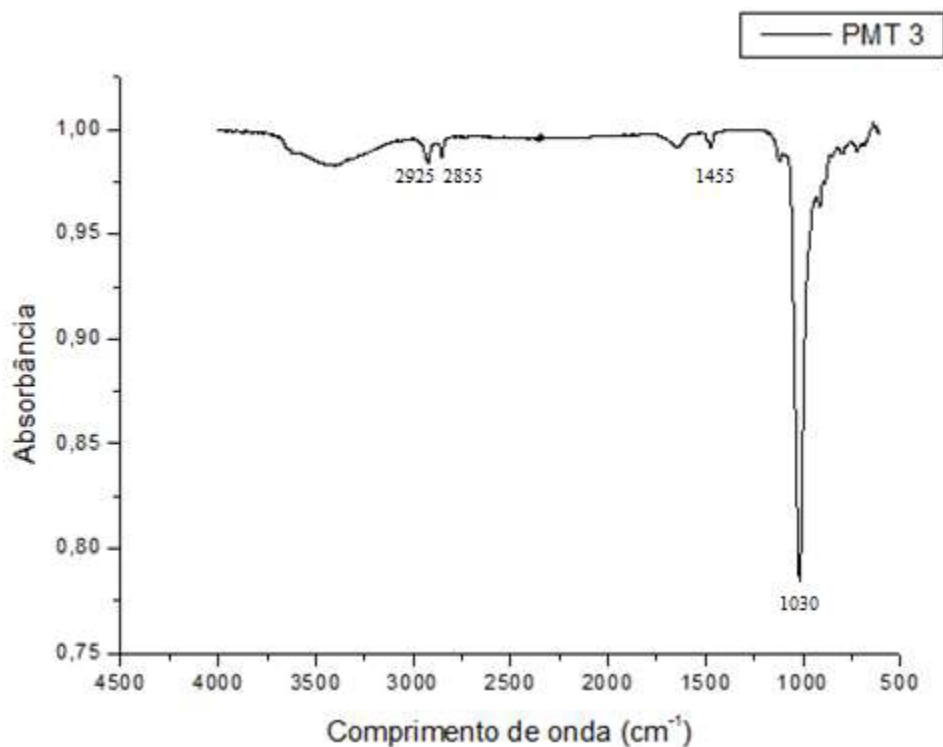
Fonte: Autoria própria.

O difratograma apresentado na Figura 12, da argila tipo PMT-3 se caracteriza por apresentar um pico esméctico de reflexão com distância basal de 4,95 Å, característico de argilas do tipo bentoníticas. Também pode-se observar picos de um mineral não esméctítico em 20° e 27° que podem ser explicados pela presença de quartzo no adsorvente em questão (MOORE & REINOLDS, 1997).

5.3 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FT-IR)

O espectro na região do infravermelho para a argila PMT-3 é apresentado na Figura 13:

Figura 13 - Espectro na região infravermelho da argila PMT-3



Fonte: Autoria própria.

A partir da análise da espectroscopia foi verificada a existência de bandas em 2925, 2855 e 1455 cm⁻¹ na argila PMT-3. Foi visto por Zanini (2008) e Kozak & Domka (2004), tais bandas são conferidas pela presença de matéria orgânica, que se dá pela ineficiência do processo de purificação da argila natural. A existência da banda observada na região de 1030 cm⁻¹, são características das ligações Si-O-Si (Madejová et al., 2002).

5.4 Caracterização e estudo do efluente têxtil

Nesta sessão serão mostrados e discutidos os resultados obtidos a partir do experimento de adsorção e das análises físico-químicas realizadas.

5.4.1 Análises físico-químicas iniciais

Na Tabela 4 são mostrados os resultados obtidos nas análises físico-químicas realizadas no efluente bruto em estudo, os parâmetros analisados foram os parâmetros obrigatórios na legislação do CONAMA, para indústrias com desembocadura em rios de médio/grande porte.

Tabela 4 – Resultados das análises físico-químicas.

Sólidos Totais (mg/L)	2785
DQO (mg/L O₂)	347
Nitrato (mg/L N)	8,8
Cor (mg/L)	137
Turbidez (UNT)	19,8
pH	8,12
Condutividade (µS/cm)	3910
Fósforo Total (mg/l P)	8,54

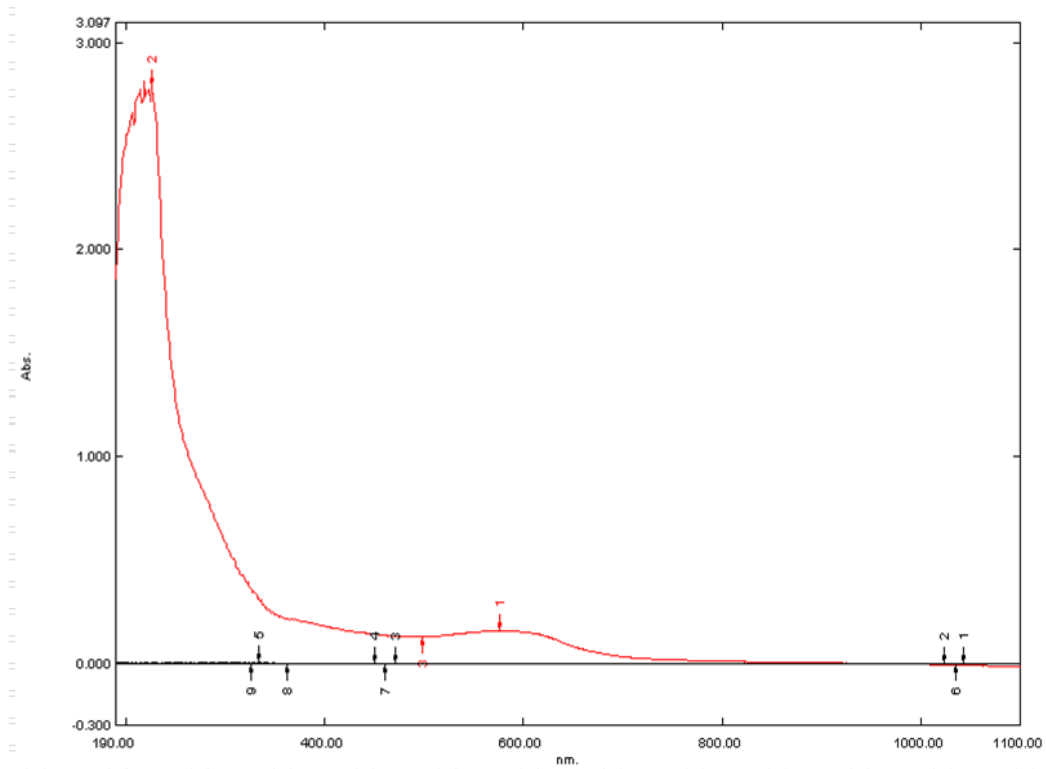
Fonte: Autoria própria.

