



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

**THALITA LUCINDO OLIVEIRA DE LIMA**

**CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA DE SUCO E**  
**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE TRATAMENTO COM ADSORÇÃO,**  
**COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO**

JOÃO PESSOA - PB  
2018

**THALITA LUCINDO OLIVEIRA DE LIMA**

**CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA DE SUCO E  
AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE TRATAMENTO COM ADSORÇÃO,  
COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO**

Trabalho Final de Curso apresentado à Universidade Federal da Paraíba, como requisito a obtenção do título de Engenheira Química.

Orientador: Prof. Dr. Genaro Zenaide Clericuzi.

JOÃO PESSOA - PB  
2018

L732c Lima, Thalita Lucindo Oliveira de.

Caracterização do efluente de uma indústria de suco e avaliação de métodos de tratamento com adsorção, coagulação e floculação/ Thalita Lucindo Oliveira de Lima. – João Pessoa, 2018.

49f. il.:

Orientador: Prof. Dr. Genaro Zenaide Clericuzi.

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Química) Campus I - UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1. Caracterização. 2. Efluente. 3. Turbidez. 4. Cor. 5. DQO. 6. DBO  
I. Título.

BS/CT/UFPB

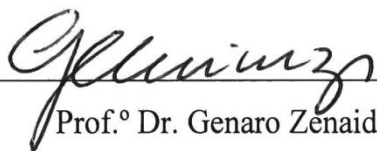
CDU: 2.ed.

THALITA LUCINDO OLIVEIRA DE LIMA

**CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA DE SUCO E  
AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE TRATAMENTO COM ADSORÇÃO,  
COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO**

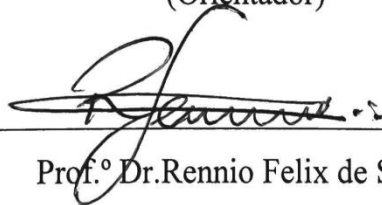
Trabalho Final de Curso à Universidade Federal da Paraíba como requisito necessário  
para obtenção do título de Engenheira Química.

**Banca Examinadora:**



Prof.º Dr. Genaro Zenaide Clericuzi

(Orientador)



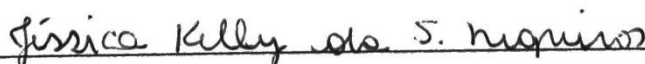
Prof.º Dr. Rennio Felix de Senna

(Coorientador)



Prof.ª. Dr.ª. Andrea Lopes de Oliveira Ferreira

(Examinadora)



Engenheira Jéssica Kelly da Silva Negreiros

(Examinadora)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por seu amor que sempre foi o combustível de minha força, iluminando os meus caminhos para que os meus sonhos fossem alcançados.

Agradeço aos meus pais, Genício e Irene, por todo amor, cuidado, apoio, que apesar de todas as dificuldades sempre se esforçaram para me dar a oportunidade de estudar, me incentivando a persistir na caminhada sempre acreditando em meu potencial.

À meu amado irmão Thácio, por ter sido amigo nos momentos mais difíceis, sempre acreditando e me incentivando a alcançar meus objetivos.

A todos meus familiares que me ajudaram e contribuíram de alguma forma ao longo desses anos de curso.

As minhas amigas, Priscilla Cruz e Vânia Gomes, pelos preciosos conselhos, incentivos e amizade, que me ajudaram a persistir na luta pelos meus sonhos.

Ao meu amor Dorgival pelo incentivo, compreensão e carinho, tornando os meus dias melhores.

Aos meus preciosos amigos, Angeolino, Karina, Jéssica, João, Palloma, Felipe, Juliane, Thiago, Amanda, Gessyca, Jeferson e Gustavo, que tornaram esta caminhada tão difícil mais leve e divertida.

A todos os professores que transmitiram os seus conhecimentos e contribuíram para minha formação. Em especial ao meu orientador e coorientador, professor Genaro Zenaide Clericuzi e Rennio Felix de Sena, por todo auxílio, paciência e carinho para comigo.

Aos Laboratórios de Tecnologia Química, Bioengenharia, Carvão Ativado e de Saneamento, por possibilitarem a realização das caracterizações necessárias para a pesquisa.

Agradeço de coração as técnicas de laboratório, Fabiana e Simone, por toda ajuda e paciência comigo.

À Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

“Vou perseguir tudo aquilo que Deus já escolheu para mim”.

Celina Borges

## RESUMO

A água é foco de diversas ações ambientais, devido a sua escassez em algumas regiões e da forte preocupação com o meio ambiente. As indústrias, em especial da área alimentícia, vêm se destacando como as maiores consumidoras deste recurso devido à multiplicidade de usos a que se destina dentro do processo industrial. Essas indústrias são vistas como pequenas fontes de produção de resíduos. Mas nas condições ambientais bastante fragilizadas da região Nordeste, onde rios e riachos apresentam pouco volume, a emissão desta carga poluidora causa danos ambientais graves, no mínimo, em nível local, ou dentro da bacia hidrográfica em que são lançados estes resíduos. Um dos principais problemas enfrentados pelas indústrias processadoras de suco é o grande volume de resíduos sólidos e líquidos, produzidos diariamente. A solução para este problema tem sido a utilização de sistemas de tratamento de efluentes adequados para diminuir o potencial poluidor destes resíduos. Neste cenário, este trabalho tem como objetivo realizar a caracterização físico-química do efluente de uma Indústria de Suco e aplicar métodos de tratamento (adsorção, coagulação e floculação) para analisar a eficiência de cada um no tratamento deste efluente. Os resultados obtidos no tratamento do efluente foram satisfatórios, onde no tratamento por adsorção houve uma remoção de 55,82 % da DQO, 37,62 % da DBO e 96,82 % da turbidez, e no tratamento por coagulação e floculação, a melhor eficiência de remoção foi de 74,79 % da cor e 70,42 % da turbidez do efluente estudado.

**PALAVRAS CHAVE:** Caracterização, efluente, turbidez, cor, DQO, DBO.

## **ABSTRAT**

Water is the focus of several environmental actions, due to its scarcity in some regions and the strong concern for the environment. The industries, especially in the food area, have been highlighting themselves as the biggest consumers of this resource due to the multiplicity of uses to which it is destined within the industrial process. These industries are seen as small sources of waste production. But in the very fragile environmental conditions of the Northeast, where rivers and streams have little volume, the emission of this pollutant load causes serious environmental damage, at least at the local level, or within the river basin where these wastes are released. One of the main problems faced by the juice processing industries is the large volume of solid and liquid waste produced daily. The solution to this problem has been the use of adequate effluent treatment systems to reduce the pollutant potential of these wastes. In this scenario, the objective of this work is to perform the physico-chemical characterization of the effluent from a juice industry and to apply treatment methods (adsorption, coagulation and flocculation) to analyze the efficiency of each one in the treatment of this effluent . The results obtained in the treatment of the effluent were satisfactory, where in the treatment by adsorption there was a removal of 55.82% of the COD, 37.62% of the BOD and 96.82% of the turbidity, and in the treatment by coagulation and flocculation, the best removal efficiency was 74.79% of the color and 70.42% of the effluent turbidity studied.

**KEY WORDS:** Characterization, effluent, turbidity, color, COD, BOD.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	11
<b>2. OBJETIVOS</b>	12
2.1 Geral	12
2.2 Específicos	12
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	13
3.1 ÁGUA NO PLANETA TERRA	13
3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS	14
3.3 USO DA ÁGUA	16
3.4 EFLUENTE INDUSTRIAL	17
3.5 PROCESSOS DE TRATAMENTO	19
3.6 ADSORÇÃO	20
3.6.1 Argilas	21
3.6.2 Argilas Organofílicas	23
3.7 PROCESSO DOS MÉTODOS DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO	25
3.7.1 Coagulação	25
3.7.2 Floculação	27
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	28
4.1 EFLUENTE INDUSTRIAL	28
4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO EFLUENTE	30
4.2.1 pH	30
4.2.2 Demanda Química de Oxigênio (DQO)	30
4.2.3 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	31
4.2.4 Sedimentação	32
4.2.5 Turbidez	33
4.2.6 Cor	33
4.3 TESTES DE TRATAMENTO	34

4.3.1	Adsorção: ensaios de banho finito.....	34
4.3.2	Coagulação e Floculação .....	35
5.	RESULTADOS .....	37
5.1	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO EFLUENTE .....	37
5.2	TESTES COM ADSORÇÃO.....	39
5.3	TESTES COM COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO .....	40
6.	CONCLUSÃO.....	43
	REFERÊNCIAS .....	44

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição de água no Brasil.....	13
Figura 2 - Retirada de água por setor. ....	17
Figura 3 - Estrutura cristalina 2:1 de bentonita. ....	22
Figura 4 - Perfil da estrutura de uma montmorilonita. ....	23
Figura 5 - Argila bentonita sódica em dispersão. ....	24
Figura 6 - Ilustração do funcionamento de coagulação. ....	26
Figura 7 - Mecanismo de coagulação. ....	26
Figura 8 - Tanque de equalização.....	29
Figura 9 - Lagoa 2. ....	29
Figura 10 - Tubos de ensaio de vidro borossilicato.....	30
Figura 11 - Unidade de medição DBO. ....	31
Figura 12 - Cones Imhoff. ....	33
Figura 13 - Espectrofotômetro Quimis, modelo Q898DPT. ....	34
Figura 14 - Mistura da amostra do efluente com o adsorvente. ....	35
Figura 15 - Jar test. ....	36
Figura 16 - Redução de cor do efluente industrial.....	40
Figura 17 - Análise da cor após o tratamento com coagulação e floculação.....	41
Figura 18 - Análise da turbidez após o tratamento com coagulação e floculação.....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das águas de acordo com a Resolução nº 357/05 .....	15
Tabela 2 - Faixa de medição DBO. ....	32
Tabela 3 - Número da amostra de efluente e as concentrações de coagulantes e floculantes utilizados.....	37
Tabela 4 - Caracterização das amostras coletadas em março e abril.....	38
Tabela 5 - Análises realizadas na coleta em maio. ....	38
Tabela 6 - Análises do tratamento por adsorção da amostra de efluente do ponto 1. ....	39

## 1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente, em especial com a água, tem sido o foco de diversas ações ambientais, uma vez que este recurso é finito e inclusive já está se tornando escasso em algumas regiões. As indústrias, em especial da área alimentícia, vêm se destacando como as maiores consumidoras deste recurso devido à multiplicidade de usos a que se destina dentro do processo industrial (RAMJEAWON, 2000).

