

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA TÊXTIL  
ENGENHARIA TÊXTIL**

**THIAGO DAMIÃO DOS SANTOS**

**TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LAVANDERIA TÊXTIL UTILIZANDO  
PLASMA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**APUCARANA**

**2018**

**THIAGO DAMIÃO DOS SANTOS**

**TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LAVANDERIA TÊXTIL UTILIZANDO PLASMA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Têxtil, da Coordenação de Engenharia Têxtil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dra. Valquíria Aparecida dos Santos Ribeiro.

Co-orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Ana Maria Ferrari

**APUCARANA**

**2018**



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**Título do Trabalho de Conclusão de Curso:**

**Tratamento de efluente de lavanderia têxtil utilizando plasma**

por

Thiago Damião dos Santos

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado ao trigésimo dia do mês de novembro do ano de dois mil e dezoito às quinze horas, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Têxtil, do Curso Superior em Engenharia Têxtil da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela banca examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

VALQUÍRIA APARECIDA DOS SANTOS RIBEIRO – ORIENTADORA

---

ANA CLÁUDIA UEDA – EXAMINADORA

---

LEANDRO VICENTE GONÇALVES – EXAMINADOR

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, pelo amor incondicional, incentivo constante, companheirismo e confiança em todos esses anos da minha vida.

À orientadora Prof<sup>a</sup>. Dra. Valquíria Aparecida dos Santos Ribeiro, pela orientação, paciência, efetiva disponibilidade em me atender sempre que necessário e companheirismo em todos esses anos de graduação aconselhando sobre questões acadêmicas e pessoais.

À co-orientadora Prof<sup>a</sup>. Dra. Ana Maria Ferrari pela orientação e auxílio na realização da pesquisa.

Às Prof<sup>as</sup>. Ana Claudia Ueda e Andrea Sartori Jabur pela ajuda na realização dos experimentos, análises dos resultados e pelo companheirismo em diversos momentos.

À professora Luciana Moraes pela colaboração nas análises dos resultados.

A Coordenação de Engenharia Elétrica pela disponibilização dos equipamentos e em especial aos professores Rodrigo Pereira, Maurício e Rogério pela grande colaboração no desenvolvimento do sistema piloto e na disponibilidade de tempo para auxiliar na execução deste estudo.

Aos professores Coordenação de Engenharia Têxtil, técnicos de laboratório e funcionários da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Apucarana pela colaboração prestada.

Aos meus amigos de graduação Amanda Wada, Mariana Chini, Gabriela Lemos, Jocirlei Felício, Franciele Ribeiro, Felipe Augusto e os demais amigos que estão espalhado por esse mundo pela parceria e incentivo nesses anos todos.

À empresa pela disponibilização do efluente para análise.

A todos que direta e indiretamente contribuíram para execução deste trabalho.

## RESUMO

SANTOS, Thiago Damião. **Tratamento de efluente de lavanderia têxtil utilizando plasma**. 2018. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Têxtil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, 2018.

A indústria têxtil gera elevados volumes de efluentes líquidos, que possuem como característica a heterogeneidade de sua composição, devido a compostos como sais, ácidos, bases, sequestrantes, dispersantes, agentes redutores e oxidantes etc. Além de possuir elevada coloração, devido à presença de corantes. Neste contexto, o presente trabalho, investigou a aplicabilidade do processo oxidativo avançado utilizando plasma para promover a eletrólise do efluente proveniente de lavanderia têxtil. Comprovou-se que o processo é eficaz na remoção de cor do efluente em duas horas de processo, com resultados superiores a 80% de remoção. Houve também a redução dos valores de turbidez, DQO e a remoção do odor. Os resultados dos ensaios de fitotoxicidade utilizando sementes de alface da espécie *Lactuca Sativa* mostram que houve germinação de 100% das sementes utilizando o efluente tratado e que as raízes dessas sementes são maiores que as cultivadas com água destilada, comprovando a descontaminação do efluente e sugere a presença de nutrientes.

**Palavras chave:** Tratamento de Efluente; Efluente Têxtil; Processos Oxidativos Avançados; Plasma.

## ABSTRACT

SANTOS, Thiago Damião. **Treatment of textile laundry effluent using plasma.** 2018. 56 f. Course Completion Work (Bachelor of Textile Engineering) - Federal Technology University - Parana. Apucarana, 2018.

The textile industry generates high volumes of liquid effluents, which have as characteristic the heterogeneity of its composition, due to compounds like salts, acids, alkalis, sequestrants, dispersants, reducing agents and oxidants etc. Besides having high staining, due to the presence of dyes. In this context, the present work investigated the applicability of the advanced oxidative process using plasma to promote the electrolysis of effluent from textile laundry. It has been found that the process is effective in removing color from the effluent in two hours of processing, with results exceeding 80% removal. There was also a reduction in the values of turbidity, COD and smell removal. The results of the phytotoxicity tests using lettuce seeds (*Lactuca Sativa*) show that 100% germination of the seeds were used using the treated effluent and that the roots of these seeds are larger than those cultivated with distilled water, proving the decontamination of the effluent and suggesting the presence of nutrients.

**Keywords:** Effluent treatment; Textile Effluent; Advanced Oxidative Processes; Plasma.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da cadeia produtiva têxtil e de confecção. ....	18
Figura 2 - Sistema do reator de plasma para tratamento de efluentes.....	34
Figura 3 - Esquema do reator de plasma utilizado para tratamento de efluente. ....	35
Figura 4 - Amostra de efluente bruto.....	39
Figura 5 - Amostras do efluente tratado: (I) pH ácido, (II) pH alcalino, (III) ponto central, (IV e V) pH neutro.....	41
Figura 6- Varredura dos efluentes na faixa do visível das amostras de efluente bruto e tratados em diferentes condições.....	42
Figura 7 - Superfície de resposta dos efeitos da influência dos parâmetros pH e TiO <sub>2</sub> sobre a remoção de cor. ....	44
Figura 8 - Superfície de resposta dos efeitos da influência dos parâmetros pH e TiO <sub>2</sub> sobre a remoção de turbidez.....	46
Figura 9 -Superfície de resposta dos efeitos da influência dos parâmetros pH e TiO <sub>2</sub> sobre a remoção de DQO .....	47
Figura 10 - Resultado da germinação das sementes de <i>Lactuca sativa</i> após 120h..	48
Figura 11 - Controle positivo com soluções salinas. ....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Planejamento Experimental .....	36
Tabela 2 - Resultados da caracterização do Efluente bruto .....	38
Tabela 3 - Resultados obtidos no processo de tratamento com plasma .....	40
Tabela 4 - Resultados da eficiência de remoção (%) .....	41
Tabela 5 - Tabela de efeitos da influência dos parâmetros pH e TiO <sub>2</sub> sobre a remoção de cor. ....	43
Tabela 6 - Tabela de efeitos da influência dos parâmetros pH e TiO <sub>2</sub> sobre a remoção de turbidez.....	45
Tabela 7 - Tabela de efeitos da influência dos parâmetros pH e TiO <sub>2</sub> sobre a remoção de DQO. ....	46
Tabela 8 - Percentual de germinação relativa (%GR) .....	49
Tabela 9 - Percentual de inibição do crescimento relativo das raízes (%ICRRz).....	50
Tabela 10 - Série de soluções padrões de 100 a 700mg de O <sub>2</sub> /L a partir da solução padrão. ....	57



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABIT</b>	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
<b>ABS</b>	Alquil benzeno sulfonatos
<b>Abs</b>	Absorbância
<b>ANA</b>	Agência Nacional de Águas
<b>°C</b>	Graus Celsius
<b>cm</b>	Centímetro
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<b>DBO</b>	Demanda bioquímica de oxigênio
<b>DQO</b>	Demanda química de oxigênio
<b>Fe<sup>2+</sup></b>	Íon de Ferro (II)
<b>g</b>	Gramas
<b>GETECA</b>	Grupo de Estudos de Tecnologias Ambientais
<b>GR</b>	Germinação relativa
<b>h</b>	Hora
<b>H<sub>2</sub></b>	Hidrogênio molecular
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Água
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	Peróxido de hidrogênio
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Ácido sulfúrico
<b>ICRRz</b>	Inibição do crescimento relativo das raízes
<b>L</b>	Litro
<b>M</b>	Mol
<b>MCRzC</b>	Média do crescimento das raízes do controle
<b>MCRzZ</b>	Média do crescimento das raízes da amostra
<b>mg</b>	Miligramas
<b>mL</b>	Mililitro
<b>nm</b>	Nanômetros
<b>NaCl</b>	Cloreto de sódio
<b>NaOH</b>	Hidróxido de sódio
<b>OH</b>	Radical hidroxila
<b>O<sub>2</sub></b>	Oxigênio
<b>O<sub>3</sub></b>	Ozônio
<b>PIB</b>	Produto Interno Bruto
<b>pH</b>	Potencial de hidrogeniônico
<b>PNRH</b>	Política Nacional dos Recursos Hídricos

<b>POA's</b>	Processos Oxidativos Avançados
<b>RPM</b>	Rotações por minuto
<b>TiO<sub>2</sub></b>	Dióxido de titânio
<b>UNT</b>	Unidade nefelométrica de turbidez
<b>UV</b>	Ultravioleta
<b>μS</b>	Mili Siemens