5.4.2 Absorbância e Curva de Calibração

A princípio, foi medida a absorbância do efluente em estudo, para que fosse obtido maior comprimento de onda da amostra e com isso todas as análises posteriores seriam baseadas no comprimento de onda obtido. Após isso, foi construída a curva de calibração para se avaliar a quantidade remanescente de corante não adsorvido e plotar

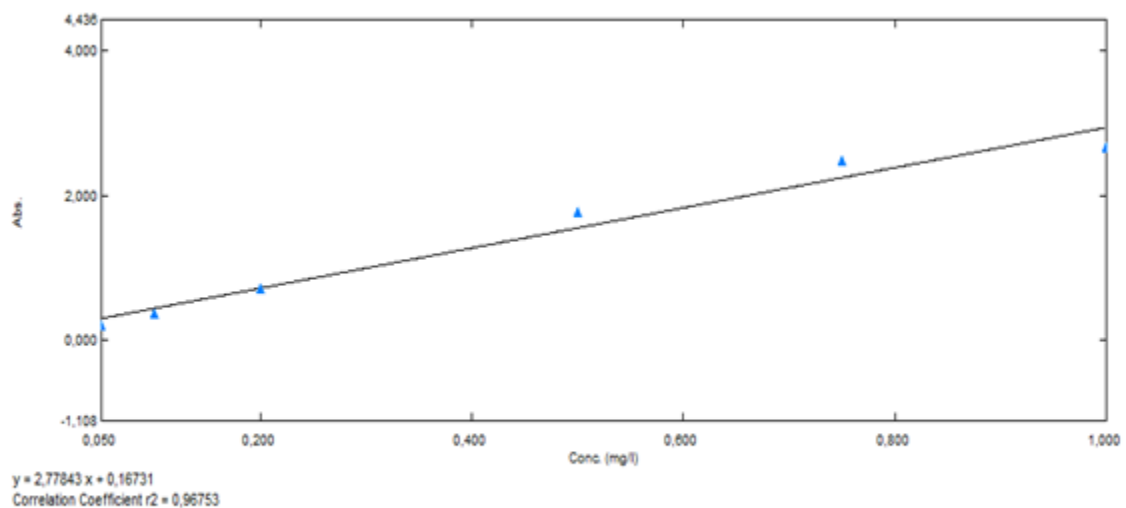
um gráfico da concentração conhecida pela absorvância medida no espectrofotômetro, como estão apresentadas nas Figuras 14 e 15:

Figura 14 - Gráfico do comprimento de onda do efluente têxtil



Fonte: Autoria própria.

Figura 15 - Curva de calibração para o cálculo das concentrações



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 14, pode-se observar os picos que são apresentados nos pontos 1, 2 e 3, em 576, 226 e 498nm. O pico que possui a maior absorvância é o de 226nm apresentando absorvância de 2.788, sendo assim este o maior comprimento de onda do efluente estudado.

Já na Figura 15, pode-se identificar que a curva de calibração apresentou coeficiente de determinação (R^2) de 0,96753 e foi obtida a equação de reta $y = 2,77843x + 0,16731$, que será utilizada para quantificar as concentrações nos experimentos de adsorção.

5.5 Análise do percentual de remoção (%Rem) e Capacidade de remoção no equilíbrio (q_{eq})

Os resultados obtidos para o percentual de remoção e capacidade de adsorção no equilíbrio do efluente têxtil com a argila PMT-3 estão apresentadas na tabela 5:

Tabela 5 – Resultados obtidos para o %Rem e capacidade de remoção (q_{eq}) do efluente

C_0 (%)	C_f (%)	q_{eq} (mg/g)	%Rem(%)
10	4,5	275	55
25	5,2	990	79,2
35	9,3	1285	73,2
50	19,5	1525	61,0
60	19,7	2015	67,2
75	32,5	2125	56,7
100	33,6	3320	66,4

Fonte: Autoria própria.

Pode-se observar que apesar do aumento da concentração, o mesmo não ocorre com o aumento do percentual de remoção, provavelmente devido se tratar de um efluente muito pesado, com alta concentração de nitrato, fósforo e condutividade elevada, de acordo com a Tabela 2. Portanto, os efeitos sinérgicos entre estes constituintes possivelmente afetou o percentual de remoção. Hélio Nunes (2017) em seu