A meta da indústria de alimentos, uma das mais importantes indústrias de transformação no Brasil, consiste na transformação de recursos naturais em alimentos industrializados para atender as necessidades da população e garantir, com segurança, o abastecimento dos grandes centros urbanos (ABEA, 2000). Essas indústrias são vistas como pequenas fontes de produção de resíduos. Mas nas condições ambientais bastante fragilizadas, principalmente pela variável climática, na região Nordeste, em que os corpos receptores (rios e riachos) apresentam pouco volume, como também, as condições das pequenas indústrias que não investem no tratamento de seus efluentes, por falta de capital e de acesso a linhas de crédito específicas para esse fim, a emissão desta carga poluidora causa danos ambientais graves, no mínimo, em nível local, ou dentro da bacia hidrográfica em que são lançados estes resíduos (PARENTE e BARROS, 2002).

Um dos principais problemas enfrentados pelas indústrias processadoras de suco é o grande volume de resíduos sólidos e líquidos, produzidos diariamente. Os sólidos, constituídos pelas cascas, sementes e polpas, podem ser utilizados como componente de ração animal. Dentre os despejos líquidos, a “água amarela”, formada por proteínas, óleos essenciais, pectinas, açúcares, ácidos orgânicos e sais, é aquela que mais preocupa, pelos seus altos índices de matéria orgânica, o que a torna um agente de alto potencial poluidor (REZZADORI e BENEDETTI, 2009). Usualmente, a solução para este problema tem sido a utilização de sistemas de tratamento de efluentes adequados para diminuir o potencial poluidor destes resíduos. No entanto, devido aos custos destes sistemas de tratamento, e no caso particular da região semiárida do Nordeste Brasileiro, com grande escassez de água potável, utilizada, inclusive, como ingrediente dos produtos dessas indústrias alimentícias, tem provocado um interesse entre os técnicos do setor e ambientalistas em geral, de melhorar os processos produtivos, visando reduzir ao mínimo a emissão de efluentes líquidos (PARENTE, BARROS e SILVA, 2002).

A qualidade da água pode ser representada através de diversos parâmetros que expressam as suas principais características físicas, químicas e biológicas. Na prática, os efluentes gerados podem variar em função do tipo de empresa geradora, natureza e porte da indústria, grau de modernidade de seus processos, tipos de materiais primas empregadas e da presença ou não de iniciativas de reuso destes (CALVACANTI, 2009). Por esse motivo não existe um único procedimento de tratamento de resíduos líquidos que possa ser aplicado em todas as situações.

Devido à grande quantidade de efluentes gerados pela industrialização de frutas para a produção de suco e a preocupação com o impacto ambiental que estes podem causar, o presente trabalho tem como objetivo realizar a caracterização físico-química do efluente de uma Indústria de Suco de Fruta, localizada em João Pessoa – PB, e fazer testes de tratamento pelos métodos de adsorção, coagulação e floculação, analisando a eficiência de cada método no tratamento desse tipo de efluente.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

O objetivo geral é caracterizar o efluente de uma Indústria de Suco de Fruta e avaliar a eficiência dos processos de tratamento por adsorção, coagulação e floculação.

### **2.2 Específicos**

- Fazer a caracterização físico-química do efluente industrial antes e depois do tratamento.
- Realizar testes de tratamento com adsorção, coagulação e floculação, separadamente.
- Avaliar a eficiência dos testes de tratamento comparando os resultados da amostra bruta com a tratada.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

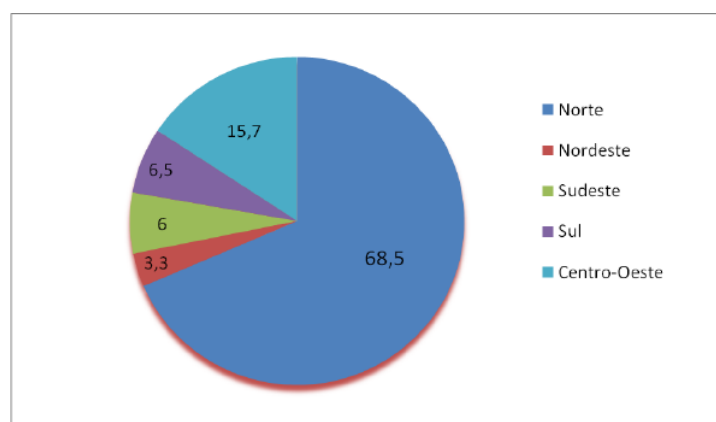
#### 3.1 ÁGUA NO PLANETA TERRA

A água é um recurso natural essencial à vida de todas as espécies existentes na face da Terra. Por se tratar de um componente importante na bioquímica dos seres vivos, exerce enorme influência sobre os valores socioculturais dos povos, integrando a cadeia produtiva de vários bens de consumo e intermediários. (SILVA, 2008).

O volume de água total no planeta, segundo Mierzwa e Hespanhol (2005), é de 1.385.984.00 km<sup>3</sup>, porém apenas 2,53% deste total é composto por água doce, um percentual muito baixo para suprir as necessidades de uma população que chega aproximadamente aos 7 bilhões. Porém, esta água doce pode ser encontrada de diferentes maneiras no planeta. Sabe-se que 0,29% destas águas estão disponíveis como águas superficiais, e 31,01% como águas subterrâneas. O restante, 68,70% esta sob a forma de geleiras ou coberturas de neve.

No território brasileiro, segundo Tomaz (2001) e Botega (2007), encontram-se 12 % da água doce do mundo, mas a mesma não está igualmente distribuída. No Norte encontram-se 68,5% dos recursos hídricos, já no Nordeste apenas 3,3% de água são encontrados, Sudeste 6%, Sul 6,5% e Centro – Oeste 15,7%. Na Figura 1 pode-se observar a distribuição de água por região no Brasil.

Figura 1 - Distribuição de água no Brasil



Fonte: Adaptado de Botega (2007)

Telles e Costa (2007) comentam que com o crescimento populacional e a degradação da qualidade da água, já se percebe sérios problemas relacionados com a escassez deste bem. O documento apresentado pela Empresa Brasil de Comunicação (EBC), informa que em 2017 70% dos municípios do Brasil não possuem estação de tratamento de esgoto e que apenas 39% dos dejetos produzidos são coletados e tratados. Este número está longe dos 60% determinados pela legislação do setor.

### **3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS**

Apesar da grande evolução das tecnologias de tratamento de água, os custos e os riscos envolvidos no tratamento de águas muito contaminadas podem ser extremamente elevados. O desconhecimento da água bruta é uma das causas de falhas em projetos de estações (CORDEIRO, 2008).

Para a definição de critérios e condições para mananciais hídricos, foi estabelecida uma classificação para as águas, descrita pela Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 20/86, em função dos seus usos. Com isto, segundo Mota (2003), obteve-se um grande avanço em relação ao controle de poluição, sendo possível o enquadramento dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica.

No entanto, a Resolução CONAMA nº 357, de março de 2005, anulou a Resolução CONAMA nº 20/86, dispondo de diretrizes ambientais e prevendo uma classificação das águas doces, salobras e salinas do Brasil. Além de estabelecer condições e padronizações para o lançamento de efluentes. Isto foi um fator fundamental para a seleção apropriada das tecnologias de tratamento, para que a água esteja dentro dos padrões exigidos pela Portaria MS nº 518/ 2004.