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	14
1.2 OBJETIVOS .....	15
1.2.1 Objetivo Geral .....	15
1.2.2 Objetivos Específicos .....	16
<b>2 ASPECTOS TEÓRICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
2.1 A INDÚSTRIA TÊXTIL BRASILEIRA E SUA IMPORTÂNCIA NA ECONOMIA... 17	
2.1.1 A indústria têxtil e seu processo produtivo .....	17
2.2 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE TÊXTIL .....	20
2.2.1 Problemática do Efluente Têxtil .....	21
2.2.2 Corantes e auxiliares utilizados na Indústria Têxtil.....	23
2.3 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES .....	24
2.3.1 Processos convencionais de tratamento de efluentes .....	26
2.3.2 Tratamento de efluentes utilizando processos oxidativos avançados – POAs.27	
2.3.3 Plasma utilizado no tratamento de efluentes.....	28
<b>3 MÉTODOS</b> .....	<b>30</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA .....	30
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	30
3.2.1 Determinação do Potencial de Hidrogênio (pH) .....	31
3.2.2 Determinação da Turbidez .....	31
3.2.3 Determinação da Condutividade .....	31
3.2.4 Determinação da Demanda Química do Oxigênio (DQO).....	31
3.2.5 Medidas de Temperatura .....	32
3.2.6 Determinação da remoção de cor por meio do tamanho da área embaixo da curva no espectro visível.....	32
3.2.7 Determinação da eficiência de remoção de cor, turbidez e DQO.....	32
3.2.8 Estudo do reator de plasma .....	33
3.2.9 Estudo da influência da variação do pH do efluente e agente catalisador (TiO <sub>2</sub> ) na sua descoloração .....	36
3.8.10 Ensaio de toxicidade.....	36
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>38</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE TÊXTIL COLETADO.....	38

4.2 RESULTADOS DO PROCESSO DE TRATAMENTO UTILIZANDO PLASMA POR ELETRÓLISE .....	39
4.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS SOBRE A REMOÇÃO DE COR .....	43
4.4 Análise da influência dos parâmetros sobre a remoção de turbidez .....	45
4.5 Análise da influência dos parâmetros sobre a remoção de DQO .....	46
4.6 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TOXICIDADE .....	47
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>51</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXO I .....</b>	<b>57</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os artigos têxteis estão presentes no cotidiano na humanidade desde os primórdios de sua história. Os primeiros tecidos possuíam somente a função de proteção do corpo contra as intempéries (CATOIRA, 2006). E surgiram da manipulação de fibras, como linho e algodão, com os dedos (PEZZOLO, 2007). No decorrer do tempo, houve o surgimento de novas formas de manipulação das fibras e com isso, o desenvolvimento de técnicas mais elaboradas de tecimento. Nas últimas décadas, com o desenvolvimento constante de tecnologias e aumento da diversidade de matéria prima houve o aparecimento de uma numerosa variedade de tecidos que buscam atender às mais variadas necessidades da população mundial (PEZZOLO, 2007).

Com o aparecimento de uma diversidade de produtos têxteis, houve um incremento vertiginoso nos métodos produtivos têxteis, principalmente os relacionados ao beneficiamento desses substratos. E é notório que, nos dias atuais, a indústria têxtil possui um papel de destaque na economia de diversos países. E em muitos, é um dos setores mais antigos no que tange o ramo industrial (BEZERRA, 2015). O consumo de têxteis é crescente e cada vez mais as indústrias buscam diferencial e modernização no maquinário, serviço, qualidade e processos mais eficientes e com menor impacto ambiental.

Em se tratar dos impactos ambientais ocasionados por esse segmento industrial, no que tange à utilização da água, estima-se que para produzir 1 tonelada de produto têxtil (como peças de vestuário), utiliza-se entre 200 e 270 toneladas de água, e portando há a geração de altos volumes de efluentes (BELTRAME, 2000). Esses resíduos líquidos possuem elevada carga poluidora que se despejada no ambiente sem tratamento prévio, pode ocasionar sérios problemas de contaminação ambiental. Isso porque esses efluentes possuem diversos compostos contaminantes como corantes, tensoativos, amaciantes, alvejantes, enzimas, fibras de tecidos, gomas entre outros agentes que são utilizados nos processos de beneficiamentos e acabamento (RIBEIRO, 2010).

Dentro deste contexto, é crescente o número de pesquisas que buscam a melhoria dos processos produtivos, bem como os processos de tratamento de efluentes e de nova técnicas que possibilitem o reaproveitamento da água tratada

dentro das etapas produtivas industriais. Visto que, atualmente, os métodos convencionais de tratamento apresentam certas limitações e geram subprodutos, transferindo o poluente de estado físico e não o eliminando por completo (BELTRAME *et al.*, 2016; RIBEIRO *et al.*, 2012).

Os processos oxidativos avançados (POA's) são, atualmente, tecnologias consideradas mais efetivas para o tratamento de efluentes que contêm poluentes persistentes, como os corantes, pois possuem como vantagem a possibilidade de degradação de compostos recalcitrantes, sem que haja a transferência de fase do contaminante (CADORIN, 2016; CREMA, 2015).

Dentre os POA's existentes, o uso da tecnologia de plasma frio no tratamento de efluentes vem se mostrando uma alternativa promissora pois, o plasma aplicado em meio aquoso cria um meio altamente reativo, formado por espécies oxidantes, radicais livres, elétrons de alta energia e radiação UV, que é capaz de mineralizar compostos orgânicos presentes no efluente (CADORIN, 2016).

Este estudo visa avaliar a utilização de plasma frio obtido por eletrólise para o tratamento de efluente têxtil proveniente de uma lavanderia de jeans localizada na cidade de Maringá, região norte do estado do Paraná.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A preocupação com a manutenção e preservação dos recursos do planeta, bem como o impacto gerado pelas atividades humanas, não é recente. Uma vez que, a partir da segunda metade do século XX, os problemas ambientais têm se tornado cada vez mais críticos, devido principalmente ao enorme crescimento populacional e industrial, além do manejo dos recursos naturais, tal como o gerenciamento do solo, da água e do ar (ESTENDER *et al.*, 2015).

Espera-se que o manejo e gerenciamento dos recursos naturais sejam efetuados de forma adequada e planejada, e é notório que estes processos ainda não são realizados de modo satisfatório. Haja visto que, os processos industriais têxteis geram grandes volumes de água, e contribuem quantitativa e qualitativamente com carga poluidora rejeitada, a qual, se não for tratada corretamente pode ocasionar grande impacto ambiental.

Na atualidade, é recorrente nas indústrias têxteis, a utilização de métodos físicos, químicos e físico-químicos tradicionais (gradeamento, floculação, flotação, entre outros) seguidos de processos biológicos para o tratamento de efluentes (RIBEIRO, 2010). Porém, essas técnicas nem sempre são suficientes para deixar esse resíduo industrial com a qualidade exigida pelos órgãos ambientais e até mesmo propiciar seu reuso.

Além disso, tais resíduos podem apresentar certos inconvenientes como, por exemplo, no processo físico-químico de ocorrer apenas a transferência do contaminante da fase líquida para fase sólida. Enquanto que no tratamento biológico, seu desempenho é limitado a uma estreita faixa de condições de trabalho, na qual, os microrganismos são capazes de utilizar os poluentes como fonte de matéria orgânica (RIBEIRO et al., 2012).

Diante do pressuposto e da crescente busca por adequação à legislação ambiental e às alternativas de melhorar as técnicas de tratamento de efluentes, os POAs são considerados uma alternativa para o tratamento de águas residuais, e a utilização de plasma para esta aplicação, uma alternativa tecnológica promissora, pois mostra-se menos poluente e menos nociva, além pode propiciar a degradação completa de compostos presentes neste efluente.

## 1.2 OBJETIVOS

Nesta seção estão relacionados o objetivo geral e os objetivos específicos que nortearão esta pesquisa.

### 1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a aplicação de Processo Oxidativo Avançado do tipo plasma para remoção de cor de efluente têxtil proveniente de lavanderia de jeans localizada na região metropolitana de cidade de Maringá – norte do Paraná.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

1. Caracterizar o efluente têxtil quanto a: turbidez, pH, condutividade, área sob a curva de absorvância e Demanda química de oxigênio (DQO);
2. Avaliar a aplicação do plasma para tratamento deste efluente têxtil;
3. Realizar ensaios em triplicata do processo que apresentar melhor desempenho;
4. Demonstrar percentual de remoção da cor;
5. Analisar a toxicidade do efluente após o tratamento proposto.



## 2 ASPECTOS TEÓRICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção apresenta o embasamento teórico utilizado para a elaboração desde estudo, dividindo-se em três partes. Na primeira parte elaborou-se uma breve revisão sobre a indústria têxtil, seu panorama atual e representatividade. Na segunda parte, descreveu-se algumas características do efluente têxtil e suas principais fontes de geração. Por último, na terceira parte, procurou-se conceituar os processos de tratamentos de efluentes convencionais e por processos oxidativos avançados.

### 2.1 A INDÚSTRIA TÊXTIL BRASILEIRA E SUA IMPORTÂNCIA NA ECONOMIA

A implantação da indústria têxtil no Brasil ocorreu no período entre 1840 e 1915. Sendo que em 1865, o país já desenvolvia a cultura algodoeira de forma regular, possuía mão-de-obra abundante e um mercado consumidor em expansão (TENAN e MIRANDA, 2007). Com o passar dos anos, os investimentos na indústria têxtil tornaram-se significativos e, atualmente, este ramo industrial está consolidado e representa uma grande fatia do PIB (Produto Interno Bruto) do país (FERREIRA et al., 2009).