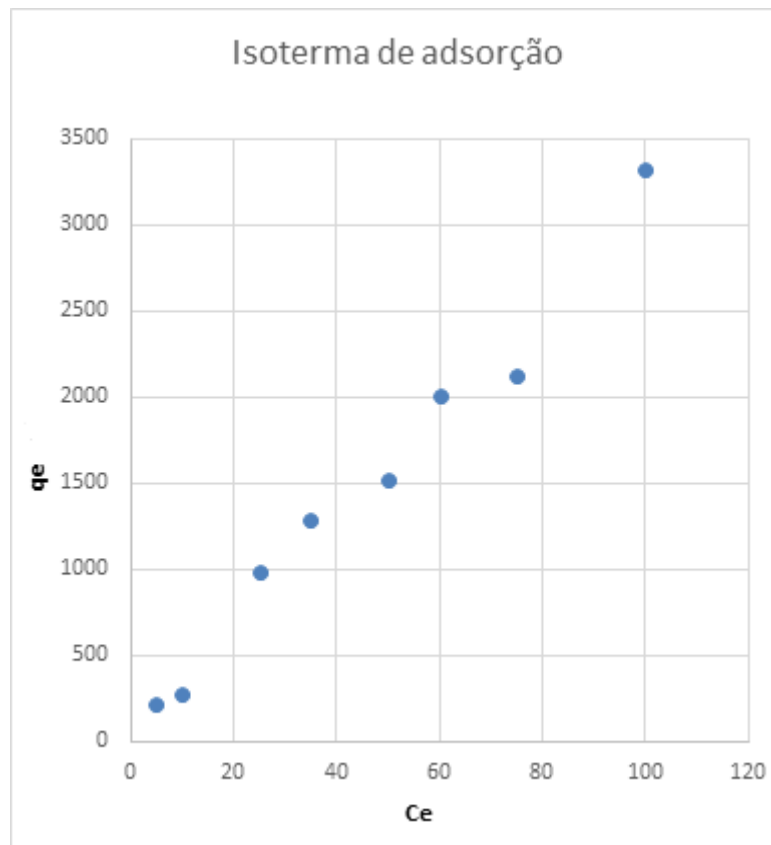
estudo realizado no laboratório de Fenômenos de Transporte atingiu percentual de remoção para o corante Reactive Blue em efluente sintético de 95,5%, e no efluente real deste estudo, o máximo atingiu 79,2%, com concentração de 0,25%. O mesmo não pode ser verificado com a capacidade de adsorção no equilíbrio que aumentou com o aumento da concentração, tendo um aumento contínuo à medida que se aumentou a concentração, que pode ser constatado com o máximo é de 3320 mg/g, com máxima concentração de 100%.

Como no estudo trata-se um de um efluente real, todos os experimentos e análises foram feitas com o efluente bruto concentrado para maior veracidade dos resultados e também uma real dimensão da realidade do tratamento em questão.

5.6 Isotermas de Adsorção

Após determinar-se a capacidade de remoção no equilíbrio (q_{eq}), para cada concentração inicial utilizada como mostrado na Tabela 5, foi feito o gráfico da isoterma de adsorção, representado na Figura 16:

Figura 16 - Isoterma de adsorção

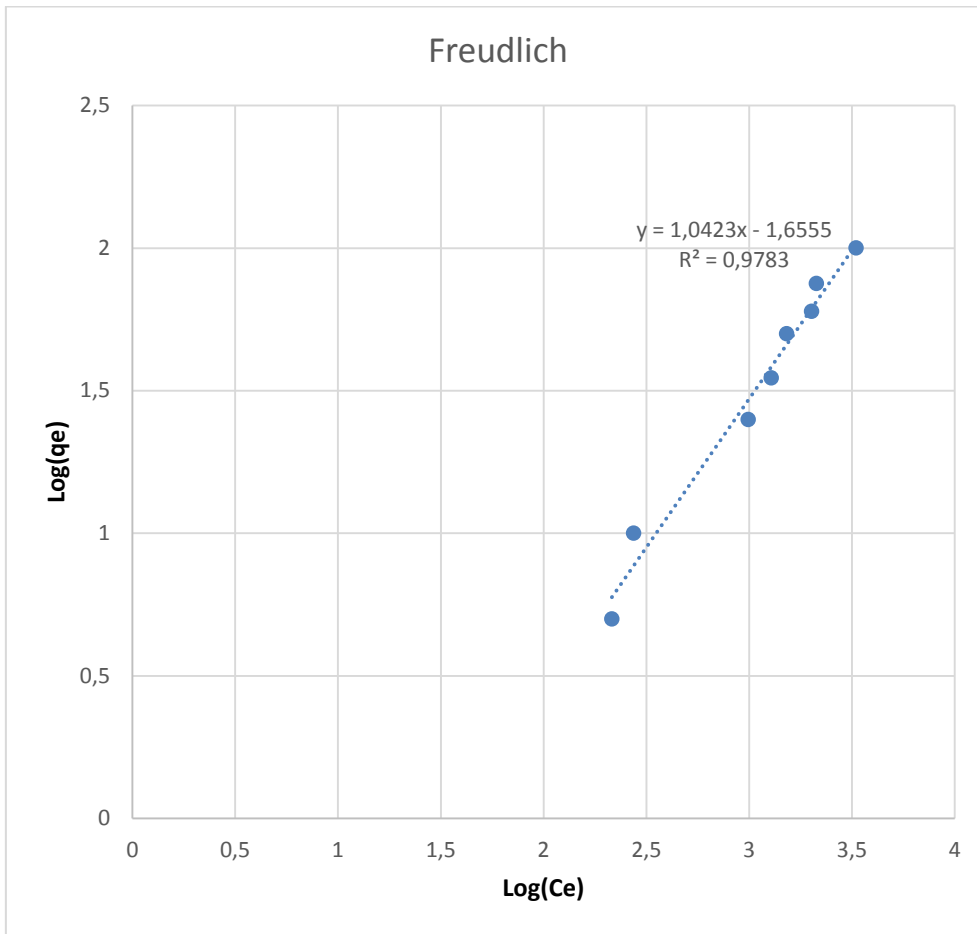


Fonte: Autoria própria.

Pode-se observar na Figura 16, que a isoterma possui uma curvatura ascendente, e apresenta um comportamento semelhante a isoterma tipo S, subgrupo 3, de acordo com a Figura 3, descrita por OSCIK, 1982 apud BUENO, 2007. Não foi possível observar onde a curva se estabilizaria, devido ao limite máximo da concentração ser de 100% (efluente bruto puro).