A classificação de águas doces, salobras e salinas em território brasileiro, requeridas para diferentes fins, está descrita na Tabela 1:

Tabela 1 - Classificação das águas de acordo com a Resolução nº 357/05

CLASSE		USOS
ÁGUAS DOCES	Classe Especial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abastecimento doméstico, sem prévia ou com simples desinfecção</li> <li>• Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas</li> </ul>
	Classe 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abastecimento doméstico, após tratamento simplificado</li> <li>• Proteção das comunidades aquáticas</li> <li>• Recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho)</li> <li>• Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película</li> <li>• Criação natural e/ ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana</li> </ul>
	Classe 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abastecimento doméstico, após tratamento convencional</li> <li>• Proteção das comunidades aquáticas</li> <li>• Recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho)</li> <li>• Irrigação de hortaliças e plantas frutíferas</li> <li>• Criação natural e/ ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana</li> </ul>
	Classe 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abastecimento doméstico, após tratamento convencional</li> <li>• Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras</li> <li>• Dessedentação de animais</li> </ul>
	Classe 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Navegação</li> <li>• Harmonia paisagística</li> <li>• Usos menos exigentes</li> </ul>
ÁGUAS SALINAS	Classe 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recreação de contato primário</li> <li>• Proteção das comunidades aquáticas</li> <li>• Criação natural e/ ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana</li> </ul>
	Classe 6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Navegação comercial</li> <li>• Harmonia paisagística</li> <li>• Recreação de contato secundário</li> </ul>

ÁGUAS SALOBRAS	Classe 7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recreação de contato primário</li> <li>• Proteção das comunidades aquáticas</li> <li>• Criação natural e/ ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana</li> </ul>
	Classe 8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Navegação comercial</li> <li>• Harmonia paisagística</li> <li>• Recreação de contato secundário</li> </ul>

Fonte: Adaptado da Resolução CONAMA nº 357/05

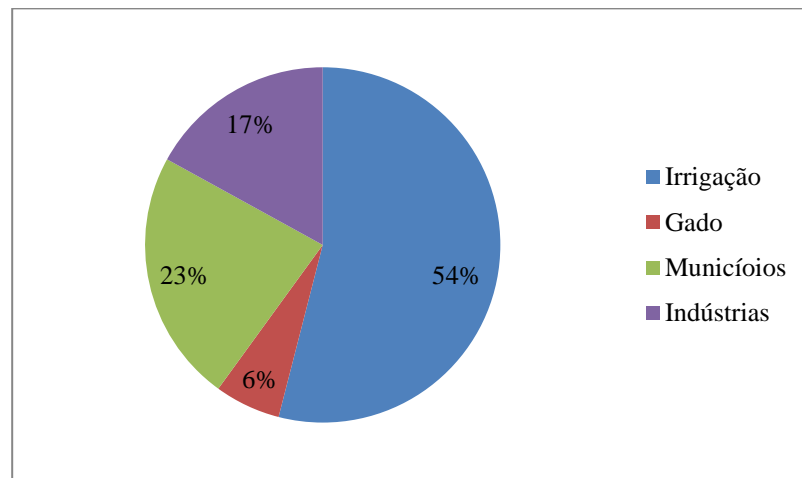
### 3.3 USO DA ÁGUA

A água que é utilizada pela sociedade humana, visa a atender as necessidades pessoais, atividades econômicas (agrícolas e industriais) e sociais da população. Porém, essa diversificação no uso da água, quando realizada de forma inadequada, provoca alterações na qualidade da mesma, comprometendo os recursos hídricos e por consequência seus usos para os diversos fins. A qualidade da água é aspecto indispensável, quando se trata dos seus principais usos, em especial, para fins como o abastecimento humano. Este uso tem sofrido restrições significativas em função de prejuízos nos rios provenientes das ações naturais e antrópicas, as quais alteram os aspectos de qualidade e quantidade de água disponível para o uso humano (SOUZA, MORAES e SONODA, 2014).

Segundo as pesquisas de Von Sperling (2005) e Marengo (2008), os principais usos da água são: abastecimento doméstico; abastecimento industrial; irrigação; dessedentação do homem e animais; preservação da flora e da fauna; recreação e lazer; criação de espécies; geração de energia elétrica; navegação; harmonia paisagística; diluição e transporte de despejos.

No Brasil, em 2010, a captação total de água foi estimada em 74.830 milhões de m<sup>3</sup>, dos quais 40.050 milhões m<sup>3</sup> (54 %) para irrigação, 4.850 milhões m<sup>3</sup> (6 por cento) para gado, 17.210 milhões m<sup>3</sup> (23 %) para municípios e 12.720 milhões m<sup>3</sup> (17 %) para indústrias. Na Figura 2, pode-se observar as porcentagens de retirada de água por setor (ANA, 2012).

Figura 2 - Retirada de água por setor.



Fonte: Adaptado de ANA, 2012.

A associação entre os principais requisitos de qualidade com os correspondentes usos de água, em casos de corpos d'água com usos múltiplos, a qualidade deve atender aos requisitos dos diversos usos previstos (VON SPERLING, 2005).

### 3.4 EFLUENTE INDUSTRIAL

A legislação brasileira é muito rigorosa com as indústrias no que diz respeito à responsabilidade ambiental e o tratamento de efluentes da produção industrial. Já que as indústrias são os maiores poluentes do país e despejam, anualmente, milhares de toneladas de rejeitos tóxicos nas águas de rios e córregos, além de atingir também lençóis freáticos. Tudo isso prejudica seriamente a qualidade da água que será captada em outros pontos para tratamento e distribuição, bem como a qualidade de vida da população trazendo uma infinidade de doenças de veiculação hídrica. Esses problemas podem ser resolvidos em grande parte com o tratamento correto dos efluentes industriais (PORTAL FLUENCE, 2016).

Os efluentes líquidos industriais têm origem nas águas utilizadas na área de utilidade e/ou nos processos industriais. Suas características dependem da natureza da indústria (tipologia); das matérias-primas processadas; das etapas de transformação utilizadas no processo; da incorporação de substâncias indesejáveis à água (como detergentes, solventes,

pigmentos, etc.); do porte da indústria e do modelo de gestão empregado (CAMMAROTA, 2011).

Um efluente pode conter poluentes orgânicos e inorgânicos, que podem estar solúveis na água ou em suspensão na forma de partículas (sólidas ou líquidas). O material em suspensão pode ser removido da água por métodos físico-químicos, cuja escolha dependerá das características do material particulado (tamanho, densidade, carga elétrica, etc.) (CAMMAROTA, 2011).

O conhecimento da natureza do efluente é essencial para o projeto e análise de instalações de tratamento. Para isso é necessário realizar a caracterização do efluente de determinada empresa ou setor, utilizando os principais parâmetros físico-químicos e/ou biológicos, normalmente analisados conforme as características da fonte são: sólidos totais, fixos, voláteis, em suspensão, dissolvidos e sedimentáveis; temperatura; cor; odor; turbidez; demanda bioquímica de oxigênio (DBO); demanda química de oxigênio (DQO); carbono orgânico total (COT); pH; oxigênio dissolvido (OD); metais pesados – chumbo, cromo, cádmio, zinco, ferro, mercúrio, etc; gás sulfídrico; metano; nitrogênio; fósforo; óleos e graxas (O & G); cloretos; sulfatos; compostos tóxicos (cianetos e cromatos); fenóis; agentes tensoativos – ABS, LAS; microrganismos – coliformes fecais e totais, em geral; vazão do efluente. As análises necessárias para conhecer cada parâmetro são realizadas em laboratórios especializados, normalmente utilizando procedimentos padronizados segundo o *Standard Methods* (BELTRAME, LHAMBY e BELTRAME, 2016).

Existem várias formas de tratar os efluentes industriais, por processos de tratamentos: físicos, biológicos e químicos. Os processos físicos são os que separam os sólidos por decantação, peneiramento, filtração, entre outros. Já os processos biológicos têm o objetivo de separar os sólidos e removê-los por uma aceleração dos processos da natureza (decantação ou flotação, por exemplo), utilizando organismos biológicos para isso. Os processos químicos, por fim, são os que se utilizam de agentes de coagulação, neutralização de pH, oxidação ou floculação, entre outros, para agilizar o tratamento. Esse processo consegue remover os tóxicos por reações químicas, além de condicionar a mistura de efluentes que será tratada nos processos posteriores (PORTAL FLUENCE, 2016).

O gerenciamento adequado dos efluentes é importante para minimizar o impacto ambiental (STEIN, 2012). O grau de tratamento necessário para lançamento em um corpo receptor de efluentes tratados ou não, oriundos de atividades industriais, leva em conta os padrões legais de emissão e de qualidade. Os padrões de emissão e de qualidade são

reportados às características do efluente lançado, enquanto os padrões de qualidade dependem das características do corpo receptor deste efluente. Esses padrões de emissão e qualidade são especificados via legislação: em nível Federal vige a Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 (CAVALCANTI, 2009).

### 3.5 PROCESSOS DE TRATAMENTO

Os processos de tratamentos de efluentes objetivam atender à legislação ambiental e em alguns casos ao reuso de águas (GIORDANO). Para a remoção de contaminantes presentes em efluentes industriais são testadas e utilizadas diversas operações unitárias de natureza física, química e biológica, isoladamente ou em uma multiplicidade de combinações (CAVALCANTI, 2009).

Então, o tratamento de efluentes pode ser classificado, de acordo com Von Sperling (2005) e Metcalf e Eddy (2003), em:

- I. Processos físicos: processos com predominância dos fenômenos físicos de um sistema de tratamento que se caracteriza pela remoção de substâncias fisicamente separáveis dos efluentes, ou que não se encontram dissolvidos. Os principais processos físicos são: gradeamento, peneiramento, decantadores, filtração, caixas de gordura, remoção da umidade do lodo, homogeneização;
- II. Processos químicos: são processos com utilização de produtos químicos quando nos processos físicos e biológicos não atendem a demanda de poluentes que se deseja reduzir ou remover. Os principais são: coagulação, floculação, precipitação, neutralização de pH e cloração;
- III. Processos biológicos: processos que dependem da ação de microrganismos presentes nos efluentes. Têm como princípio utilizar a matéria orgânica dissolvida ou em suspensão como substrato para microrganismos tais como bactérias, fungos e protozoários, que a transformam em gases, água e novos microrganismos. Seu objetivo é remover a matéria orgânica dissolvida e em suspensão, através da transformação desta em sólidos sedimentáveis (flocos

biológicos), ou gases (RAMALHO, 1991). Os principais processos biológicos são: oxidação biológica aeróbia, com lodos ativados, filtros biológicos, valos de oxidação e lagoas de estabilização; e anaeróbios como reatores anaeróbios de fluxo ascendente, e digestão de lodo (aeróbia, anaeróbia e fossas sépticas).