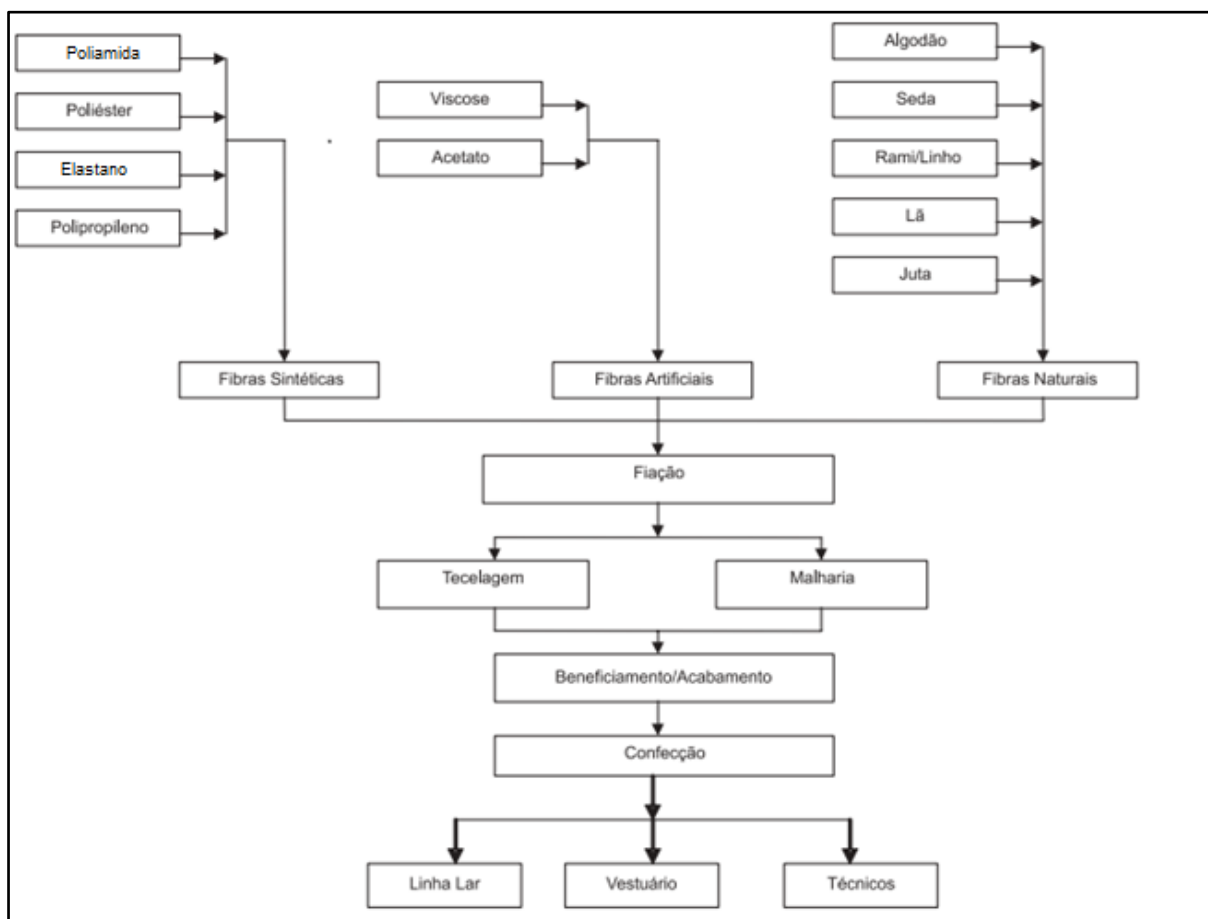
Segundo dados da ABIT (Associação Brasileira da Indústria têxtil e de Confecção) referentes ao ano de 2016, a indústria têxtil e de confecção brasileira tem se destacado por ser a última cadeia têxtil completa do Ocidente. Produzindo desde a fibra até produtos confeccionados. Abrangendo desta maneira, fiações, tecelagens, beneficiadoras (tinturaria, estamparia, lavanderia etc.), confecções, desfiles de moda e forte varejo. No território nacional, o segmento é o segundo maior empregador da indústria de transformação, perdendo apenas para alimentos e bebidas (juntos) (ABIT, 2017). Esses seguimentos da indústria têxtil possuem particularidades, que são descritas no próximo item.

#### 2.1.1 A indústria têxtil e seu processo produtivo

Na cadeia têxtil, o processo produtivo é iniciado com o cultivo ou produção da matéria prima (fibras e filamentos) que, em etapas posteriores, é transformada em

fios nas fábricas de fiação. Estes, por sua vez, podem seguir para a tecelagem plana ou para a malharia. Após a confecção do tecido, este passará por processos de acabamento. E, por fim, é destinado às indústrias de confecção de artigos do vestuário e acessórios, com o objetivo de se obter produtos passíveis de serem consumidos (BEZERRA, 2015; FERREIRA *et al.*, 2009).

Em seu estudo, Bezerra (2014) menciona que, cada uma das etapas acima mencionadas, possui características próprias, existindo descontinuidade entre elas. Sendo assim, o resultado final de cada etapa constitui o insumo principal da etapa seguinte, formando elos entre essas etapas. Tais elos subdividem-se em várias operações associadas, mas que também são independentes entre si. Pode-se então observar a interação existente entre as etapas no fluxograma da Figura 1.



**Figura 1 - Fluxograma da cadeia produtiva têxtil e de confecção.**

Fonte: BNDES, 2013.

Por desenvolver uma grande variedade de artigos e produtos, a indústria têxtil utiliza uma certa gama de fibras, que são divididas em sintéticas, artificiais e

naturais. Estas, por sua vez, diferenciam-se pela sua constituição molecular obtida e/ou fornecidas pela natureza. No caso das fibras naturais, podem possuir origem animal (seda e lã) ou vegetal (algodão, linho, juta, rami), enquanto que as fibras químicas são produzidas pelo homem e caracterizam-se por serem formadas por macromoléculas poliméricas obtidas por meio de sínteses químicas, dividindo-se em sintéticas e artificiais (NETO, 1996).

Cabe às empresas de fiação o desenvolvimento de fios que atendam às necessidades de tecelagens e malharias. Para tanto, utilizam fibras têxteis como fonte de matéria prima, transformando-as em fios que podem ser produzidos por processos: anel, penteado, Open-end ou jato de ar, sendo que, em cada um desses processos, obtém-se fios com características distintas.

No que se refere à tecelagem, os tecidos planos originam-se do entrelaçamento de dois conjuntos de fios conhecidos por urdume e trama num ângulo de 90°. Neste processo de entrelaçamento, que ocorre em teares, há a necessidade de aumentar a resistência dos fios devido à elevada tensão e atrito decorrente do processo aplicando gomas, que podem ser de origem natural ou sintética. Na preparação a tecelagem que consiste nas operações de: urdimento, engomagem e remeteção. Os fios são engomados para adquirir aumento de resistência e nessa etapa já ocorre considerável geração de efluente líquido (RIBEIRO, 1984).

Quanto a malharia, que também se caracteriza como uma etapa de tecimento, os tecidos são produzidos a partir do entrelaçamento de uma série de laçadas e suas carreiras sucessivas, sem que haja um ponto fixo de ligação entre elas. Tal ausência ponto fixo de ligação confere aos artigos a propriedade de “flexibilidade” e de recuperação elástica do tecido. Por causa dessas e de outras propriedades, as malhas tornam-se apropriadas para confecção de artigos que ficam em contato com a pele, como meias, roupas íntimas, saídas de banho, pijamas, artigos esportivos (agasalhos, uniformes), camisetas, blusas, vestidos, etc (SANCHES, 2006).

De forma geral, após o tecimento, os artigos têxteis passam por processos de beneficiamento, que consistem num conjunto de atividades que modificam físico-quimicamente o substrato têxtil para que este adquira características técnicas e estéticas exigidas pelo consumidor (SALEM, 2010; SCHINDLER e HAUSER, 2004).

Segundo Bezerra (2015), o segmento de beneficiamento têxtil é composto por tinturarias, estamparias e lavanderias. As tinturarias, responsáveis por conferir cor ao substrato têxtil, trabalham com fios, manchões, tecidos planos e de malha; já as estamparias, que efetuam estampas localizadas nos artigos, trabalham tanto com tecidos planos, como malhas e peças confeccionadas; e as lavanderias industriais trabalham apenas com peças confeccionadas. E são nessas etapas do processo produtivo que ocorre grande consumo de água e como consequência é gerada também uma quantidade proporcional de água residual com efeito poluidor bastante significativo ao meio ambiente, devido às elevadas vazões, toxicidade, composição variável e resistência química dos componentes ao tratamento de efluente (QUEIROZ et al., 2016; SCHOENHALS e PORTO, 2013).

Quanto às confecções, estas se caracterizam por serem a última etapa do processo produtivo têxtil, sendo responsáveis por transformar os tecidos em artigos confeccionados que atendam às necessidades do consumidor; sejam estes da linha lar, vestuário ou para atendimento de necessidades técnicas (estofados automotivos, equipamentos de proteção individual, têxteis arquitetônicos, entre outros). Nesta etapa produtiva, há a geração de grande quantidade de resíduos sólidos que são provenientes majoritariamente, da etapa de corte do tecido, processo pelo qual são feitos encaixes de modelagens previamente elaboradas, para que assim, possam ser cortadas as peças adequadas para a confecção do produto (DUMAS et al., 2016).

## 2.2 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE TÊXTEL

Bittencourt (2014) define efluente como sendo o resíduo líquido proveniente dos processos produtivos e que este adquire características próprias em função das atividades e dos produtos utilizados nos processos.

Na indústria têxtil ocorre a geração de efluentes, emissões gasosas e resíduos sólidos que estão diretamente ligados ao tipo de substrato têxtil que está sendo processado, dos corantes utilizados e do tipo de equipamento (FERREIRA et al., 2009). Segundo Queiroz et al. (2016), o efluente têxtil origina-se principalmente do processo de beneficiamento têxtil, que é constituído de diversas etapas, e possui como finalidade melhorar as características físico-químicas das fibras, fios e tecidos (PEZZOLO, 2007; SALEM et al., 2005). Estima-se que 90% dos processos de

beneficiamento são químicos e que tais processos utilizam elevada quantidade de água (BELTRAME, 2000).

No que tange o beneficiamento têxtil é comum dividi-lo em beneficiamento primário, secundário e terciário. No beneficiamento primário ou pré-tratamento, ocorre a preparação do substrato têxtil (fibra, fio ou tecido) para os processos subsequentes, eliminado desta forma, sujidades, gomas e óleos. Enquanto que o beneficiamento secundário se caracteriza por propiciar coloração ao substrato têxtil por meio de tingimento ou estamparia. O processo de tingimento do substrato têxtil pode ocorrer por meio de processos descontínuos, semi-contínuos ou contínuos. E por fim, o beneficiamento terciário corresponde a um conjunto de processos realizados no substrato já tinto ou estampado que visam melhorar o aspecto, toque e propriedade de uso do produto final. Pode-se citar como exemplos de acabamentos terciários: amaciamento, resinas, aplicação de substâncias micro encapsuladas, funcionalização do material têxtil, entre outros (BURKINSHAW, 2016; SALEM, 2010; SALEM et al., 2005; SCHINDLER e HAUSER, 2004).