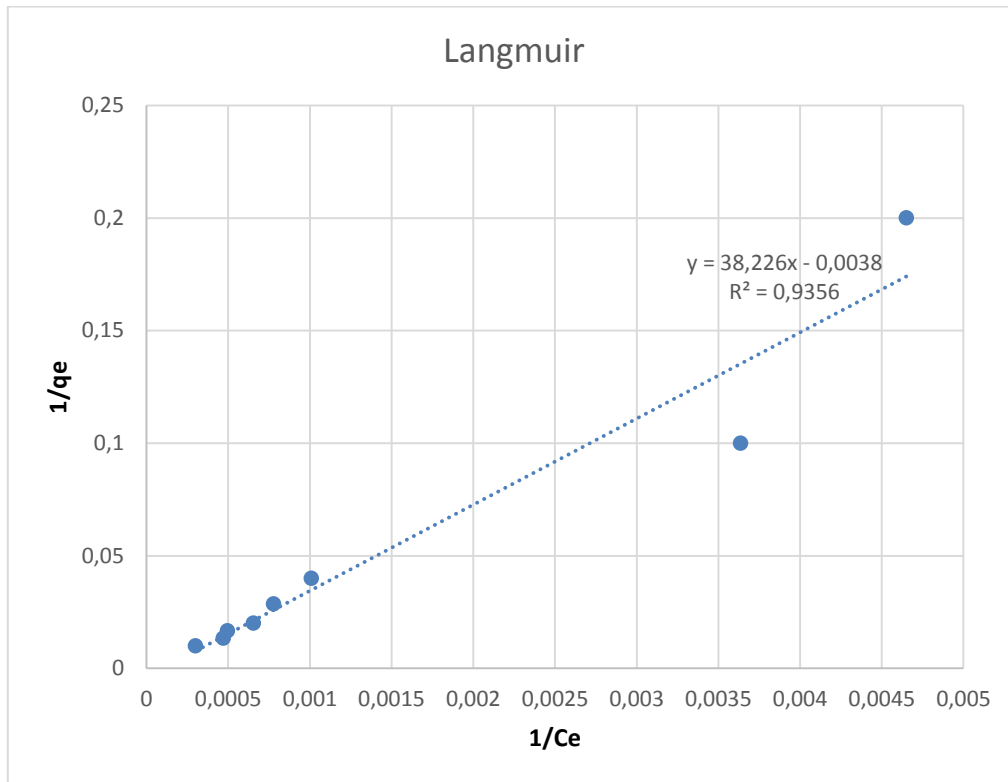
A isoterma de adsorção foi linearizada para o modelo de Langmuir e de Freundlich, respectivamente, para verificar qual modelo mais se adequa e melhor representa o processo de remoção estudado, mostradas nas Figuras 17 e 18:

Figura 17 - Linearização do modelo de Freundlich



Fonte: Autoria própria.

Figura 18 - Linearização do modelo de Langmuir



Fonte: Autoria própria.

Os parâmetros obtidos através dos dados das isotermas foram obtidos pela regressão linear e estão mostrados na Tabela 6:

Tabela 6 – Parâmetros das isotermas de Langmuir e Freundlich.

q_m	Langmuir		K_F	Freundlich	
	b	R^2		n	R^2
4511,17	0,00914	0,9308	43,0280	1,0797	0,9730

Fonte: Autoria própria.

Tabela 7 – Fator de separação para adsorção

C_0 (mg/L)	b (L/mg)	r
100	0,00914	0,522

Fonte: Autoria própria.

Observa-se que mesmo com um fator de separação entre 0 e 1, que é favorável para a isoterma de Langmuir, tem-se um coeficiente de regressão linear maior para o modelo de Freundlich, de 0,9730 o que implica dizer que os dados experimentais possuem um melhor ajuste para este modelo, além disso, os parâmetros K_F e n possuem

valores favoráveis para a aplicação deste modelo. Dito isto, a isoterma que melhor representa o processo de adsorção é a de Freundlich.

5.7 Cinética de Adsorção

Os dados experimentais obtidos nos experimentos de cinética de adsorção, são mostrados na Tabela 8:

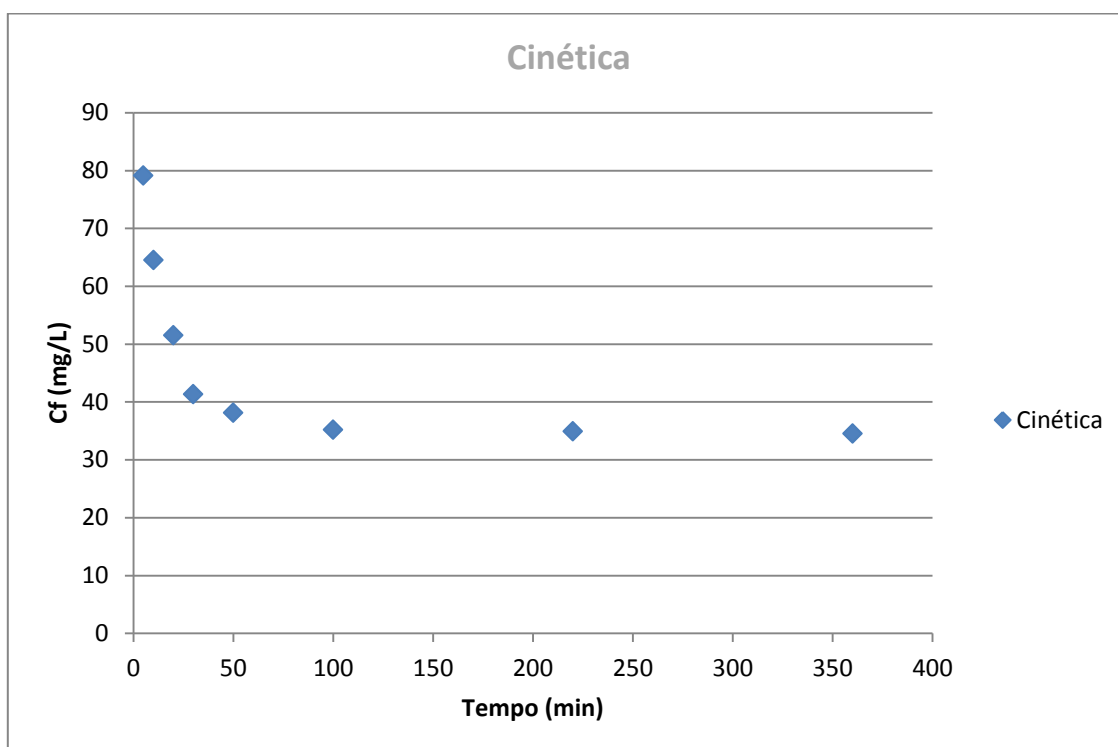
Tabela 8 - Resultados obtidos no ensaio de cinética de adsorção