### 3.6 ADSORÇÃO

O processo de adsorção, segundo Ruthven (1984), é baseado na separação de componentes de uma mistura, tendo a transferência de massa como fenômeno físico. Há na mistura um composto que está diluído na fase fluida, podendo ser gás ou líquido, e um sólido, que é o adsorvente. Quando estas duas fases entram em contato, o composto que está diluído se difunde indo do seio da fase fluida para a superfície do adsorvente. A força motriz desta difusão é a diferença de concentração entre o seio da solução e a superfície do material sólido.

Esta técnica tem mostrado ser uma excelente maneira de tratar efluentes de resíduos industriais, oferecendo vantagens significativas, como o baixo custo, disponibilidade, rentabilidade, facilidade de operação e eficiência, em comparação com os métodos convencionais, especialmente do ponto de vista econômico e ambiental (PURKAIT et al., 2007; SANTOS e BOAVENTURA, 2008).

Dentre os adsorventes mais comuns estão zeólitas, carvões ativados, sílica-gel, argilas naturais e argilas modificadas (RUTHVEN, 1984).

Diversos fatores influenciam no processo de adsorção. Um dos fatores a ser observado é a velocidade de agitação, pois, melhores resultados são obtidos quando se tem uma dispersão de partículas homogêneas porque diminui a espessura da camada limite e aumenta a taxa de transferência de massa. Outro fator a ser considerado é a temperatura, na maioria dos sistemas um aumento de temperatura implica em uma diminuição da quantidade adsorvida, o que significa que a adsorção é geralmente exotérmica. O tamanho da partícula também deve ser estudado como uma variável, pois quanto menor o tamanho das partículas maior é a superfície de contato e maior a adsorção, contudo as propriedades e as características estruturais e morfológicas têm se mostrado mais relevantes no estudo do processo (ALMEIDA NETO, 2007).

No processo da adsorção existem dois tipos de interações, a quimissorção e a fisissorção. Na quimissorção ocorre uma interação química entre o sólido adsorvente e o

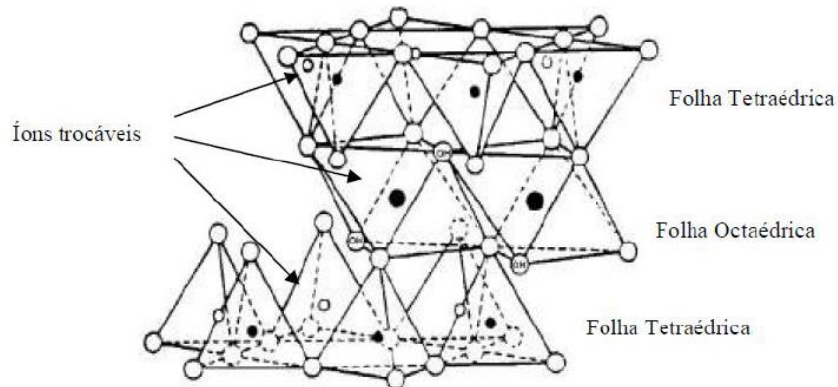
soluto a ser adsorvido, ou seja, ocorre transferência de elétrons de uma espécie para outra. Esta ligação química gera a formação de uma monocamada sobre a superfície do adsorvente, alterando a natureza química do adsorbato, assim a quimissorção é um processo irreversível. Já a fisissorção ocorre através de forças intermoleculares entre espécies, como as forças de Van der Waals, e por serem interações de fraca intensidade, a fisissorção é um processo reversível (RUTHVEN, 1984).

Após a escolha do adsorvente, a próxima etapa para elucidar o processo de adsorção e o estudo de equilíbrio. Os dados de equilíbrio descrevem como os adsorbatos interagem com o material adsorvente, sendo críticos para a otimização do uso de adsorventes (CRINI e BADOT, 2008).

### **3.6.1 Argilas**

Segundo Souza (1992), argila é definida como uma rocha natural, de granulação fina, terrosa, que geralmente quando umedecida com água adquire certa plasticidade. São formadas principalmente por um grupo de minerais: os argilominerais, também chamados de “silicatos em camadas” ou filossilicatos, os quais são silicatos de alumínio, ferro e magnésio hidratados, com estruturas cristalinas estabelecidas por camadas (“folhas”) contínuas de tetraedros de óxido de silício ( $\text{SiO}_4$ ), ordenados de forma hexagonal, condensados com camadas octaédricas de hidróxidos de metais tri e divalentes (Figura 3), sendo a maioria naturalmente constituída essencialmente por partículas (cristais) com algumas dimensões normalmente abaixo de 2  $\mu\text{m}$ . (COELHO, SOUZA e SOUZA, 2007). Mas também podendo conter minerais que não são considerados argilominerais (calcita, dolomita, quartzo e outros), matéria orgânica e outras impurezas (SOUZA, 1992).

Figura 3 - Estrutura cristalina 2:1 de bentonita.



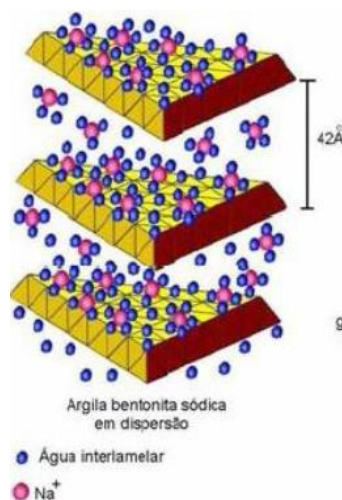
Fonte: SILVA JÚNIOR, DANTAS e LIMA, 2007.

Como a argila pode conter em sua composição misturas de minerais finos e de cristais de outros minerais, tais como, óxido de quartzo, de carbonato e de metal, sendo assim desempenham um papel importante no meio ambiente atuando como um limpador natural dos poluentes adsorvendo os cátions e os ânions com a troca iônica. Essa é uma das grandes qualidades da argila a fim de compensar uma deficiência de carga na estrutura (BHATTACHARYYA e GUPTA, 2008).

Bentonita é uma terminologia tecnológica aplicada a argilas com granulação muito fina, compostas essencialmente por minerais do grupo das esmectitas, sendo mais comum a montmorilonita em concentrações que podem variar de 60 a 95%. É uma argila que adicionalmente pode conter minerais acessórios como: quartzo, cristobalita, feldspato, pirita, carbonatos, clorita, caulinita, mica e ilita. A Montmorilonita (Figura 4), também denominada como esmectita, é o nome dado à argila que foi identificada por Knight em 1896 em Montmorillon, uma cidade na região de Poitou na França. A montmorilonita é o argilomineral mais abundante entre as esmectitas, cuja fórmula química geral é  $M_x(Al_{4-x}Mg_x)Si_8O_{20}(OH)_4$ . As argilas esmectíticas caracterizam-se por possuírem uma alta capacidade de troca cátions (CTC) e também por apresentarem uma expansão elevada quando se encontram em suspensão (PAIVA, MORALES e DÍAZ, 2008).



Figura 5 - Argila bentonita sódica em dispersão.



Fonte: MARTINS et al., 2007.

Existem diversos tipos de bentonita, sendo que de uma forma geral suas principais características são: alta capacidade de inchamento quando em contato com água e a capacidade de formar géis tixotrópicos em meio aquoso, mesmo que em baixas concentrações (SANTOS, 1992). A bentonita é utilizada em diversas atividades industriais, como lama para perfuração, aglomerante para areia de fundição, aglomerante para alimentos de animais, aglomerante e substrato para pesticidas e remédios, aglomerante para peletização de minério de ferro, liners minerais em aterros e lagoas, espessantes para paredes diafragma e floculantes (ALTHER, 2004)

Embora existam outros tipos de adsorventes para removerem a maioria dos poluentes, alguns são suscetíveis à obstrução dos poros na sua estrutura gerada por hidrocarbonetos grandes. A preferência quanto ao uso de argilas esmectíticas nas sínteses organofílicas, deve-se às pequenas dimensões dos cristais e a elevada capacidade de troca de cátions desses argilominerais isso faz com que as reações de intercalação sejam mais rápidas e eficientes (NGUYEN et al., 2013).

### **3.7 PROCESSO DOS MÉTODOS DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO**

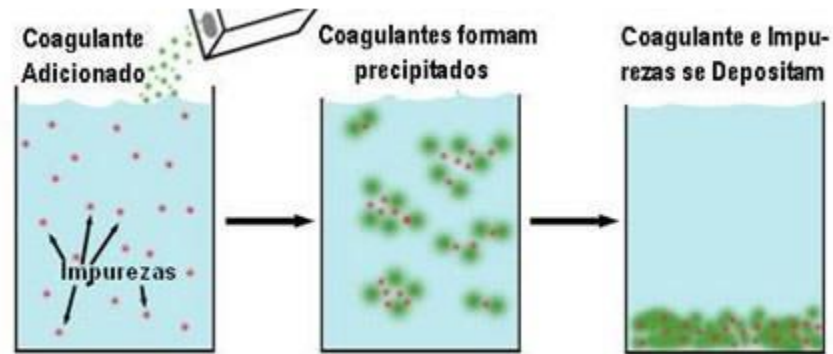
Em geral, as águas residuais contêm partículas que podem encontrar-se em suspensão e/ou no estado coloidal. As partículas coloidais podem ou não, sedimentar por ação da gravidade. Quando não se verifica a sedimentação, pela força da gravidade, podemos estar na presença de colóides com um tamanho minúsculo, podendo variar de 0,001 até 100  $\mu\text{m}$ . As partículas coloidais caracterizam-se pela sua boa estabilidade pois possuem cargas elétricas com sinal igual, normalmente negativo, gerando-se assim repulsão entre as partículas (PERES, 2009).