Portanto, por haver uma diversidade de processos, matérias primas, classes de corantes, produtos auxiliares, técnicas e equipamentos utilizados nos processos de beneficiamento têxtil, o efluente gerado possui características heterogêneas (BELTRAME, 2000). Tal heterogeneidade, cria uma grande problemática a ser solucionada, pois esses processos requerem o uso de elevados volumes de água (que atua como solvente e veículo de transporte para que os produtos cheguem ao interior das fibras); há grande quantidade de corante não adsorvido pela fibra; há a existência de contaminantes complexos e resistentes quimicamente, além de serem de difícil decomposição em processos de tratamento por biodegradação (QUEIROZ et al., 2016).

### 2.2.1 Problemática do Efluente Têxtil

A água é indispensável como recurso natural renovável, sendo fundamental para a manutenção da existência dos seres vivos e desenvolvimento dos ecossistemas. Desta maneira, ela possui um valor econômico que reflete diretamente nas condições socioeconômicas das diversas populações mundiais (TELLES e COSTA, 2010). Utiliza-se a água para diversas atividades, como abastecimento humano, agricultura, indústria, recreação etc. Essa versatilidade de

usos se deve principalmente por ser um solvente natural capaz de transportar impurezas e diluir lançamentos que, porventura, são lançados no meio ambiente (BITTENCOURT, 2014).

No que tange o território brasileiro, mesmo este possuindo grandes bacias hidrográficas, que totalizam cerca de 80% de nossa produção hídrica e que cobrem 72% do território, o país sofre com escassez da água, devido à má distribuição da densidade populacional dominante, que cresce exageradamente e concentra-se em áreas onde há pouca disponibilidade hídrica (TELLES e COSTA, 2010).

Em seu estudo, Beltrame (2016) destaca que a disposição inadequada de efluente no meio ambiente pode provocar a contaminação do solo e dos recursos hídricos. De forma complementar, Bezerra (2015) aponta que atualmente essa disposição inadequada tornou-se um grande problema, e que para tentar se adaptar a este novo cenário, com legislação mais rígida e maior fiscalização dos órgãos competentes, as empresas estão criando programas que visam economia, tratamento e reutilização de água provenientes dos seus processos industriais.

Neste contexto, é importante destacar que o efluente têxtil apresenta coloração variada e intensa, isso ocorre devido as descargas dos banhos de tingimento e/ou lavagem nos processos de beneficiamento do substrato. Ribeiro e colaboradores (2012) destacam em seu estudo que a problemática:

acerca dos efluentes têxteis que são gerados em tinturarias e lavanderias está relacionada à utilização de corantes, principalmente do grupamento azo, e agentes químicos, utilizados como auxiliares de tingimento e produtos de acabamentos, que após cumprirem sua função no processo são eliminados nos banhos de enxágue. Esses efluentes contêm uma ampla gama de compostos orgânicos e inorgânicos, dentre os quais se encontram os tensoativos, amidos, amaciantes, alvejantes, corantes, fibras de tecidos, enzimas, gomas sintéticas e diversos contaminantes (RIBEIRO et al., 2012 p.2).

Portanto, a remoção dos corantes e compostos químicos presentes nos efluentes têxteis deve preceder o seu lançamento em corpos receptores afim de evitar a contaminação dos mesmos, e, conseqüente aumento no custo do tratamento de águas destinadas ao atendimento da população em geral (QUEIROZ et al., 2016).

Além desse fator, em seu estudo, Ferreira et al. (2009) salientam que é importante que o setor têxtil aprimore seus processos, e, encontre maneiras de minimizar os impactos por eles gerados. Aproximando desta maneira, ecologia e

economia, que associadas à gestão do conhecimento, podem gerar vantagem competitiva frente aos concorrentes.

### 2.2.2 Corantes e auxiliares utilizados na Indústria Têxtil

Os corantes são compostos orgânicos capazes de colorir substâncias têxteis ou não têxteis, de forma que a cor seja relativamente resistente à luz e a tratamentos úmidos. Possuem como características cor intensa; afinidade (sustantividade ou reatividade); solubilidade permanente, temporária ou dispersabilidade; difundibilidade; e solidez (SALEM, 2010). O mesmo autor destaca que os corantes têxteis são classificáveis por sua estrutura química ou por sua forma de fixação na fibra têxtil. E que as principais classes de corantes têxteis são: diretos, reativos, sulfurosos, azoicos, a tina, leuco ésteres, básicos, catiônicos, ácidos, complexo metálicos, cromo, dispersos e pigmentos.

Quando descartado em corpo receptor, a forte coloração do efluente têxtil (devido a presença de corantes) acaba impedindo a luz solar de chegar até o ecossistema aquático, prejudicando o desenvolvimento da biota e a qualidade da água para consumo, estes corantes normalmente permanecem no ambiente de forma inalterada ou apresentam uma cinética de degradação muito lenta para os processos biológicos convencionais (QUEIROZ et al., 2016).

Quanto aos corantes residuais não adsorvidos pelo substrato têxtil e que se ligam aos auxiliares químicos e compostos inorgânicos responsáveis pela manutenção da solidez e igualização da cor durante o processo de tingimento, proporciona ao efluente a presença de sólidos dissolvidos e valores altos de Demanda química de oxigênio (DQO) e Demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Entretanto, vale ressaltar, que a caracterização desses efluentes provenientes das etapas de tingimento, bem como a definição do tratamento mais adequado dessas águas residuais dependem da análise do corante utilizado, da fibra e do método de tingimento empregado (BELTRAME, 2000).

Quanto à toxicidade dos corantes, Lucca Neto (1995) relata que a maioria dos corantes não é considerada tóxica ao homem por ingestão, a não ser em quantidade excessiva, mas podem ser tóxicos aos peixes em casos de alto nível de exposição. Também afirma que esses corantes não são bioacumulativos em sistemas neurais ou em tecidos dos organismos. Contudo, reconhece que alguns corantes que entram

no corpo humano podem ser metabolizados e transformados em agentes cancerígenos. Já outros autores, conforme Ribeiro (2012) ressalta em seu estudo, afirmam que os azos corantes (de origem sintética) têm potencial carcinogênico e/ou mutagênico. Além de apresentarem estrutura aromática, o que faz deles um produto estável e de difícil decomposição natural pelo meio ambiente.

Dentre os agentes auxiliares empregados na indústria têxtil, pode destacar os tensoativos, que segundo a definição de Daltin (2011) são um tipo de molécula que apresenta uma parte com característica apolar ligada a outra parte com característica polar. E devido a essa propriedade os tensoativos podem ser: umectantes, detergentes emulsionantes e solventes (SALEM, 2010). Como exemplo, pode-se citar o sabão que ainda hoje é um dos mais importantes tensoativos do mundo. Esses tensoativos utilizados nos processos têxteis, normalmente eles são do tipo ABS (alquil benzeno sulfonatos), nos quais as moléculas se caracterizam por ligações químicas do tipo sulfônico, com o enxofre ligado diretamente à cadeia carbônica, altamente resistente à ação química ou biológica (DALTIM, 2011). Devido a sua não biodegradabilidade ou toxicidade, muitas substâncias acarretam em altos valores de DQO e problemas em sistemas de tratamento biológico (BELTRAME, 2000).

Utiliza-se também outros agentes em processos de tingimento e acabamento, como: agentes ajustadores de pH, eletrólito, igualizantes, sequestrantes, dispersantes, antiespumantes, alvejantes, amaciantes, entre outros.

### 2.3 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

A partir da segunda metade do século XX, devido ao crescimento exponencial dos problemas ambientais decorrentes, principalmente, do enorme crescimento populacional e industrial, aliado aos problemas relacionados à ação humana no manejo do solo, gerenciamento da água e do ar. Houve a criação de mecanismos legislativos e de fiscalização para resguardar e garantir a manutenção dos recursos naturais do planeta (água, solo e ar), bem como seus ecossistemas (BELTRAME et al., 2016; ESTENDER et al., 2015).

Segundo Bittencourt (2014), no ano 2000, foi instituída no território nacional a Agência Nacional de Águas (ANA), cujo objetivo era a implementação da Política Nacional dos Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97). Que possibilitou a criação de uma



estrutura para a gestão dos recursos hídricos e novos instrumentos econômicos para promover o uso da água de forma eficiente.

A mesma autora também destaca outras duas legislações dentro do contexto que regulamentam o uso e o descarte de água em território nacional, como a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) número 430/2011, que aborda sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores. Estabelecendo assim no artigo 16 que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam às condições e padrões previstos que são:

- a. possuir pH entre 5 a 9;
- b. estar em temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- c. materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- d. regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;
- e. óleos e graxas: óleos minerais até 20 mg/L; e óleos vegetais e gorduras animais até 50 mg/L;
- f. deve haver ausência de materiais flutuantes; e
- g. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C) deve apresentar remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor;

Enquanto que a segunda resolução destacada, a CONAMA nº 357/2005, dispõe sobre classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Segundo o artigo 4 da resolução as águas são classificadas em: Classe Especial, Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4. Sendo que as águas pertencentes a classificação de Classe Especial, são aquelas que deverão ser mantidas as condições naturais do corpo d'água e caracterizam-se como unidades

de preservação integral. Enquanto que as pertencentes a Classe 4 possui uma qualidade ruim e são destinadas a usos menos exigentes. Já as águas pertencentes as classes de 1 a 3 podem ser destinadas ao abastecimento humano, recreação e atividades agrícolas, desde que passem por tratamentos que viabilizem a sua utilização para tais fins.

Em relação a turbidez das águas, a resolução CONAMA nº 357/2011 determina uma variação de 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT) para Classe 1 e 100 UNT para as Classes 2 e 3. Quanto aos corantes provenientes de fontes antrópicas, estes devem estar virtualmente ausentes assim como gosto, odor e toxicidade. No que tange a DQO, que é a análise que quantifica a quantidade de oxigênio dissolvido (OD) consumido em meio ácido que leva à degradação de matéria orgânica contida no meio aquático, a resolução determina que em para classe 1 deve ser superior a 6 mg/L, para classe 2 superior a 2 mg/L, para classe 3 superior a 4 mg/L e classe 4 superior a 2 mg/L.