Tempo (min)	C₀ (mg/L)	q_e (mg/g)
5	100	1,041978
10	100	1,766169
20	100	2,417506
30	100	2,928557
50	100	3,084513
100	100	3,216519
220	100	3,246883
360	100	3,256762

Fonte: Autoria própria

Com os dados obtidos a partir da Tabela 8, é possível fazer o gráfico da variação da concentração de equilíbrio ao longo do tempo, como é apresentada na Figura 19:

Figura 19 - Cinética de adsorção

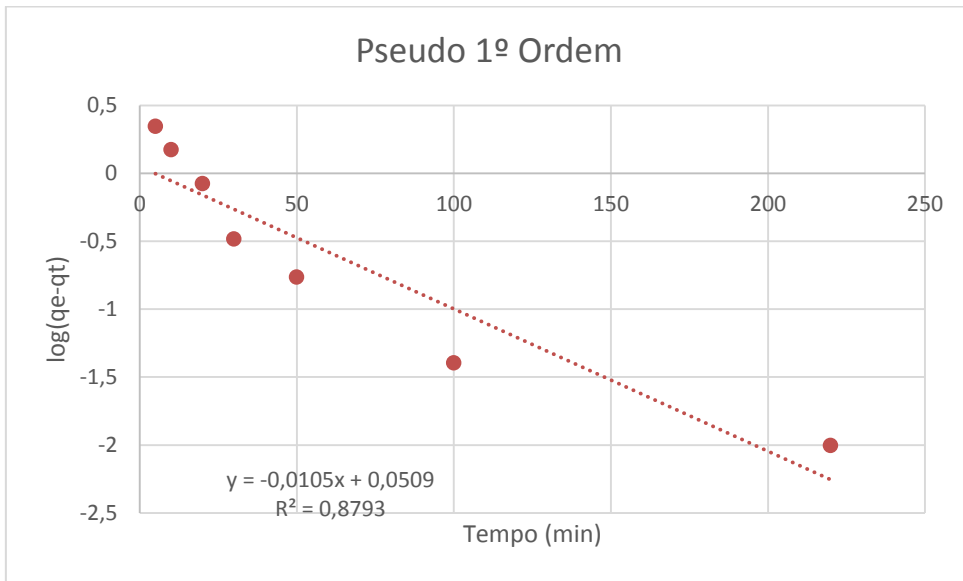


Fonte: Autoria própria.

Analisando o gráfico da Figura 19, é possível observar que já há uma pequena remoção aos 5 minutos de ensaio, aumentando gradativamente ao longo do tempo e se estabilizando em torno de 100 minutos de ensaio.

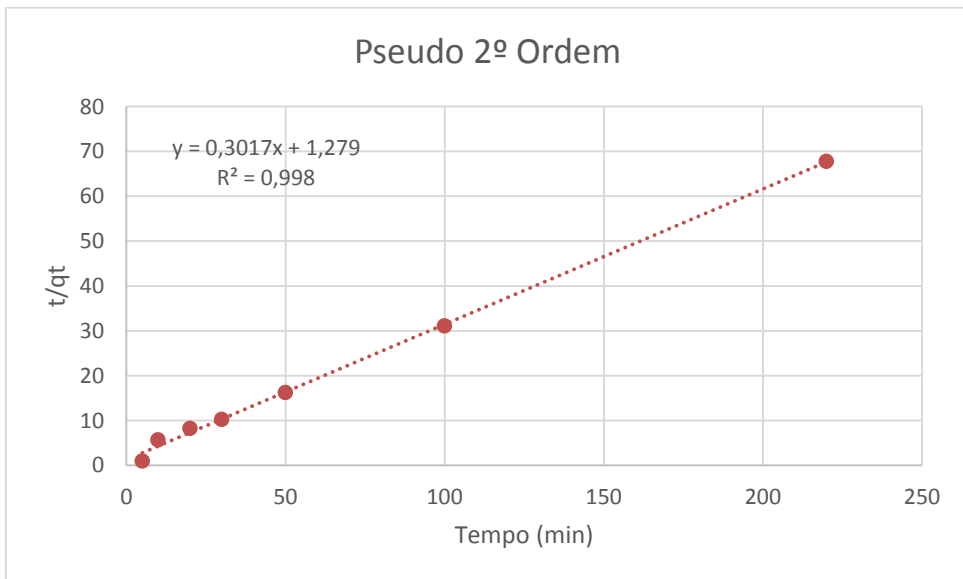
A cinética de adsorção foi avaliada utilizando-se os modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem para determinar o comportamento do processo. As Figuras 20 e 21 mostram os resultados obtidos para o ajuste linear dos mesmos.

Figura 20 - Modelo cinético de pseudo-primeira ordem.



Fonte: Autoria própria.

Figura 21 - Modelo cinético de pseudo-segunda ordem.



Fonte: Autoria própria.

Pode-se observar através das Figuras 20 e 21 e dos parâmetros obtidos, que houve um melhor ajuste do modelo de pseudo-segunda ordem aos dados experimentais, apresentando um valor de coeficiente de regressão (R^2) de 0,998, quando o de pseudo-

primeira ordem foi de 0,879. Na Tabela 8 foi possível determinar os parâmetros para o modelo cinético de pseudo-segunda ordem.

Tabela 9 - Parâmetros do modelo de pseudo-segunda ordem.

q_e (mg/g)	k (g/mg min)
3,314	0,0712

Fonte: Autoria própria.

Os valores da Tabela 9 foram obtidos pela equação da reta para o modelo cinético de pseudo-segunda ordem. Como se pode ver, foi obtido um valor de capacidade de adsorção de 3,314 mg efluente/g argila, que corrobora com o valor mostrado na Tabela 8, que foi de 3,256 mg/g para o tempo de contato de 360 minutos. Sendo assim, pode-se afirmar que o modelo de pseudo-segunda ordem melhor representa os experimentos cinéticos realizados.