A remoção de partículas no tratamento de águas acarreta grandes dificuldades. A introdução de processos de coagulação/floculação química nestes tratamentos é uma mais-valia para a tratabilidade de efluentes, na medida em que estes processos favorecem a aglomeração dos colóides em partículas de maior tamanho, para que possam sedimentar por ação da gravidade (AMOR, 2011).

#### **3.7.1 Coagulação**

A coagulação é o processo de aglomeração de partículas em suspensão finamente divididas ou em estado coloidal, pela adição de um coagulante adequado. O mecanismo da coagulação consiste na formação de partículas floculantes (flocos) em um líquido pela ação de um coagulante químico que, em solução, fornece carga iônica oposta às partículas coloidais (CAVALCANTI, 2009). Conforme mostrado na Figura 6:

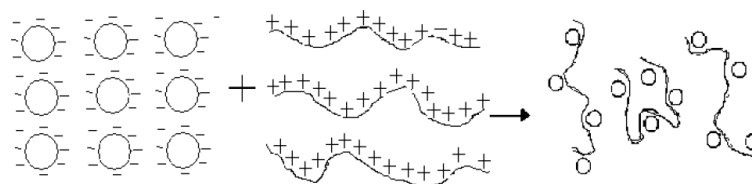
Figura 6 - Ilustração do funcionamento de coagulação.



Fonte: Adaptado de CAVALCANTI, 2009.

A mistura do coagulante e o efluente, segundo Nunes (2004), provoca a hidrólise, polimerização e a reação com a alcalinidade, formando hidróxidos denominados gel, produzindo, na solução íons positivos. A aglomeração das partículas efetiva-se quando o potencial zeta está próximo de zero (ponto isoelétrico), ocorrendo assim a desestabilização das cargas negativas dos colóides e sólidos em suspensão, através dos íons de sinal contrário que formarão os flocos para a separação por decantação, flotação ou filtração. Na Figura 7 pode-se observar o mecanismo de coagulação agindo sobre as partículas.

Figura 7 - Mecanismo de coagulação.



Fonte: Adaptado SANTOS, 1987.

Segundo Richter (2009), a coagulação envolve inicialmente a mistura rápida do coagulante com a água e, em seguida, a agitação lenta do material coagulado para a formação dos flocos. A mistura rápida e a floculação são, portanto, basicamente processos de transporte de fluídos, associados à precipitação e união de partículas primárias. A diferença entre as duas reside no tempo e intensidade de mistura, esta definida pelo gradiente de velocidade. O conhecimento da taxa de união entre as partículas previamente desestabilizadas, isto é, da

cinética da floculação, é portanto uma condição fundamental no dimensionamento dos floculadores.

Entre a variedade de agentes de coagulação, em geral são usados sais que geram hidróxidos em reação com a água e compostos orgânicos naturais ou artificiais de longa cadeia molecular, os polieletrólitos (RICHTER, 2009). Para escolha do coagulante, deve-se tomar como base um estudo em termos de rendimento, custos, consumo de produtos, auxiliares para ajuste de pH, facilidade de manipulação entre outros (AZAMBUJA, 1991). As dosagens de coagulante variam numa ampla gama, tendo como prioridade atingir a máxima eficiência de remoção de poluentes utilizando as doses mínimas para o pH ótimo (ALMUTAIRI et al., 2004).

### **3.7.2 Floculação**

A floculação é a operação complementar à coagulação, que visa dar densidade as partículas coloidais neutralizadas, tornando-as maiores e de maior peso. É realizada através da adição de moléculas de cadeia longa (polímeros), cujas subunidades são ionizáveis (polieletrólitos), produzindo a união de partículas por adsorção e formação de pontes (CLAAS e MAIA, 2003). Desempenha um papel dominante na cadeia de processos de tratamento de água e efluentes, principalmente na preparação da decantação ou da flotação e, assim, na filtração que se segue. O sucesso dos outros processos depende, portanto, de uma coagulação bem-sucedida (RICHTER, 2009).

Floculação resulta da ação de um polímero de elevado peso molecular que, em geral, adsorve-se de forma simultânea na superfície de várias partículas. O agregado é denominado “floco”. Sua maior eficiência ocorre em agitação lenta, com ação do polímero, que faz a união das partículas formando o floco (BATAR et al, 2001, p. 498).

De acordo com Lopes (2014), é compreendido que quanto maior for o gradiente de velocidade, maior será a probabilidade de ocorrer contato entre as partículas, possibilitando à agregação dos flocos e visando o aumento do tamanho dos mesmos. Porém, não se devem exceder as velocidades, visto que provocarão protrusão nos flocos já formados. No processo de floculação ocorrem dois fenômenos que se contrapõem: agregação das partículas e a ruptura dos flocos, desta forma tornam-se importante os ensaios laboratoriais, nos quais, é

possível estabelecer um equilíbrio entre esses fenômenos. Na prática, tem-se observado que o valor do gradiente de velocidade média eficiente diminui à medida que aumenta o tempo de floculação.

Os floculantes (polieletrólitos) podem classificar-se quanto a sua natureza (mineral ou orgânica), quanto a sua origem (sintética ou natural) e quanto a sua carga elétrica (aniônico, catiônico ou não iônico). Alguns polieletrólitos orgânicos podem ter origem natural (amidos, derivados de celulose, etc.) ou ter origem sintética (CLASS e MAIA, 2003).

#### **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

A parte experimental desse trabalho foi desenvolvida no Laboratório de Tecnologia Química do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) em parceria com os Laboratórios de Bioengenharia, Fenômenos de Transporte, Carvão Ativado, do Departamento de Engenharia Mecânica e o Laboratório de Saneamento, do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UFPB.

Para as análises de caracterização e testes dos tratamentos, foram utilizadas três amostras do efluente industrial. Para o teste de adsorção, utilizou-se a argila nacional bentonita verde claro cedida pela Pegmatech – Especialidades Tecnológicas Ltda. Utilizou-se também como coagulante a solução de cloreto de ferro III (10g/L) e como floculante o polímero poliacrilamida aniônica (0,1g/L).

##### **4.1 EFLUENTE INDUSTRIAL**

As amostras de efluente industrial foram coletadas em dois pontos da Estação de Tratamento de Efluente (ETE) da indústria em estudo, localizada em João Pessoa – Paraíba. Realizaram-se as coletas na entrada e saída da ETE. O primeiro ponto foi do tanque de equalização (Figura 8), que possui um volume aproximado de 509 m<sup>3</sup>, e o segundo ponto de coleta foi da lagoa 2 que tem um volume de 5.477 m<sup>3</sup> (Figura 9).

Figura 8 - Tanque de equalização.



Fonte: Autora, 2018.

Figura 9 - Lagoa 2.



Fonte: Autora, 2018.

As coletas foram realizadas nos meses de março, abril e maio, uma em cada mês. No procedimento da coleta utilizaram-se bombonas de plástico (5 litros) pré-lavadas com água destilada. No momento da obtenção da amostra de efluente fez-se a ambientação dos equipamentos com a água do local e depois o material coletado foi encaminhado para o laboratório para as análises.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO EFLUENTE

### 4.2.1 pH

A determinação do pH foi feita com a utilização do pHmetro de bancada TecnaTec 3MP.

### 4.2.2 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A DQO é o método que determina a quantidade de oxigênio necessária para oxidar quimicamente a matéria orgânica e inorgânica oxidável presente em uma amostra (APHA, 2012). A determinação da DQO foi feita seguindo o método *Hach* 8000, aprovado pela USEPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) para efluente. E para isto foi utilizado um kit, onde se tem as soluções de reagentes já padronizadas e pré-dosadas (ácido sulfúrico e dicromato de potássio) que são utilizados na determinação da DQO. Essas soluções vem em tubos de ensaio de vidro borossilicato 16mm diâmetro (Figura 10) e faixa de análise 20 – 1500 mg/L.

Figura 10 - Tubos de ensaio de vidro borossilicato.



Fonte: Autora, 2018.

Para a determinação da DQO foi utilizado um reator modelo Hach DRB 200, onde as amostras do branco e do efluente (Ponto 1 e Ponto 2) são colocadas a 150 °C por duas horas para ocorrer a digestão. Após esse processo é realizado a leitura da DQO em um espectrofotômetro modelo Hach DR 6000.

#### 4.2.3 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A DBO é a quantidade de oxigênio requerida para oxidar a matéria orgânica biodegradável contida em uma amostra por ação bioquímica aeróbia. Essa análise representa o teor de matéria orgânica biodegradável presente em efluente (CAMMAROTA, 2011).

Para essa análise foi utilizado o método OxiDirect, um sistema de medição respirométrico (Figura 11) onde a DBO é determinada na própria garrafa sem diluição prévia.

Figura 11 - Unidade de medição DBO.



Fonte: Autora, 2018.

No preparo da amostra para a determinação da DBO foi estimada uma faixa de medição segundo a concentração de DQO que foi analisada dos pontos 1 e 2 do efluente em estudo e selecionou o volume correspondente, essa faixa de medição está representada na Tabela 2. O volume da amostra foi selecionado e transferido para a garrafa, adicionou-se o

inibidor de nitrificação (para cada 300 mL da amostra utiliza-se 0,16 g de inibidor) e no suporte de borracha posicionado na boca da garrafa, colocou-se três lentilhas de hidróxido de potássio (KOH). O sistema foi fechado e colocado numa incubadora a 20 °C durante 5 dias. No 5º dia é feita a leitura dos resultados da DBO que ficam armazenados na unidade de medição.

Tabela 2 - Faixa de medição DBO.

<b>Faixa de medição DBO (mg/L)</b>	<b>Volume da amostra (mL)</b>	<b>Quantidade de inibidor (g)</b>
0 – 40	428	0,228
0 – 80	360	0,192
0 – 200	244	0,130
0 – 400	157	0,084
0 – 800	94	0,050
0 – 2000	56	0,030
0 – 4000	21,7	0,012

Fonte: Adaptada de Ferreira, 2017.