Nota-se, portanto, que as legislações vigentes possuem como objetivo o estabelecimento de padrões de descarte e tentam garantir a qualidade das águas lançadas em corpos receptores. Evitando assim, o comprometimento da qualidade da água que será destinada ao consumo da população e garantindo a manutenção dos recursos naturais do planeta. Para tanto, foram desenvolvidos métodos para remoção dos poluentes deste efluentes, que serão abordados brevemente no próximo item.

### 2.3.1 Processos convencionais de tratamento de efluentes

Na atualidade, os tratamentos convencionais de efluentes dividem-se em: preliminar, primário, secundários e terciários. No tratamento preliminar ocorre a remoção física de pedras e fiapos e quaisquer materiais sólidos presentes no efluente por meio de grades e peneiras. Também é realizada a medição de vazão e homogeneização do efluente. No tratamento primário são realizados processos físico-químicos (neutralização, coagulação, floculação, entre outros) que atuam na remoção de material sólido, substâncias em estado coloidal e ajuste de pH. Enquanto que, no tratamento secundário, normalmente são realizados processos biológicos (aeróbios ou anaeróbios) que objetivam a remoção da matéria orgânica contaminante contida no efluente. Sendo que o tratamento biológico pode ser

substituído por outro tipo de tratamento. De forma similar ao tratamento primário, no tratamento terciário, são realizados processos físicos, químicos e físico-químicos para efetuar remoção de impurezas que não foram extraídas do efluente nos tratamentos anteriores (BITTENCOURT e PAULA, 2014; TELLES e COSTA, 2010).

No que tange os efluentes gerados por processos industriais têxteis, Franco (2010) salienta em seu estudo, que a remoção da coloração dos efluentes têxteis antes de sua disposição final em corpos receptores vem sendo um dos principais desafios enfrentados pelas indústrias. De maneira complementar, Ribeiro e colaboradores (2012) comentam que em alguns processos físico-químicos, pode ocorrer apenas a transferência do contaminante da fase líquida para fase sólida. Não solucionando por completo o impacto ambiental gerado por esse setor industrial.

Sendo assim, nos últimos anos, ocorreu a crescente busca por tratamentos que decomponham por completo os poluentes contidos nos efluentes. A exemplo os Processos Oxidativos Avançados (POA), que a cada ano, as pesquisas mostram resultados bastante eficazes e promissores no processo de descontaminação ambiental (TELLES e COSTA, 2010).

### 2.3.2 Tratamento de efluentes utilizando processos oxidativos avançados – POAs

Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) são processos baseados na geração do radical hidroxila (OH), que possui elevado poder oxidativo e rápida cinética de reação. O que ocasiona a degradação de diversos compostos poluentes e principalmente matéria orgânica dissolvida por meio de uma sequência de reações de oxidação que muitas das quais envolvem radicais livres, promovendo deste modo a purificação da água em um período de tempo reduzido. Esses processos trazem como vantagem a possibilidade de combinação com outros processos, como o pré e pós-tratamento; em muitos casos, consomem menos energia, acarretando menor custo; além do fato de que, durante o tratamento os poluentes são destruídos e não apenas transferidos de uma fase para outra, formando subprodutos, como ocorre em alguns tratamentos convencionais. Devido essas vantagens, os POAs têm se tornado uma alternativa promissora para o tratamento de efluentes (RIBEIRO, 2010; TELLES e COSTA, 2010; ZILLE et al., 2014).

Em seu estudo, Crema (2015), menciona que os POAs podem ser classificados em dois grupos: os processos em que não há a catálise por meio de

incidência de luz, conhecidos como não-fotoquímicos, e os que ocorrem por catálise devido a presença de luz, conhecidos como fotoquímicos. A seguir são listados os POAs existentes conforme a divisão mencionada:

- Processos não fotoquímicos
  1. Ozonização em meio alcalino ( $O_3/OH^-$ );
  2. Ozonização com peróxido de hidrogênio ( $O_3/H_2O_2$ );
  3. Processos Fenton ( $Fe_2^+/H_2O_2$ ) e relacionados;
  4. Oxidação eletroquímica;
  5. Radiólisis tratamento com feixes de elétrons;
  6. Plasma não térmico;
  7. Descarga eletro hidráulica – Ultrassom.
  
- Processos fotoquímicos
  1. Oxidação no efluente;
  2. Fotólise no efluente com ultravioleta de alta pressão;
  3. UV/peróxido de hidrogênio;
  4. UV/Ozônio;
  5. Foto-Fenton e relacionados;
  6. Fotocatálises heterogênea

É importante destacar que os processos listados acima podem ser utilizados de forma independente, em conjunto com processos tradicionais de tratamentos ou até mesmo outros POA's visando a obtenção de uma água residual de melhor qualidade. Dentre os processos apresentados, o processo de plasma não térmico para o tratamento de água tem motivado pesquisas por se mostrar uma tecnologia promissora devido seu alto grau de eficiência, sua compatibilidade ambiental e sua fácil otimização (GRIEP, 2010).

### 2.3.3 Plasma utilizado no tratamento de efluentes

O plasma é um gás ionizado e representa o quarto estado da matéria após a transição de estado sólido, líquido e gasoso. Um composto em estado plasmático,

possui maior energia e entropia em relação ao estado gasoso, além de possuir uma constituição de multicomponentes formada por uma complexa e caótica mistura de elétrons, radicais, fótons, átomos e moléculas neutras e excitadas. Sendo assim, por possuir espécies portadoras de carga, como íons e elétrons, o plasma torna-se um meio altamente condutor e hábil a induzir e receber ação de campos elétricos e magnéticos (CADORIN, 2016; GRIEP, 2007).

Dentre os diferentes tipos de plasma que se pode encontrar, é comum classifica-los em duas categorias: térmico e não-térmico. O plasma térmico, caracteriza-se pela condição de equilíbrio térmico entre as diferentes espécies contidas no gás. Pode ser obtido artificialmente por diversos métodos, dentre os quais, cita-se: descargas elétricas, laser e micro-ondas descarregado a uma pressão quase atmosférica com as temperaturas extremamente elevadas (alguns milhares graus Celsius), entre outros. Enquanto que o plasma não térmico (plasma frio), é aquele em que o equilíbrio termodinâmico não é atingido. Assim, a temperatura dos elétrons é muito mais elevada do que a temperatura de outras partículas, enquanto a temperatura do gás permanece perto à temperatura ambiente (ZILLE et al., 2014).

As duas categorias de plasma podem ser utilizadas em várias áreas, tais como, a reforma de gases, tratamento de efluentes, síntese de materiais, em revestimentos superficiais, incineração, etc. (CREMA, 2015; LIU et al., 2013; FRANCO, 2010). No que tange as aplicações do plasma por eletrolise para tratamento de água, pode-se dividir em três grupos sendo eles: acima da superfície do líquido, no líquido direto e descargas em bolhas / vapor em líquidos (JIANG et al., 2014). Além de poder ser aproveitado em uma solução aquosa para a deterioração de vários compostos orgânicos, oxidação de íons metálicos e até para síntese de produtos (MATIAS, 2010).

O plasma não térmico é produzido pela formação de um campo elétrico, devido a um diferencial de potencial entre dois eletrodos (cátodo e anodo) imersos em uma solução aquosa. Esta descarga de alta tensão (que tanto pode ser gerada por corrente contínua quanto por corrente alternada) cria um campo elétrico elevado, uma radiação ultravioleta intensa, além, do radical hidroxila, várias outras espécies reativas como  $O\cdot$ ,  $H_2O\cdot$ ,  $H_2O_2$ ,  $H_2$ ,  $O_2$  (GRIEP, 2010).

### 3 MÉTODOS

Esta seção descreve o método que será adotado para o desenvolvimento desta pesquisa, e divide-se em duas partes. Na primeira parte descreve-se brevemente a características da pesquisa. E, na segunda parte, são relacionados os procedimentos metodológicos a serem realizados juntamente com o cronograma de atividades.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O presente estudo utiliza uma metodologia de característica experimental por análises quantitativas e qualitativas, para avaliação de uma proposta de tratamento de efluente por processo oxidativo avançado de plasma não térmico obtido por eletrólise. Utilizando como amostra os efluentes gerados por uma lavanderia têxtil industrial e pretende-se por meio das análises, avaliar a eficiência da remoção de cor e toxicidade do efluente tratado.

#### 3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O efluente têxtil a ser analisado foi coletado em uma lavanderia industrial localizada a aproximadamente 7 quilômetros do centro da cidade de Maringá, que possui como principal atividade o beneficiamento de artigos de Denim e como atividade secundária o tingimento de artigos têxteis. A empresa opera em um terreno de 20.000 metros quadrados com 4.500 metros de área construída e está localizada a aproximadamente 130 metros de um corpo de receptor onde é possível realizar o descarte as águas residuais. A coleta foi realizada no mês de setembro de 2018 no tanque de igualização antes do tratamento secundário.

A amostra de efluente foi coletada em galões de 10 litros e foi conduzida ao laboratório de pesquisa do Grupo de Estudos de Tecnologias Ambientais (GETECA) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Apucarana. A caracterização da amostra foi feita quanto aos seguintes parâmetros físico-químicos: pH, turbidez, demanda química de oxigênio (DQO), determinação do

comprimento de onda de máxima absorvância e determinação da área sob a curva. Após a caracterização, a amostra foi armazenada em freezer à temperatura de 4°C para conservar suas propriedades.

### 3.2.1 Determinação do Potencial de Hidrogênio (pH)

A determinação deste parâmetro foi realizada utilizando o equipamento Peagâmetro da marca MS Tecnopon Instrumentação e modelo mPA210, sendo que a técnica analítica empregada será a do potenciométrico. As medições de pH foram feitas após calibração com solução tampão pH 4,0 e 7,0 fornecidas pelo fabricante.