5.8 Análises físico-químicas finais

Após finalizada a adsorção, foi coletada certa quantidade do efluente tratado e levado novamente à análises físico-químicas, visando fazer uma comparação para que se possa visualizar se as remoções de tais parâmetros foram significativas.

Tabela 10 - Comparação dos parâmetros físico-químicos

Parâmetros	Antes	Depois	Remoção (%)	Padrão da norma*
Sólidos Totais (mg/L)	2785	2785	0	500
DQO (mg/L O₂)	347	137	60,5	NE
Nitrato (mg/L N)	8,8	7,5	14,7	10
Cor (mg/L)	137	25	81,7	NE
Turbidez (UNT)	19,8	2,16	89,1	NE
pH	8,12	7,74	4,6	5 A 9
Condutividade (µS/cm)	3910	3910	0	NE
Fósforo Total (mg/l P)	8,54	3,18	62,7	0,10

Fonte: Autoria própria.

Fonte*: RESOLUÇÃO CONAMA n 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005

Na tabela 9, pode-se observar que não houve diminuição na concentração de sólidos totais e na condutividade, pouca mudança na concentração de nitrato e pH, porém os outros parâmetros obtiveram uma remoção significativa, chegando a remover 81,7% da cor inicial e 89,1% da turbidez inicial. Outro parâmetro indispensável ter-se a remoção é o fósforo total, que também apresentou remoção significativa de 62,7%.

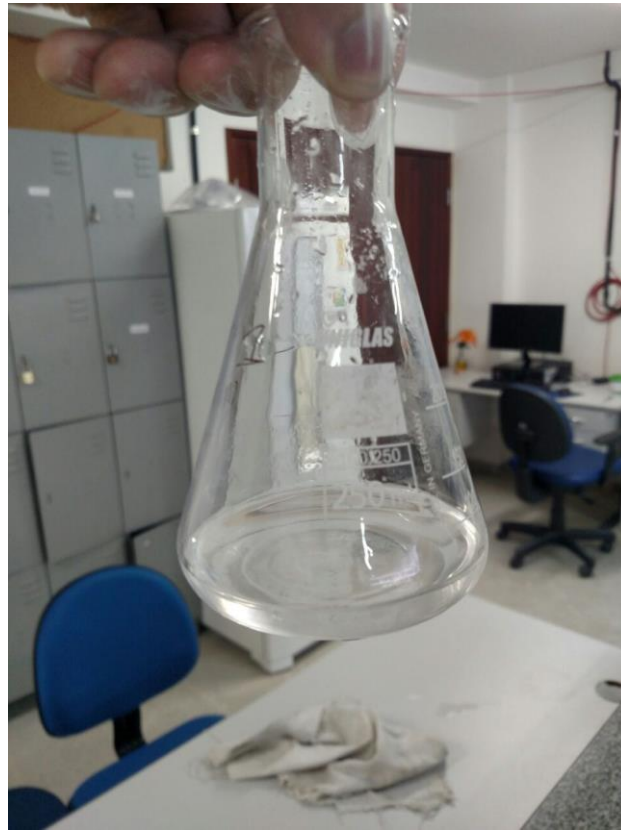
Nas figuras a seguir, é mostrada uma amostra do efluente bruto antes do tratamento, e após o tratamento:

Figura 22 – Efluente antes do tratamento



Fonte: Autoria própria.

Figura 23 – Efluente após tratamento



Fonte: Autoria própria.

6 CONCLUSÕES

Depois de finalizadas todas as caracterizações, análises e experimentos, foi possível constatar a eficiência do método de adsorção utilizando a argila PMT-3 para o tratamento de um efluente têxtil real, evidenciado na remoção da cor e dos demais parâmetros analisados.

Através das análises de DRX e FT-IR foi possível comprovar que tratava-se de argilas do tipo bentonitas e a presença de matéria orgânica na mesma. No estudo das isotermas, os resultados apresentados foram satisfatórios para as isotermas de Langmuir e Freundlich, porém a de Freundlich apresentou melhor coeficiente de regressão linear que foi de 0,9730, implicando dizer que o modelo possui um melhor ajuste para os dados experimentais, na temperatura de 30°C, no tempo de 6 horas e com uma agitação de 250rpm.

Pelos resultados obtidos na Tabela 3, foi visto que o percentual de remoção (%Rem) chegou a 79,1% na concentração de 0,25 e capacidade de remoção em equilíbrio (q_{eq}) máxima de 3320 mg/g, evidenciando a argila bentonita PMT-3 como um bom adsorvente na remoção de cor e de alguns parâmetros analisados no estudo no que diz respeito ao efluente têxtil mostrado neste trabalho.

Pode-se concluir que o processo de adsorção utilizando a argila bentonita mostrou-se eficiente para os parâmetros: cor, turbidez e DQO. Porém ainda não seria possível fazer reuso do efluente, pois os parâmetros Fósforo total e Sólidos Dissolvidos Totais permanecem acima do limite permitido pelo CONAMA, que é de 0,10 mg/L PO_4 e 500 mg/L respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. **Corantes e pigmentos**. São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.abiquim.org.br/corantes/cor_industria.asp>.
- BAHORSKY, M. S., BRYANT, D. H. (1995). **Textiles**. Water Environmental Research, 67, 544-548.
- BOSCO, S. M.; JIMENEZ, R. S.; CARVALHO, W. A. **Removal of toxic metals from wastewater by Brazilian natural scolecite**. Journal of Colloid and Interface Science. V.281, Issue 2, 2005, P. 424-431.
- BUENO, B. Y. M. **Remoção de Pb, Cr e Cu por processo combinado biossorção/bioflotação utilizando a cepa *Rhodococcus opacus***. Tese de Doutorado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2007
- CARRARO, G.; SUGRAÑEZ, R.; MACCATO, C.; GASPAROTTO, A.; BARRECA, D.; SADA, C.; CRUZ-YUSTA, M.; CERVANTES T.N.M.; ZAIA, D.A.M; DE SANTANA, H. **Estudo da fotocatalise heterogênea sobre Ti/TiO₂ na descoloração de corantes sintéticos**. Quím. Nova (São Paulo), v. 32, p. 2423-2428. 2009.
- CHUNG, K-T; Cerniglia; C.E.; **Mut. Res.** 1992, 277, 201.
- CIOLA, R., **Fundamentos da catálise**, 1ª edição, Editora Moderna, Editora da Universidade de São Paulo, SP, 1981.
- CLEMENTINO, M. L.M. **A evolução da indústria têxtil no contexto da afirmação do imperialismo americano**. 2012, p.13.
- COONEY, D.O., 1999. **Adsorption Design for Wastewater Treatment**. Lewis Publishers, Boca Raton.
- CORRÊA JR. B.; FURLAN, L. T., **Redução do Consumo de Água e da Vazão de Efluentes Através do Gerenciamento das Fontes e Reutilização de Águas – a Experiência de Paulínia**. Petro & Química, nº 251, 72-78, agosto de 2003.
- COSTA DE OLIVEIRA, H. EVELINE. **Adsorção de corantes da indústria têxtil (Indosol) em resíduos industriais (Lama Vermelha e Argila Esmectita)**. 2010. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.
- CRINI, G., **Bioresource Technology**, 2005, 97, 1061-1085.
- C. S. MIYASHIRO; E. I. B. PARISOTTO; J. G. TELEKEN. **Utilização da argila bentonita como material adsorvente para diminuição do índice de acidez dos óleos residuais**. 2015.