#### 4.2.4 Sedimentação

Realizou-se a análise de sedimentação pelo método volumétrico que consiste na decantação de material sólido sedimentável presente na amostra em um equipamento especialmente projetado. O equipamento utilizado foi o cone *Imhoff* (Figura 12) com capacidade de 1 L, e que possui uma escala graduada em ml que permite leitura do volume sedimentado. O resultado é a razão entre o volume de sólido sedimentado da amostra em questão pelo volume da amostra, ou seja, para um cone de sedimentação de 1000 ml, o resultado final será expresso em ml/1000 ml ou ml/l.

Figura 12 - Cones Imhoff.



Fonte: Autora,2018.

#### 4.2.5 Turbidez

A turbidez das amostras de efluente antes e após o tratamento foram determinadas através do Policontrol Turbidímetro AP 2000-IR.

#### 4.2.6 Cor

A leitura da cor foi realizada com o auxílio de um espectrofotômetro visível digital, modelo Q898DPT, da Quimis, conforme ilustrado na Figura 13, fazendo-se a leitura de absorvância,  $-\log(I/I_0)$ , 455 nm por comparação visual com padrão de cobalto-platina, segundo procedimento recomendado pelo *Standard Methods* (APHA, 2012). O resultado é expresso em Pt.Co-1.

Figura 13 - Espectrofotômetro Quimis, modelo Q898DPT.



Fonte: Autora, 2018.

### 4.3 TESTES DE TRATAMENTO

#### 4.3.1 Adsorção: ensaios de banho finito

Os experimentos foram realizados pelo processo de adsorção em banho finito com agitação orbital, utilizando o efluente industrial coletado no mês de abril.

Nesse teste se deseja avaliar a eficiência do tratamento por adsorção em relação à diminuição da turbidez, DQO e DBO, da amostra do efluente em estudo utilizando como adsorvente a argila nacional bentonita.

Na escolha dos parâmetros para a realização dos ensaios de banho finito foi utilizada a metodologia desenvolvida por Nascimento (2017), onde foi desenvolvido um planejamento experimental indicando os melhores parâmetros para se utilizar num processo de adsorção com argila. Então, seguindo essa metodologia, os ensaios foram preparados adicionando 4g de argila nacional bentonita nos erlenmeyers (Figura 14) contendo 200 mL da amostra de efluente do primeiro ponto (maior concentração de DQO e DBO). Em seguida, levou-se os erlenmeyers para a agitação mecânica em uma Incubadora rotativa da SOLAB modelo SL 221 com rotação de 240 rpm, durante 5 horas, com temperatura de 30 °C. Em seguida, esperou a argila decantar e retirou o sobrenadante para realizar as análises físico-químicas e observar visualmente a remoção de cor da amostra.

Figura 14 - Mistura da amostra do efluente com o adsorvente.



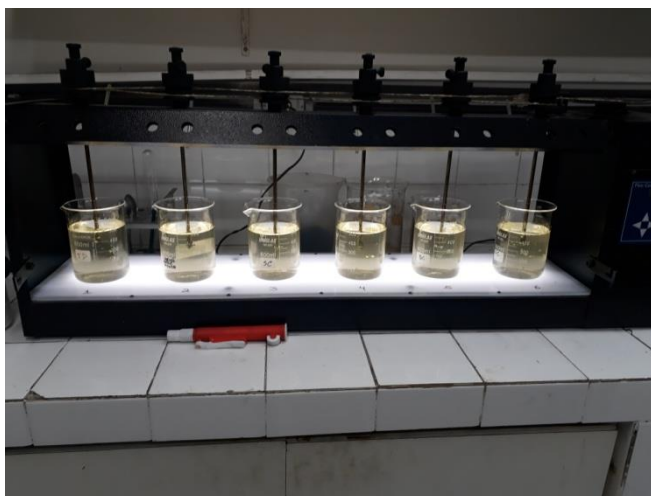
Fonte: Autora, 2018.

#### 4.3.2 Coagulação e Floculação

Para realizar as análises desses métodos, utilizou-se a amostra coletada no mês de maio, onde se fez a coleta do ponto de maior concentração de sólidos que foi o de entrada da ETE (Ponto 1).

Os ensaios de coagulação-floculação foram realizados em Equipamento de Reatores Estáticos (*Jar Test*), composto de 6 béqueres, de capacidade de 600 mL cada, conforme apresentado na Figura 15. A agitação foi feita através de agitadores mecânicos.

Figura 15 - Jar test.



Fonte: Autora, 2018.

A realização dos ensaios de coagulação-floculação em bancada, nos testes de jarros, teve como objetivo a determinação da melhor dosagem de coagulante para a remoção da cor e turbidez do efluente industrial e observar a necessidade da adição do floculante para aumentar a eficiência de remoção. Os experimentos foram realizados na temperatura ambiente  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ .

Esse teste foi realizado segundo a metodologia mostrada no trabalho de Ferreira (2013).

No início do procedimento foi colocado 500 mL da amostra do ponto 1 em cada béquer, adicionou-se o coagulante variando seu volume sucessivamente, para estudar a melhor dosagem. Na etapa de agitação rápida foi utilizada uma velocidade de 250 rpm por 20 segundos, reduzindo depois para 50 rpm (Agitação lenta), mantendo por 2 minutos. Interrompeu a agitação, observou a formação de flocos e aguardou 10 minutos para sedimentação dos mesmos.

Após analisar a eficiência da coagulação foi adicionado 1mL de floculante nos mesmos béqueres. Realizou então a agitação lenta por mais 20 minutos e aguardou o tempo de decantação para analisar a eficiência da floculação.

Na Tabela 3 abaixo está descrito o número da amostra de efluente e as concentrações de coagulantes e floculantes utilizados nesse tratamento.

Tabela 3 - Número da amostra de efluente e as concentrações de coagulantes e floculantes utilizados.

<b>Número da amostra</b>	<b>Ponto 1 (mL)</b>	<b>Ponto 1<sub>(Coagulante)</sub> (mg)</b>	<b>Ponto 1<sub>(Floculante)</sub> (mg)</b>
<b>1</b>	500	60	0,1
<b>2</b>	500	70	0,1
<b>3</b>	500	80	0,1
<b>4</b>	500	90	0,1
<b>5</b>	500	100	0,1
<b>6</b>	500	110	0,1

Fonte: Autora, 2018.

## **5. RESULTADOS**

### **5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO EFLUENTE**

A caracterização do efluente foi realizada com o intuito de conhecer as características desse efluente para então realizar os testes de tratamento.

Como etapa inicial, realizou-se a caracterização do efluente durante os meses de coleta. Na Tabela 4 é apresentado os resultados obtidos para os parâmetros pH, DQO, DBO, turbidez e sedimentação.

Tabela 4 - Caracterização das amostras coletadas em março e abril.

<b>MARÇO</b>		
<b>Análises</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>
<b>pH</b>	8,25	8,57
<b>DQO (mg/L)</b>	279	163
<b>DBO (mg/L)</b>	191	116
<b>Turbidez (NTU)</b>	902	438
<b>Sedimentação (mL/L)</b>	2	6,5
<b>ABRIL</b>		
<b>Análises</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>
<b>pH</b>	8,13	8,01
<b>DQO (mg/L)</b>	68	67
<b>DBO (mg/L)</b>	54,5	113
<b>Turbidez (NTU)</b>	605	141
<b>Sedimentação (mL/L)</b>	1	4,5

Fonte: Autora, 2018.

Analisando os resultados da Tabela 4, observa-se a diminuição dos parâmetros entre as coletas de março e abril, isto pode ter ocorrido devido à diferença do mês de coleta. Onde no mês de abril foi mais chuvoso do que no mês de março, tornando o efluente mais diluído devido à água da chuva. Ainda pode ser observado que há um aumento na sedimentação, comparando o ponto 1 e o ponto 2, nos meses coletados. Isto se deve ao fato de que está ocorrendo um arraste de sólidos do ponto 1 para o ponto 2.

Na Tabela 5 é demonstrado os resultados das variáveis pH, turbidez e cor da coleta realizada em maio.

Tabela 5 - Análises realizadas na coleta em maio.

<b>Análises</b>	<b>Ponto 1</b>
<b>Ph</b>	8,64
<b>Turbidez (NTU)</b>	9,23
<b>Cor (PtCo)</b>	237,29

Fonte: Autora, 2018.

Como pode ser observado na Tabela 5, não foi possível realizar a caracterização de DQO e DBO no mês de maio e na Tabela 4 observa-se que não se realizou a análise de cor nos meses de março e abril. Isto ocorreu devido a baixa quantidade de reagentes; dificuldades para coletar o efluente na indústria e realizar todas as análises no mesmo dia, pois era necessário utilizar cinco laboratórios da UFPB e nem todos estavam disponíveis ao mesmo tempo.

O resultado da caracterização físico-química da amostra bruta ajudou na escolha de métodos de tratamento econômicos que interferissem diretamente na remoção dos parâmetros (turbidez e cor) com valores elevados e também observar sua eficiência em relação aos outros parâmetros.

## 5.2 TESTES COM ADSORÇÃO

Na Tabela 6 são mostrados os resultados dos parâmetros pH, DQO, DBO e turbidez após o tratamento por adsorção utilizando a argila bentonita como adsorvente.

Tabela 6 - Análises do tratamento por adsorção da amostra de efluente do ponto 1.