### 3.2.2 Determinação da Turbidez

Sendo turbidez a dificuldade que um feixe de luz tem ao atravessar a água, devido à presença de matéria em suspensão do meio, está foi mensurada por meio de um turbidímetro de bancada da marca MS Tecnopon Instrumentação e modelo TB1000, seguindo os métodos descritos no manual do aparelho.

### 3.2.3 Determinação da Condutividade

A condutividade das amostras foi mensurada por meio de um condutivímetro da marca MS Tecnopon Instrumentação e modelo mCA 150, seguindo os métodos descritos no manual do aparelho. Sendo que as medições de condutividade foram feitas após calibração com solução tampão 146,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  fornecida pelo fabricante.

### 3.2.4 Determinação da Demanda Química do Oxigênio (DQO)

A demanda química de oxigênio (DQO) pode ser definida como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar quimicamente a matéria orgânica e inorgânica oxidável de uma determinada amostra de água. Para este estudo, foi utilizado o método de digestão com dicromato de potássio a altas temperaturas em meio ácido com a utilização de um catalisador (sulfato de prata). A metodologia completa consta no

Anexo I. Posterior o procedimento de digestão foi efetuado a leitura da absorbância a 620 nm em espectrofotômetro BEL Photonics modelo UV-M51 UV/VIS.

### 3.2.5 Medidas de Temperatura

As medidas de temperatura foram realizadas utilizando um termômetro de mercúrio, em contato com o efluente analisado.

### 3.2.6 Determinação da remoção de cor por meio do tamanho da área embaixo da curva no espectro visível

A coloração do efluente têxtil se deve à presença de corantes hidrolisados e de outros materiais dissolvidos ou em suspensão. Desta maneira, a determinação da área sob a curva de absorbância do efluente têxtil foi obtida com o auxílio de um espectrofotômetro da marca BEL Photonics modelo UV-M51 UV/VIS, utilizando os métodos descritos no manual do equipamento. Tendo o valor da absorbância em cada comprimento de onda da faixa de medição (400 a 700 nm) efetuou-se o tratamento dos dados utilizando o software *Origin*. Com isso obteve-se uma curva de absorbância, de antes e depois do tratamento da amostra.

### 3.2.7 Determinação da eficiência de remoção de cor, turbidez e DQO

Para determinar a eficiência de remoção de cor, turbidez e DQO efetuou-se o cálculo por meio da Equação 1 adaptada do estudo de Ribeiro e Tavares (2014).

$$\text{Eficiência de remoção (\%)} = \frac{(X_i - X_f) \times 100}{X_i} \quad (1)$$

Em que:

$X_i$  = Valor de referência do parâmetro;

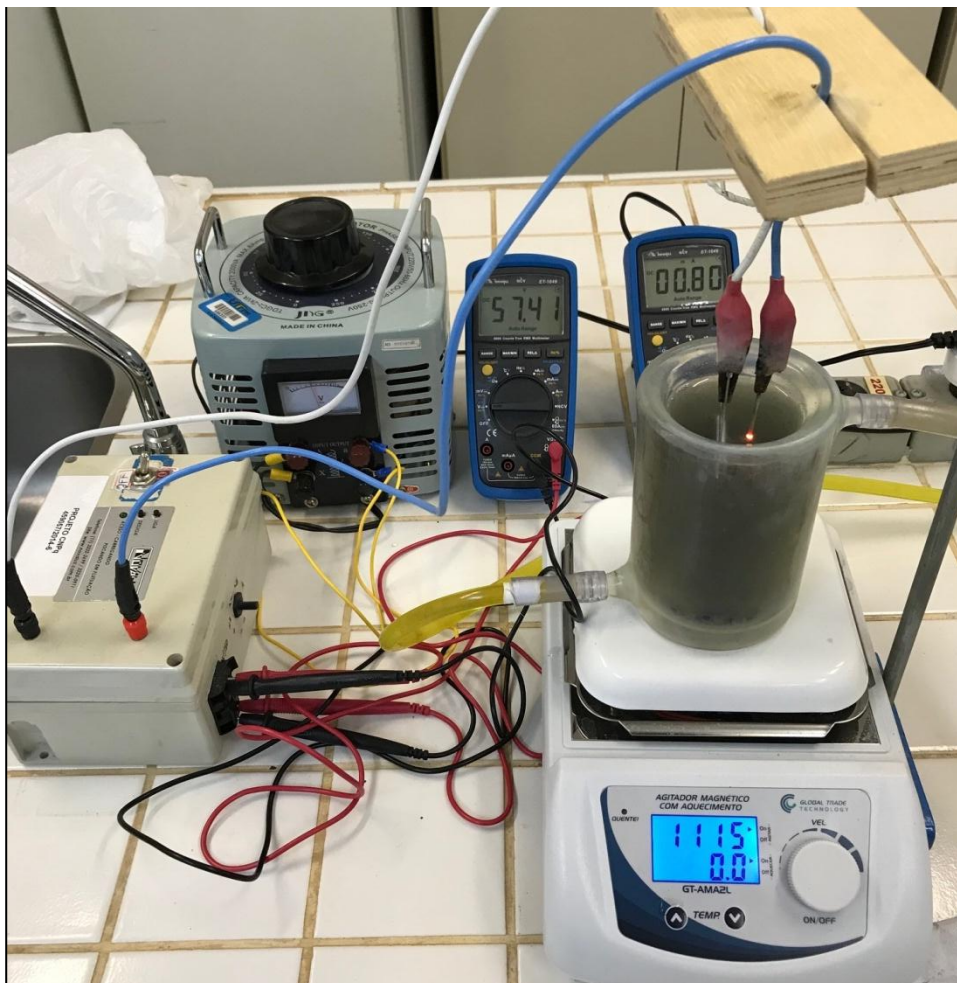
$X_f$  = Valor do parâmetro após o tratamento.



### 3.2.8 Estudo do reator de plasma

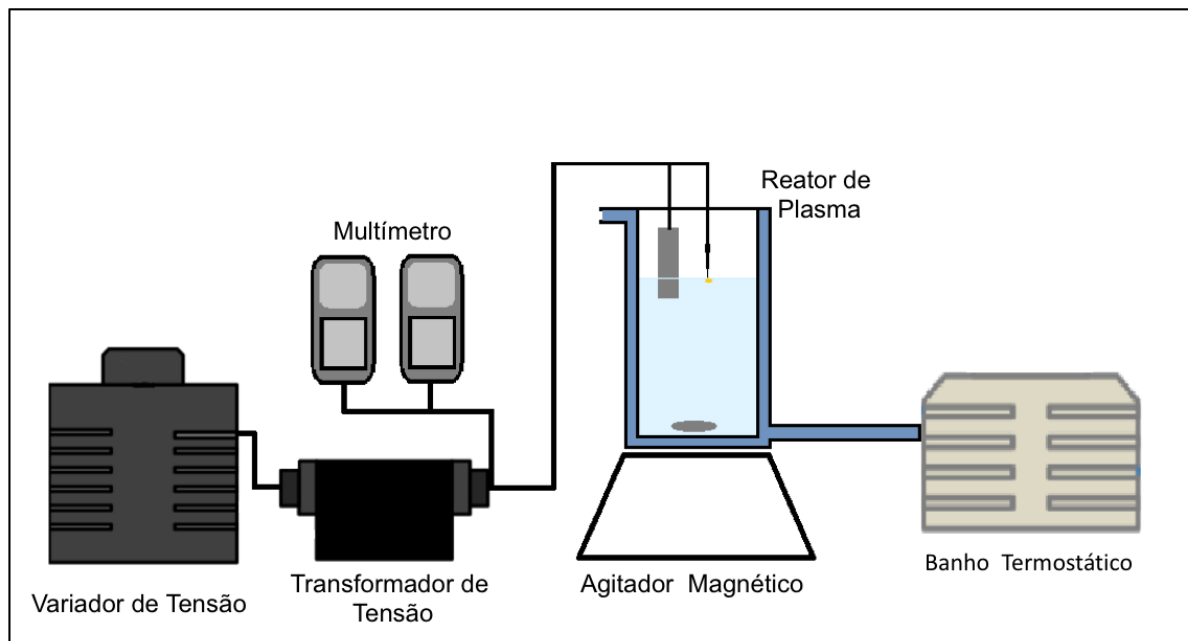
O sistema de plasma utilizado para o tratamento da amostra é constituído de uma fonte de alimentação de alta tensão e corrente contínua, uma cela termostaticada e dois eletrodos por entre os quais se estabelece o plasma. O cátodo é formado por um eletrodo de grafite espectroscópico de 6,0 mm de diâmetro e o ânodo é formado por um eletrodo de platina de 0,5 mm de diâmetro em um tubo de vidro, com a ponta exposta formando um microeletrodo para contato com efluente. Os eletrodos serão ligados à fonte de alimentação de alta tensão, que fornecerá uma diferença de potencial de 600 volts e uma corrente da ordem de 500 miliampéres, ocorrendo a formação do plasma dentro da cela.

Os ensaios de tratamento do efluente utilizando o sistema de plasma foram realizados em um reator que apresenta um volume útil de 350 ml, onde foram utilizados somente 250 ml de efluente. Para manter a agitação constante da amostra, o tubo de vidro foi instalado sobre um agitador magnético. A Figura 2 mostra o sistema do reator para tratamento de efluente utilizando plasma.



**Figura 2 - Sistema do reator de plasma para tratamento de efluentes.**  
Fonte: Autor, 2018.

Em conjunto com este sistema, foi utilizado um sistema de circulação e de controle de temperatura, feito através de um banho termostático da marca Marconi modelo MA083 com bomba de recirculação que permite manter a temperatura desejada no interior do reator. A Figura 3 consiste no esquema completo do sistema plasma utilizado.



**Figura 3 - Esquema do reator de plasma utilizado para tratamento de efluente.**

Fonte: Autor, 2018.