- DABROWSKI, A. **Adsorption – From theory to practice**, 2001, 135-224.
- DANTAS, T.L.P.; MENDONÇA, V.P.; JOS, H.J.; RODRIGUES, A.E.; MOREIRA, R.F.P.M.; **Treatment of textile wastewater by heterogeneous Fenton process using a new composite Fe₂O₃/carbon**. Chemical Engineering Journal. v. 118, p. 77-82. 2006.
- DE SOUZA, S.M.A.G.U.; PERUZZO, L.C.; DE SOUZA, A.A.U. **Numerical study of adsorption of dyes from textile effluents**. Appl Math Model (New York). v. 32, p. 1711-1718. 2008.
- DEMIRBAS, O.; ALKAN, M.; DOGAN, M. **Adsorption**. 2002; 8: 341.
- DOMINGUES, V.; ALVES, A.; CABRAL, M.; DELERUE-MATOS, C. **Sorption behavior of bifenthrin on cork**. Journal of Chromatography A. V.1069, Issue 1, 2005, P. 127-132.
- FREIRE, R. S; PELEGRINI, R.; KUBOTA, L. T.; DURÁN N. **Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas**. Química Nova. 23(4) (2000).
- GANODERMAIERI, G., CENNAMO, G., SANNIA, G. **Remazol Brilliant Blue R decolourisation by the fungus Pleurotus ostreatus and its oxidative enzymatic system**. Enzyme and Microbial Technology. 36, 2005, 17-24.
- GILES, C.H; MACEWANS, T.H; NAKHWA, N; SMITH, D. **Studies in adsorption. Part XI. A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanisms and in measurement of specific areas of solids**. Journal of the Chemical Society, p. 3973-3993, 1960.
- GUERCIO, Mary Jerusa. **Variação de impactos ambientais decorrentes da implantação da norma ISO14001: um estudo multicase em indústrias têxteis de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado – Administração, Curso de Pós-Graduação em Administração. Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 2006.
- GURGEL, L. V. A. **Mercerização e modificação química de celulose e bagaço de cana-de-açúcar com anidrido succínico e trietilenotetramina : preparação de novos materiais quelantes para a adsorção de Pb (II), Cd (II), Cr (VI) e Cu (II)**. 2007. 203 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.
- HOFFMANN, M.R.; MARTIN, S.T.; CHOI, W.; BAHNEMANN, D.W. **Environmental Applications of semiconductor photocatalysis**. Chem Rev (Washington), v. 95, p. 69-96. 1995.
- HO, Y.S.; MCKAY, G. **Pseudo-second order model for sorption processes**. Process Biochem., v. 34, p. 451–465, 1999.

- IBGE. **Valor da transformação industrial**. Disponível em www.sidra.ibge.gov.br.
- JENKINS, D.; MAMAIS, D.; PRRR, PAUL. **A rapid physical-chemical method for the determination of readily biodegradable soluble COD in municipal wastewater**. v.27, p195-197. 1993.
- KHATTRI, S.D.; SINGH, M. K. **Colour removal from synthetic dye wastewater using a bioadsorbent**. Water Air Soil Poll 120:283–294. 1999.
- KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G.; DURAN, N. **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis**. Química Nova, v.25, n.1, 2002.
- MACHADO, C. J. S. **Recursos hídricos e cidadania no Brasil: limites, alternativas e desafios**. Ambient Soc. (Campinas). v. 6, p. 121-136, 2003.
- MADEJOVÁ, J.; PENTRÁK, M.; PÁLKOVÁ, H.; KOMADEL, P. **Near-infrared spectroscopy: A powerful tool in studies of acid-treated clay minerals**, Vibrational Spectroscopy, v.49, p.211-218, 2002.
- MALATO, S.; BLANCI, J.; FERNÁNDEZ ALBA, A. L.; AGUERA, A.; **Solar photocatalytic mineralization of comercial pesticides: Acrinathrin**. Chemosphere, v. 40, p. 403-409, 2000.
- MELLO, M. C. V. **Uma análise sobre a abertura do mercado brasileiro para a indústria têxtil e de confecções no Nordeste no período de 1989 a 2000**. 2004.
- MONTEIRO FILHA, D. C. M.; CORRÊA, A. **Complexo têxtil**. 2002, p. 28.
- MOORE, D. M., AND R. C. REYNOLDS, JR. 1997. **X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals**. 2nd ed. Oxford University Press, Oxford.
- MORAES, S.G., FREIRE, R. S., DURÁN, N. **Degradation and toxicity reduction of textile effluent by combined photocatalytic and ozonation processes**. Chemosphere 40, Campinas, 2000, 369, 373.
- MORAN, C.; HALL, M. E.; HOWELL, R., **Effects of Sewage Treatment on Textile Effluent**. Journal of the Society of Dyers and Colourists, 113, p. 272-274, 1997.
- MORENO-CASTILLA, C. **Adsorption of organic molecules from aqueous solutions on carbon materials**. Carbon, v. 42, n° 1, p. 83-94, 2004.
- NASCIMENTO, R. F. DO.; LIMA, A. C. A. DE.; VIDAL, C. B.; MELO, D. DE. Q.; RAULINO, G. S. C. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. 256 p.
- OLIVEIRA, D. Q. L. **Degradação oxidativa de compostos orgânicos em meio aquoso por via catalítica heterogênea com magnetita e goethitas dopadas com nióbio (Tese)**. Minas Gerais, 2011.