<b>Análises</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 1(Tratado)</b>
<b>pH</b>	8,13	8,32
<b>DQO (mg/L)</b>	68	30
<b>DBO (mg/L)</b>	54,5	34
<b>Turbidez (NTU)</b>	605	19,2

Fonte: Autora, 2018.

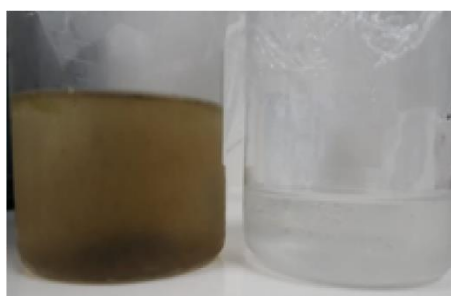
Os resultados apresentados na Tabela 6 são da coleta do mês de abril, onde foi escolhido o ponto 1 para realizar o tratamento, devido ao valor elevado da turbidez.

A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, devido a presença de sólidos suspensos, tais como partículas orgânicas e detritos orgânicos, algas, bactérias e plâncton. O aumento da turbidez em cursos d'águas prejudica a zona de luz e a fotossíntese onde ela ainda pode ocorrer (zona eufótica), interferindo nos equilíbrios naturais entre os compartimentos ambientais (APHA,1998).

Os resultados obtidos após o tratamento foram satisfatórios, pois houve uma remoção de 55,82 % da DQO, 37,62 % da DBO e 96,82 % da turbidez (melhor eficiência de remoção), em relação aos valores da amostra bruta. O pH sofreu uma pequena alteração, mas continua dentro dos padrões da Resol. n° 430/2011, CONAMA, que diz que o pH ideal para lançamento de efluentes é de 6,5 a 8,5.

A análise de cor, em relação à adsorção, foi observada visualmente (Figura 16).

Figura 16 - Redução de cor do efluente industrial.



Fonte: Autora, 2018.

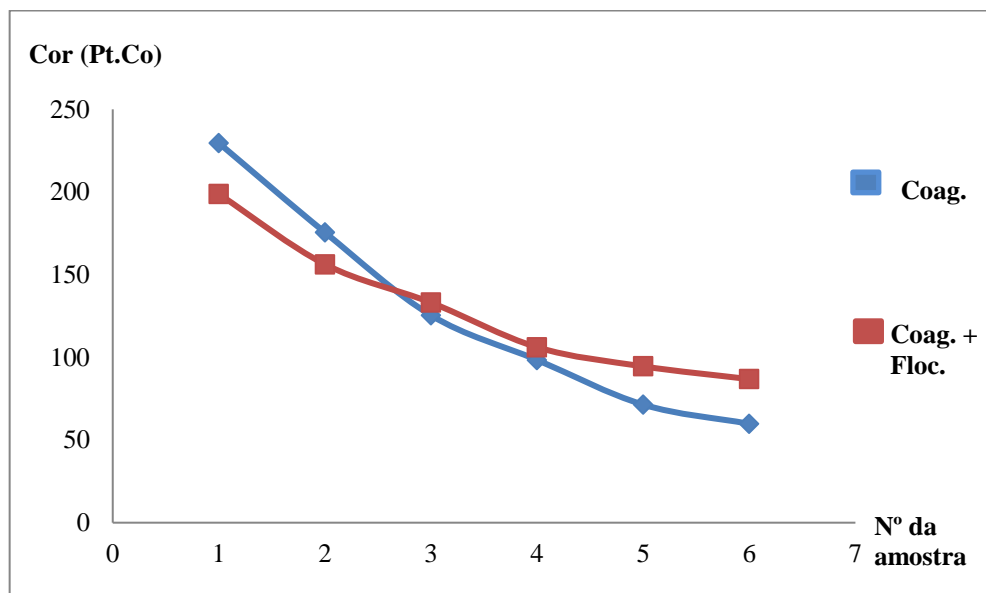
Na Figura 16 pode-se observar que houve uma remoção significativa da cor do efluente bruto para o tratado.

### **5.3 TESTES COM COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO**

Esses testes foram realizados com a amostra do efluente coletado em maio (ponto 1) com o intuito de avaliar a eficiência de remoção que esse método pode alcançar nas análises de turbidez e cor. Os valores dos parâmetros da amostra bruta utilizada nesse teste são: pH 8,64; turbidez 9,23 NTU e cor 237,19 PtC<sub>o</sub>.

A Figura 17 apresenta as curvas de remoção da cor do efluente em volumes diferentes de coagulante, acrescentando posteriormente o floculante.

Figura 17 - Análise da cor após o tratamento com coagulação e floculação.

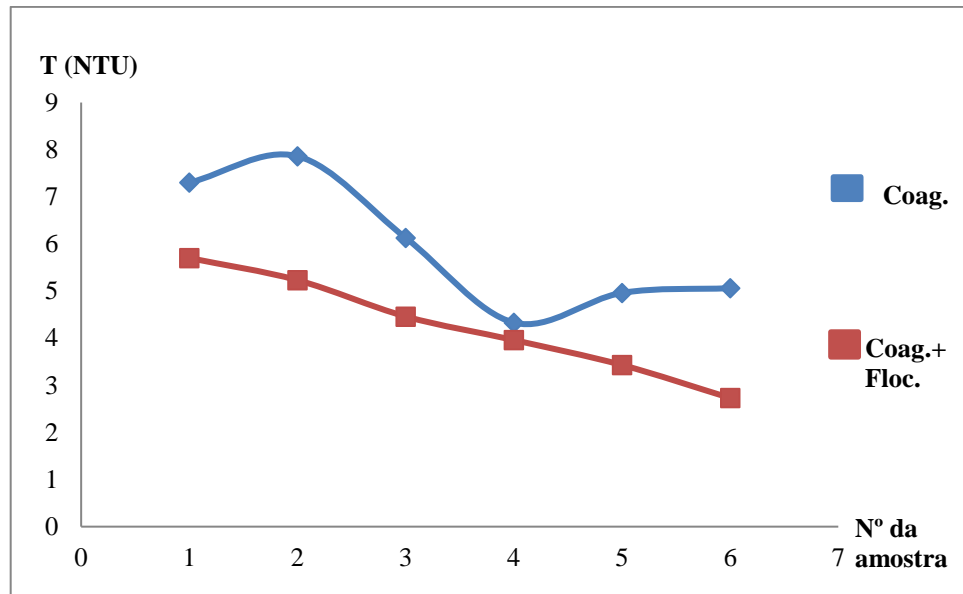


Fonte: Autora, 2018.

Comparando os processos de coagulação e coagulação-floculação (Figura 17), podemos observar que o processo de coagulação teve uma eficiência de 74,79% na remoção da cor do efluente, com a concentração de 110 mg de coagulante. Enquanto no processo coagulação-floculação teve uma remoção de 63,41 % da cor.

Na Figura 18 são demonstradas as curvas de remoção da turbidez do efluente em volumes diferentes de coagulante, acrescentando 0,1 mg do floculante, posteriormente.

Figura 18 - Análise da turbidez após o tratamento com coagulação e floculação.



Fonte: Autora, 2018.

Comparando os processos de tratamento, podemos observar que se teve uma maior eficiência de remoção com o processo coagulação-floculação de 70,42 % da turbidez do efluente em análise.

Após o tratamento o pH das amostras variaram entre  $6,8 \pm 0,1$ . Permanecendo dentro dos padrões da Resol. nº 430/2011, CONAMA.

Em relação aos valores da análise de cor, no Brasil ainda não há uma legislação específica que delimite padrões de cor para efluentes. Entretanto, no CONAMA 357/2005, Art.15-III e Art.16-I, se entende que, na ausência de padrões definidos, devem-se adotar os padrões disponíveis para a classe em que os corpos receptores estiverem enquadrados.

## 6. CONCLUSÃO

A partir da caracterização do efluente industrial foi possível avaliar a forma em que este efluente é lançado nos cursos d'água e perceber que os parâmetros analisados da amostra bruta não estão dentro dos padrões da Resolução CONAMA nº 357 de março de 2005, da qual a Empresa relata seguir. Devido a isto surgiu à preocupação de realizar um estudo desse efluente industrial, avaliando formas de tratamento econômicas que sejam eficientes para apresentar a empresa.

Os resultados obtidos com a operação do sistema físico-químico permitem concluir que:

- houve eficiência no tratamento pelo método de adsorção com argila bentonita. Onde se atingiu uma remoção significativa dos parâmetros analisados: DQO, DBO e turbidez.
- a eficiência no tratamento por coagulação e floculação, em relação aos fatores significativos ou influentes na remoção das variáveis turbidez e cor, foi devido ao coagulante e floculante utilizado.

O presente trabalho pode representar uma mais-valia para os responsáveis pela gestão de indústrias de sucos de fruta. Poderá também ser útil para empresas especializadas na área do tratamento de águas residuais industriais.