Os ensaios deste processo foram realizados após as amostras estarem em temperatura ambiente, com o pH ajustado utilizando solução de 1 M de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (Ácido sulfúrico) e/ou NaOH (Hidróxido de sódio) e com a quantidade de agente catalisador,  $\text{TiO}_2$  (Dióxido de titânio), determinados pelo planejamento fatorial. Desta maneira, adicionou-se 250 mL de efluente ao reator com a temperatura controlada e sob agitação magnética constante de 800 RPM. No instante em que a fonte de plasma foi acionada iniciou-se a contagem do tempo de experimento utilizando um cronometro pelo período de duas horas. Decorrido o tempo de ensaio, a amostra foi retirada do reator e centrifugada a 2500 RPM por 10 min, para que a matéria em suspensão decantasse. Com auxílio de uma seringa retirou-se o conteúdo líquido e procedeu-se a varredura em espectrofotômetro, turbidez, condutividade e pH, para posterior comparação dos valores obtidos antes do início dos ensaios.

Como o efluente utilizado possuía uma carga eletrolítica suficiente para a formação do plasma, não foi necessária a adição de eletrólito de suporte.

### 3.2.9 Estudo da influência da variação do pH do efluente e agente catalisador (TiO<sub>2</sub>) na sua descoloração

Foi avaliada qual a influência da variação do pH da amostra de efluente e de agente catalisador (TiO<sub>2</sub>) durante a reação de descoloração. Conforme pode ser observado na Tabela 1.

**Tabela 1 - Planejamento Experimental**

Ensaio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
pH	4,00	4,00	8,00	8,00	3,17	8,83	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
TiO <sub>2</sub> (g/L)	0,10	0,70	0,10	0,70	0,40	0,40	0,00	0,82	0,40	0,40	0,40

Fonte: Autor, 2018.

Para tanto, foi realizado um planejamento experimental, que a partir de ensaios preliminares definiu a variação desses fatores, pH e agente catalisador para um volume de 250 mL. Posteriormente foi feito o tratamento dos dados obtidos de cada amostragem.

### 3.8.10 Ensaios de toxicidade

Foram realizados ensaios de toxicidade em triplicata nas amostras do efluente tratado, conforme metodologia utilizada por (PALÁCIO et al., 2012). Sendo assim, preparou-se Placas de Petri com papel filtro qualitativo de diâmetro compatível e dispôs-se 20 sementes de alface (*Lactuca sativa*) com 99% de índice de germinação. As placas foram regadas com 14mL de solução (controles positivo e negativo, efluente bruto e efluente tratado) e colocadas em estufa com temperatura média de 22°C ± 2°C por 120 horas. Houve dois controles distintos, um controle negativo apenas com água destilada e outro positivo com soluções de NaCl com concentrações de 0,5 M, 1,0 M e 2,0 M.

Após as 120 horas de ensaio foi determinado o percentual de germinação e crescimento de raízes por meio da medição das raízes das sementes germinadas. O percentual de germinação relativa das amostras foi calculado conforme Equação (2) e o percentual de inibição do crescimento relativo das raízes, conforme a Equação (3).

$$\%GR = \frac{n^{\circ} SGA}{n^{\circ} SGC} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

% GR - Percentual de germinação relativa.

n° SGA - Número de sementes germinadas nas amostras.

n° SGC - Número de sementes germinadas no controle negativo.

$$\%ICRRz = \frac{MCRzC - MCRzA}{MCRzC} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

% ICRRz - Percentual de inibição do crescimento relativo das raízes.

MCRzC - Média do crescimento das raízes do controle.

MCRzCA - Média do crescimento das raízes da amostra.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE TÊXTIL COLETADO

O efluente têxtil coletado na lavanderia industrial que possui como principal atividade o beneficiamento de artigos de Denim e como atividade secundária o tingimento de artigos têxteis. Foi caracterizado quanto aos seguintes parâmetros físicos-químicos de: pH, área sob a curva de absorbância, turbidez e demanda química de oxigênio (DQO) a temperatura ambiente de 24,3°C. Os resultados obtidos encontram-se resumidos na Tabela 2.

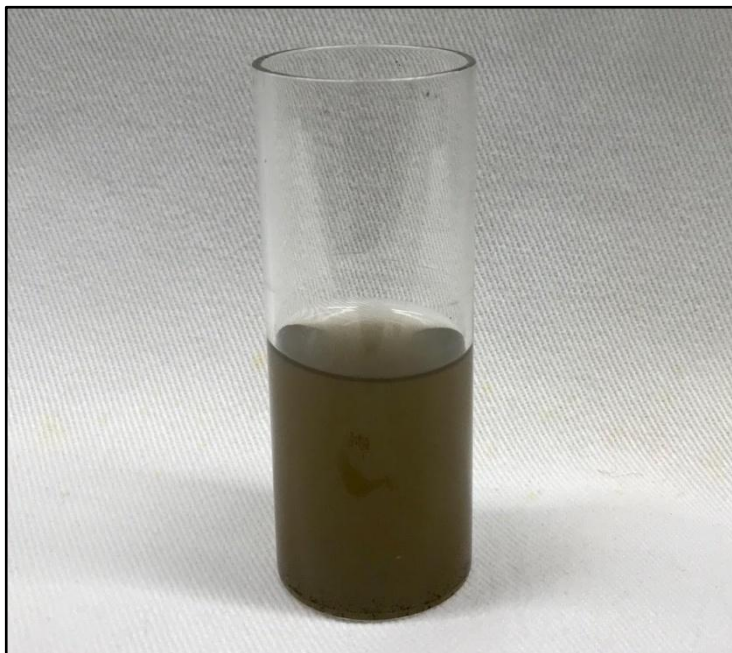
**Tabela 2 - Resultados da caracterização do Efluente bruto**

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade de medida</b>	<b>Resultado</b>
<b>pH</b>	-	6,98
<b>Área sob a curva de absorbância</b>	-	223,8562
<b>Turbidez</b>	UNT	169
<b>Condutividade</b>	mS/cm a 25°C	2,15
<b>DQO</b>	mg/L	292
<b>Odor</b>	-	Sim

Fonte: Autor, 2018.

Os dados obtidos na caracterização do efluente permitiram verificar que quanto ao pH, o efluente encontra-se dentro dos limites de descarte estabelecidos pela Resolução nº 430/2011 do CONAMA, que é na faixa de 5 a 9, sendo que o pH medido do efluente é de 6,98.

Quanto a turbidez, odor e DQO, segundo a Resolução do CONAMA nº 357/2011, a amostra encontra-se fora dos limites permitidos para o descarte em corpos receptores da Classe 2 e 3, comprovando a necessidade de tratamento prévio antes que seja efetuado o descarte. Na Figura 4 pode-se observar a amostra de efluente bruto analisada.



**Figura 4 - Amostra de efluente bruto.**

Fonte: Autor, 2018.

Por meio da Figura 4 observa-se que o efluente apresenta cor intensa o que é proveniente da presença de corantes e reagentes utilizados no processo de beneficiamento do jeans.

#### 4.2 RESULTADOS DO PROCESSO DE TRATAMENTO UTILIZANDO PLASMA POR ELETRÓLISE

Ao longo da pesquisa buscou-se analisar qual o efeito do tratamento do efluente utilizando o plasma por eletrólise para remoção de cor, além de verificar a sua influência nos parâmetros de turbidez, condutividade e DQO. Os valores dos resultados desses parâmetros encontram-se na Tabela 3.

**Tabela 3 - Resultados obtidos no processo de tratamento com plasma**

Ensaio	pH Inicial	Dosagem TiO <sub>2</sub> (g)	Condutividade inicial (mS/cm a 25°C)	Área sob a curva	Turbidez	pH Final	Condutividade Final (mS/cm a 25°C)	DQO (mg/L)
<b>EF. Bruto</b>	6,98	0,0000	2,15	233,86	169	0,00	0,00	292,00
<b>1</b>	4,00	0,025	2,45	31,16	94	9,29	2,70	198,78
<b>2</b>	4,00	0,175	2,49	27,95	113	8,65	3,01	201,97
<b>3</b>	8,00	0,025	2,97	24,58	77	10,83	2,45	206,09
<b>4</b>	8,00	0,175	2,98	35,19	27	10,65	2,16	246,14
<b>5</b>	3,17	0,100	2,65	14,05	51	9,63	2,63	120,64
<b>6</b>	8,83	0,100	2,20	18,35	41	11,06	2,82	208,54
<b>7</b>	6,00	0,000	2,15	25,39	139	10,48	2,34	171,64
<b>8</b>	6,00	0,205	2,17	24,85	88	10,12	2,17	198,73
<b>9</b>	6,00	0,100	2,26	16,31	109	9,49	2,27	217,41
<b>10</b>	6,00	0,100	2,23	18,42	107	9,64	2,48	213,6
<b>11</b>	6,00	0,100	2,26	15,57	85	10,30	2,43	210,47

Fonte: Autor, 2018.

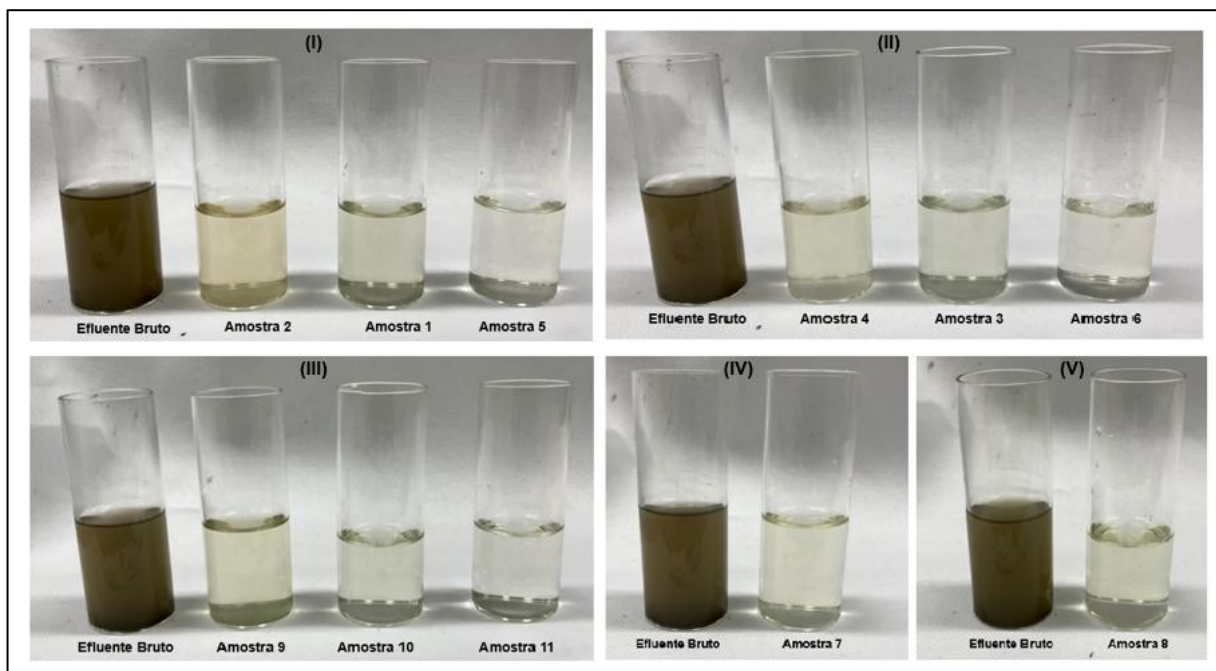
Após o tratamento obteve-se as seguintes faixas de valores finais para cada variável mencionada: o pH entre 8,65 e 10,83, a turbidez entre 41 e 139 UNT, a cor entre 14,05 e 35,19, a condutividade entre 2,16 e 3,01 mS/cm a 25°C e DQO entre 120,64 a 246,14 mg/L.