O'NEILL, C.; HAWKES, F. R.; HAWKES, D. L.; LOURENÇO, N. D.; PINHEIRO, H. M.; DELEÉ, W. **Collor in textile effluents – sources, measurement, discharge consents and simulation: a review.** Journal of chemical technology and biotechnology, v.74, p.1009-1018, 1999.

PEIXOTO, F.; MARINHO, G; RODRIGUES, K. **Corantes têxteis: uma revisão.** 2013.

Peralta-ZAMORA, P., KUNZ, A., MORAES, S.G., PELEGRINI, R., MOLEIRO, P.C., REYES, J., DURAN, N. **Degradation of rective dyes I: A comparative study of ozonation enzymatic and photochemical processes.** Chemosphere 38, 1999, 835-852.

PERES, C. S. (1997). **Compostos recalcitrantes a degradação biológica.** Livro de resumos do 3o Seminário internacional de Tecnologia Enzimática, 29 a 31 de outubro de 1997. Rio de Janeiro, RJ.

REVANKAR, M.S., LELE, S.S. **Synthetic dye decolorization by Ganoderma. sp., WR-1,** Bioresource Technology 98, 2007, 775-780.

ROMERO, S., BLANQUEZ, P., CAMINAL, G., FONT, X., SARRA, M., GABARRELL, X., VICENT, T. **Different approaches to improving the textile dye degradation capacity of Trametes versicolour.** Bioche. Eng. J. 31, 2006, 42-47.

ROOSTAEI N.; TEZE, F. H. **Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption.** Journal of Environmental Management, v. 70, n° 2, p. 157-164, 2004.

RUTHVEN, D. M. **Principles of adsorption and adsorption process.** New York: John Wiley & Sons, 1984.

SCHONBEREGER, H. 1999. **“Pollution Prevention and Waste Reduction in the Testile Industry”.** Gottenheim, Germany, p. 8-71.

SCOCHOY, K. K.; McKAY, G.; PORTER, J. F. **Sorption of acid dyes from effluents using activated carbon. Resources.** Conservation and Recycling, v.27, p.57-71, 1999.

SEKAR, M.; SAKTHI, V.; RENGARAJ, S. **Kinetics and equilibrium adsorption study of lead(II) onto activated carbon prepared from coconut shell.** Journal of Colloid and Interface Science. V.279, Issue 2, 2004, p. 307-313.

SILVA, G. L. **Redução de corantes em efluentes de processos de tingimentos de lavanderias industriais por adsorção em argila.** Tese de doutorado em Engenharia Química, Universidade de Campinas. Campinas SP. 2005.

SILVA, R. P. **Remoção de metais pesados em efluentes sintéticos utilizando vermiculita como adsorvente.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2010.

SOUZA, C.R.L. **Degradação de corantes reativos e remediações de efluentes têxteis por processos avançados envolvendo ferro metálico [dissertação]**. Curitiba: Departamento de Química da Universidade Federal do Paraná; 2006.

STAFFORD, U.; GRAY, K.A.; KAMAT, P.V. **Photocatalytic degradation of organic contaminants: Halophenols and related model compounds**. *Heterogen Chem Ver (Sussex)* v. 3, p. 77-104. 1996.

TADINI, C.C., TELIS, V.R.N., MEIRELLES, A.J.A., PESSOA FILHO, P.A. **Operações Unitárias na Indústria de Alimentos**. 1 ed., Rio de Janeiro: LTC Editora, 2016.

TALARPOSHTI, A. M.; DONNELLY, T.; ANDERSON, G. K., **Colour Removal From a Simulated Dye Wastewater Using a Twophase Anaerobic Packed Bed Reactor**. *Water Research*, 35, p. 425-432, 2001.

TIBA, C. *et al.*, **Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestres** (Editora Universitária da UFPE, Recife, 2000).

TOLEDO, R. A. S., **Tecnologia da Reciclagem**. *Química Têxtil*, p.8-14, Março de 2004.

TUNAY, O.; KABDASLI, I.; EREMEKTAR, G.; ORHON, D. **Color removal from textile wastewaters**. 1996. 34 (11) 9-16.

TWARDOKUS, R. G. **Reuso de água no processo de tingimento da indústria têxtil**. 2004. 136f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2004.

V. L. M. M. SILVA *et al.* **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**. ISSN 1809-8797. v. 2, P. 27- 32. 2007.

VANDEVIVERE, P.V.; BIANCHI, R.; VERSTRAETE, W.; *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 1998, 72, 289.

VAUTIER, M.; GUILLARD, C.; HERRMANN, J.M. **Photocatalytic degradation of dyes in water: Case study of indigo and of índigo carmine**. *J Catal (San Diego)*, v. 201, p. 46-59, 2001.

VIANA, F. L. E. **A indústria têxtil e de confecções no Nordeste: características, desafios e oportunidades**. 2005.

VIANA, F. L. E; ROCHA, R. E. V; NUNES, F. R. M; **A indústria têxtil na região Nordeste: gargalos, potencialidade e desafios**. 2008.

WESENBERG, D., KYRIAKIDES, I., Agathos, S.N. **White rot fungi and their enzymes for the treatment of industrial dye effluents**. *App. Environ. Microbiol.* 65, 1999, 1029-1035.

YOUSSEF, A. M.; E1-NABARAWY Th. SAMRA, S. E. **“Sorption properties of chemically-activated carbons 1. Sorption of cadmium (II) ions”**. Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects 235, p. 153. 2004.

ZANINI, Ariel Elder. **Seleção, Purificação e Modificação de Argilas para Aplicação em Nano-Sistemas 1D**. Tese. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal Da Bahia, 2013.