## REFERÊNCIAS

- ABEA. Associação Brasileira de Engenheiros de Alimentos. Editorial. Disponível: <http://www.geocites.com/eureka/gold/5301>. Acesso em 2 março de 2018.
- ABECITRUS, História da Laranja e Subprodutos da Laranja, <http://www.abecitrus.com.br/>. Acessado em abril/2018.
- AH Parente, EAB Silva - **Redução de efluentes líquidos na indústria alimentícia**. Revista Química & Tecnologia, 2002. Disponível em: [maxwell.vrac.puc-rio.br](http://maxwell.vrac.puc-rio.br).
- ALMEIDA NETO, A. F. **Desempenho de argilas bentoníticas na remoção de cátions de cádmio e cobre em colunas de leito fixo**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba. 98p. 2007.
- AL-MUTAIRI,N.,HAMODA,M.,AL-GHUSAIN,I. **Coagulant selection and sludge conditioning in a slaughter house waste water treatment plant**. Bioresource Technology, 95, 115-119, 2004.
- ALTHER, G. Technical Note: **Some Practical Observation son the Use of Bentonite**. Enviromental e Engineering Geoscience, Vol X, nº. 4, 347-359, 2004.
- AMOR, C. L. L. **Tratamento de efluentes da indústria de concentrados de sumos de fruta: aplicação de processos biológicos e químicos**. Dissertação de mestrado. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2011.
- APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods For the Examination of Water and Waste water**. 22 ed. Washington, DC: APHA, 2012.
- AZAMBUJA, H. **Introdução ao Tratamento de Efluentes Industriais**. SENAI. Porto alegre, 1991.
- BELTRAME, T. F.; LHAMBY, A. R.; BELTRAME, A. **Efluentes, resíduos sólidos e educação ambiental: Uma discussão sobre o tema**. REGET – v. 20. 2016, p. 351-362.
- BATAR, C; RÚBIO, J; TESSELE, F. **Processos para tratamento de efluente na mineração**. In: BENVINDO, Adão L. et al. **Tratamento de minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 3ª edição revisada e ampliada, 2001. p. 745.
- BHATTACHARYYA, K. G.; GUPTA, S. S. **Adsorption of a few heavy metal son natural and modified kaolinite and montmorillonite: A review**. Advances in Colloidand Interface Science, v. 140, p. 114–131, 2008.
- BOTEGA, G. C. C. **Estudo e proposta de reciclagem das águas em indústria alimentícia**. Centro Universitário Univates, 2007.

- BRASIL. CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Ministério do Meio Ambiente, Resolução nº 430/2011. Disponível em: [www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/res43011.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/res43011.pdf). Acesso em: 05 de junho de 2018.
- CAMMAROTA, M. C., **Notas de aula: Tratamento de Efluentes Líquidos**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.
- CAVALCANTI, J. E. W. DE A. **Manual de tratamentos de efluentes industriais**. Ed. Engenho Editora Técnica, São Paulo/SP, 2009 454p.
- CLAAS, I.C.; MAIA, R.A.M., **Tecnologias e Gestão Ambiental - Efluentes Líquidos**. Brasília, 2003. 1ed.
- CORDEIRO, W. S., **Alternativas de tratamento de água para comunidades rurais. Dissertação de mestrado**. Centro Federal de Educação Tecnológica, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2008.
- COELHO, A. C. V.; SOUZA SANTOS, P.; SOUZA SANTOS, H. **Argilas Especiais: o que são, caracterização e propriedades**. Quím. Nova, v. 30, n. 1, p. 146–152, 2007.
- CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 20, de 18 de julho de 1986. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília (DF); 30 de julho de 1986.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes**. Complementa e Altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da República Federal do Brasil, Brasília, 2005.
- CRINI, G.; BADOT, P.-M. **Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dyeremoval from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies: A review of recent literature**. Progress in Polymer Science, v. 33, p. 399–447, 2008.
- MERINSKA D., MALAC Z., POSPISIL M., WEISS Z., CHMIELOVA M., CAPKOVA P., SIMONIK J., Comp. Interf. 9 (2002) 529.
- FERREIRA, A. de M. **Processos Químicos Tecnológicos**, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. 6p.
- FERREIRA, S. G., **Manual de laboratório: método OxiDirect**. Universidade Federal da Paraíba, 2017.
- FREIRE et al. **Novas Tendências para o Tratamento de Resíduos Industriais contendo Espécies Organocloradas**. Quím. Nova, v. 23, n. 4, 2000.
- GAJO, A.; LORET, B. **The mechanic soactive clays circulated by salts, acids and bases**. Comprehensive version. 2007. Relatório disponível em: <http://www.unitn.it/ricerca/pubblicazioni.htm> mantido pela Universidade de Trento.

- INTERNATIONAL WATER TECHNOLOGY CONFERENCE - IWTC.8, 2004, Alexandria.  
**Anaerobic Digestion Technology for Industrial Waste water Treatment.**p. 817-834, 2004.
- JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO - JEPEX. 10, 2010, Recife. **Uso de Biomassa para Produção Energética.** Recife: UFRPE, 3 p., 2010.
- LOPES, B. **Eficiência de coagulantes na remoção de diferentes concentrações de ferro e manganês para ETA Terras Baixas.** Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Federal de Pelotas, 2014.
- MARENGO, J. A., **Água e mudanças climáticas.** São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, 2008.
- MARIANA, M. Empresa Brasil de Comunicação: Radioagência Nacional. Brasília, 2017. Disponível em: <http://radioagencianacional.ebc.com.br/geral/audio/2017-09/estudo-mostra-que-70-dos-municipios-brasileiros-nao-tem-estacao-de-tratamento-de>. Acessado em: 21 de maio de 2018.
- MARTINS, A. B.; FERREIRA, H. S.; FERREIRA, H. C.; NEVES, G. A. **Desenvolvimento de argilas bentoníticas organofilizadas para uso em fluidos não aquosos de baixo conteúdo aromático,** 4º Congresso Brasileiro de P & D em Petróleo e Gás, Campinas, SP, 2007.
- METCALF & EDDY; **Waste water Engineering: treatment and reuse.** New York. Ed. McGraw – Hill, 2003, 1819p. ISBN: 0070418780.
- MIERZWA, J. C., HESPANHOL, I. **Água na indústria: uso racional e reuso.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Agricultura Sustentável.** Brasília: MMA, 2000, 57p.
- MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental.** 3ª Ed. Rio de Janeiro: ABES, 2003.
- NASCIMENTO, J. P. **Avaliação da argila bentonita verde claro organofílica na remoção de óleo de águas produzidas da indústria de petróleo.** Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa/ PB, 2017.
- NGUYEN, V. N.; NGUYEN, T. D.; DAO, T. P.; TRAN, H. T.; NGUYEN, D. B.; AHN, D. H. **Synthesis of organoclays and their application for the adsorption of phenolic compounds from aqueous solution,** J. Ind. Eng. Chem. v. 19, p. 640–644, 2013.
- NUNES, José Alves. **Tratamento Físico-Químico de Efluentes Industriais.** Aracaju: Editorial J Andrade, 2004.

PAIVA, L. B. DE; MORALES, A. R.; DÍAZ, F. R. V. **Argilas organofílicas: características, metodologias de preparação, compostos de intercalação e técnicas de caracterização.** *Cerâmica*, v. 54, 2008.

Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2012. 264 p.; il.

PARENTE, A. H.; BARROS, E. A. **Redução de efluentes líquidos na indústria alimentícia.** Universidade Católica de Pernambuco, 2002.

Portal Fluence: **Tratamento de efluentes industriais: por que sua empresa deve aderir?**, 2016. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/tratamento-de-efluentes-industriais-por-que-sua-empresa-deve-aderir/>. Acesso: 06 de junho de 2018.

PURKAIT, M. et al. **Removal of congo red using activated carbon and its regeneration.** *Journal of Hazardous Materials*, v. 145, p. 287–295, 2007.

PERES, J.A., **Trabalhos práticos em Química Ambiental**, Série Didáctica nº 368. Ciências Aplicadas. UTAD, Vila Real. 2009.

RAMALHO, R. S. **Tratamiento de aguas residuales.** Barcelona: Editorial Reverté S. A., 1991, 705p.

RAMJEAWON, T. **Cleaner production in Mauritian cane-sugar factories.** *Journal of Cleaner Production*, V.8, p.503-510.2000.

REZZADORI K.; BENEDITTI S. **Proposições para valorização de resíduos do processamento do suco de laranja.** São Paulo – Brasil, 2009.

RICHTER, C.A. **Água: Métodos e tecnologia de tratamento de água.** São Paulo: Blucher, 2009.

RUTHVEN, D. M., **Principals of Adsorption and Adsorption Processes.** John Wiley & Sons, 1984.

SANTOS, P. S., **Ciência e Tecnologia das Argilas.** 2ª Ed. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1992. 3 volumes, p. 1089.

SANTOS, S.C.; BOAVENTURA, R.A. **Adsorption modelling of textile dyes by sepiolite.** *Applied Clay Science*, v. 42, p. 137–145, 2008.

SILVA, C. R. **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro.** Departamento de Gestão Territorial: Rio de Janeiro-Brasil, 2008.

SILVA JÚNIOR, U. G.; DANTAS, H. V.; LIMA, M. B. **Adsorção de Metais em Água de Produção através de um Argilomineral.** II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. João Pessoa, PB, 2007.

- SOUZA, P S., **Ciência e Tecnologia de Argilas**, v. 3, Editora Edgard Blücher Ltda., 2ª edição, São Paulo, SP, 1992.
- SOUZA, J. R., MORAES, M. E. B., SONODA, S. L. et al., **A importância da qualidade da água e os seus múltiplos usos: caso Rio Almada**, Sul da Bahia, Brasil, 2014. p. 28.
- STEIN, R. T. **Caracterização e avaliação do sistema de tratamento de efluentes de uma indústria alimentícia, visando o reuso**. Centro Universitário Univates: Lajeado, 2012.
- TELLES, D. A, COSTA, R. H. P. G. **Reuso da água: conceitos, teorias e práticas**. 1ª edição. São Paulo: Blucher, 2007.
- TOMASONI, M.A; PINTO, J.E.S.; SILVA, H.P. **A questão dos recursos hídricos e as perspectivas para o Brasil**. GeoTextos, v. 5, n. 2, p. 107-127, 2009.
- TOMAZ, P. **Economia de Água: para empresas e residenciais**. São Paulo: Navegar, 2001.
- VONSPERLING, M. V. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª Ed. Volume 1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.