Em relação ao pH observa-se que em todos os ensaios houve um aumento do seu valor. Assim, até mesmo às amostras que estavam inicialmente com o pH ácido adquiriram caráter alcalino ao término do processo de tratamento. Com isso as amostras de número 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 tornaram-se impróprias para serem descartadas diretamente em corpos receptores sem que haja a devida correção do seu pH, uma vez que se encontram fora dos limites (pH 5 a 9) estabelecidos Resolução n° 430/2011 do CONAMA. Este comportamento de aumento do valor de pH também ocorreu no estudo de Mathias (2010), sendo que era esperado um decréscimo no valor de pH devido a oxidação com plasma. Entretanto, nos trabalhos consultados pelo autor, foram utilizadas soluções de compostos orgânicos preparadas em laboratório, ou seja, que possuíam uma matriz muito menos complexa que a de um efluente industrial.

Já a condutividade das amostras, não foi possível determinar algum padrão na sua variação entre os valores iniciais e finais. Mas, no ensaio em que houve uma diminuição do valor, foi o que apresentou melhor resposta de remoção de cor.



Na Figura 5 pode-se observar as amostras de efluente antes e após o tratamento utilizando o reator de plasma separadas conforme a faixa de pH.



**Figura 5 - Amostras do efluente tratado: (I) pH ácido, (II) pH alcalino, (III) ponto central, (IV e V) pH neutro**

Fonte: Autor, 2018.

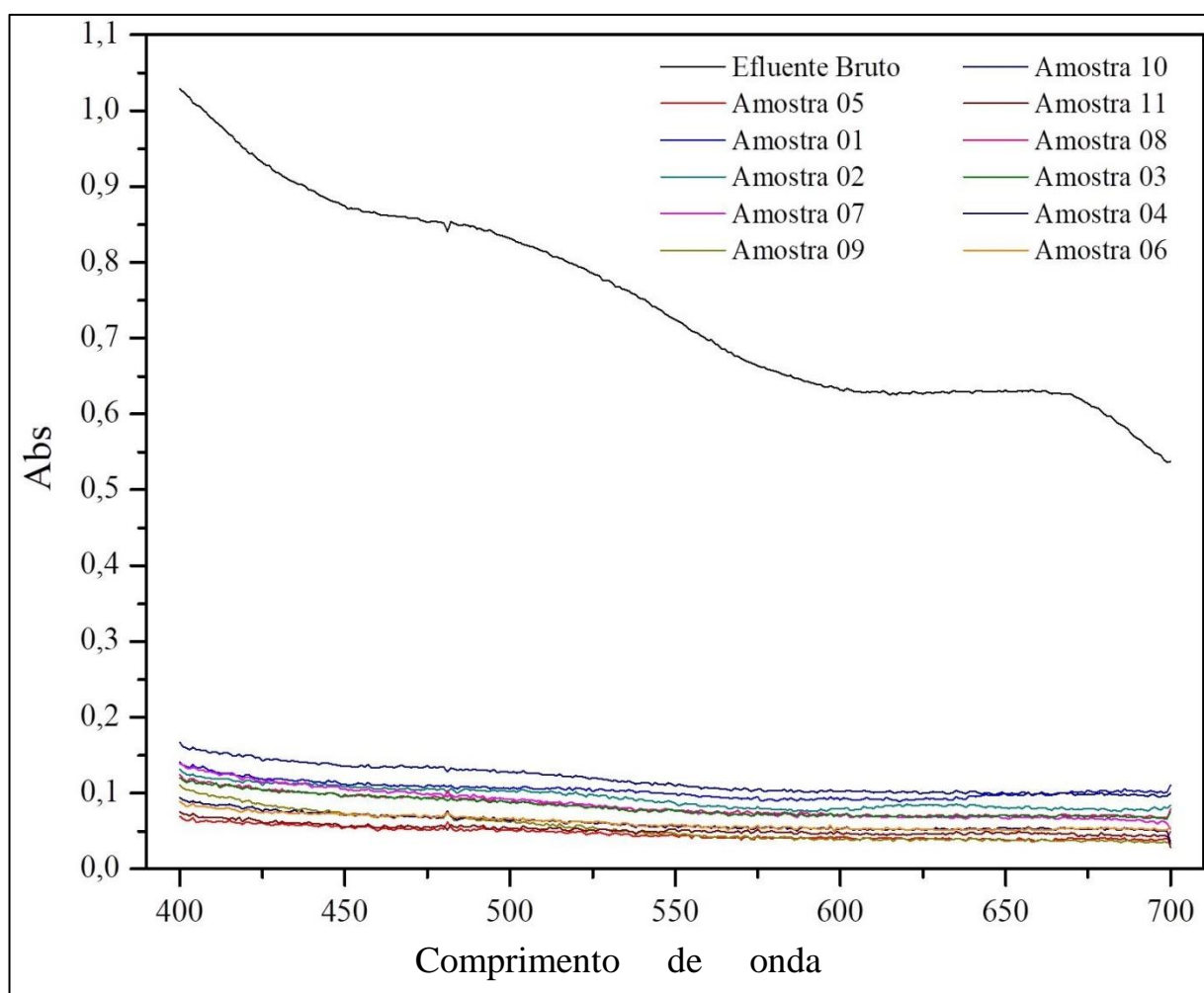
A eficiência de remoção de cor foi verificada utilizando os valores da coluna de área sob a curva da Tabela 3 aplicados na Equação 1, o mesmo se aplica aos dados sobre a remoção de turbidez e DQO. Esses resultados encontram-se na Tabela 4.

**Tabela 4 - Resultados da eficiência de remoção (%)**

Ensaio	pH	TiO <sub>2</sub> (g/L)	Eficiência de Remoção (%)		
			Cor	Turbidez	DQO
1	4,00	0,10	86,68	44,38	31,92
2	4,00	0,70	88,05	33,14	30,83
3	8,00	0,10	89,49	54,44	29,42
4	8,00	0,70	84,95	84,02	15,71
5	3,17	0,40	93,99	69,82	58,68
6	8,83	0,40	92,15	75,74	28,58
7	6,00	0,00	89,14	17,75	41,22
8	6,00	0,82	89,37	47,93	31,94
9	6,00	0,40	93,02	35,50	25,54
10	6,00	0,40	92,12	36,69	26,85
11	6,00	0,40	93,34	49,70	27,92

Fonte: Autor, 2018.

De forma complementar aos resultados obtidos sobre a eficiência de remoção de cor elaborou-se um gráfico comparativo relacionando o comprimento de onda e a absorvância do efluente bruto com o das amostras de efluente tratado, conforme pode ser observado na Figura 6. Desta maneira, no que tange a remoção de cor do efluente, o ensaio que apresentou melhor resposta de remoção foi o de número 5, cujo pH de processo era 3,17 e utilizou-se 0,4 g/L de  $\text{TiO}_2$ , seguida da amostra 11, cujo pH de processo era de 6,00 e utilizou-se 0,4 g/L de  $\text{TiO}_2$ . Quanto ao pior resultado de remoção foi o do ensaio número 4 cujo o pH era 8,00 e utilizou-se 0,7 g/L de  $\text{TiO}_2$ .



**Figura 6- Varredura dos efluentes na faixa do visível das amostras de efluente bruto e tratados em diferentes condições.**

Fonte: Autor, 2018.

Quanto ao percentual de remoção de turbidez, segundo a Tabela 4, a amostra que apresentou o melhor percentual foi a de número 4, com 84,02%, seguida da 6, com 75,74%, enquanto que o pior resultado foi o da amostra 7, com 17,75 de remoção. No parâmetro DQO a amostra que apresentou o melhor resultado foi a de número 5, com 58,68% e o pior resultado foi a amostra de número 4, com 15,71%.

Considerando os resultados obtidos nas análises mencionadas acima a amostra que obteve a melhor resposta ao tratamento foi a de pH ácido 3,17 (amostra 5), mas esta faixa de pH é muito inferior a faixa de pH do efluente bruto, necessitando assim, de uma quantidade maior de ácido para regular o pH. Desta forma, se tomarmos como base a amostra de controle (9,10 e 11), cujo o pH é de 6,00 e possui uma média de remoção de cor de 92,83%, ou seja, valor próximo ao da amostra 5. Sugere-se a sua utilização para a realização dos ensaios de toxicidade, pois as amostras estão em faixa de pH um pouco abaixo do pH do efluente bruto (6,98) e utilizou-se a mesma quantidade de  $\text{TiO}_2$ , 0,4 g/L. As respostas dos ensaios de toxicidade utilizando essas amostras constam no item 4.6 Resultados dos ensaios de toxicidade.

#### 4.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS SOBRE A REMOÇÃO DE COR

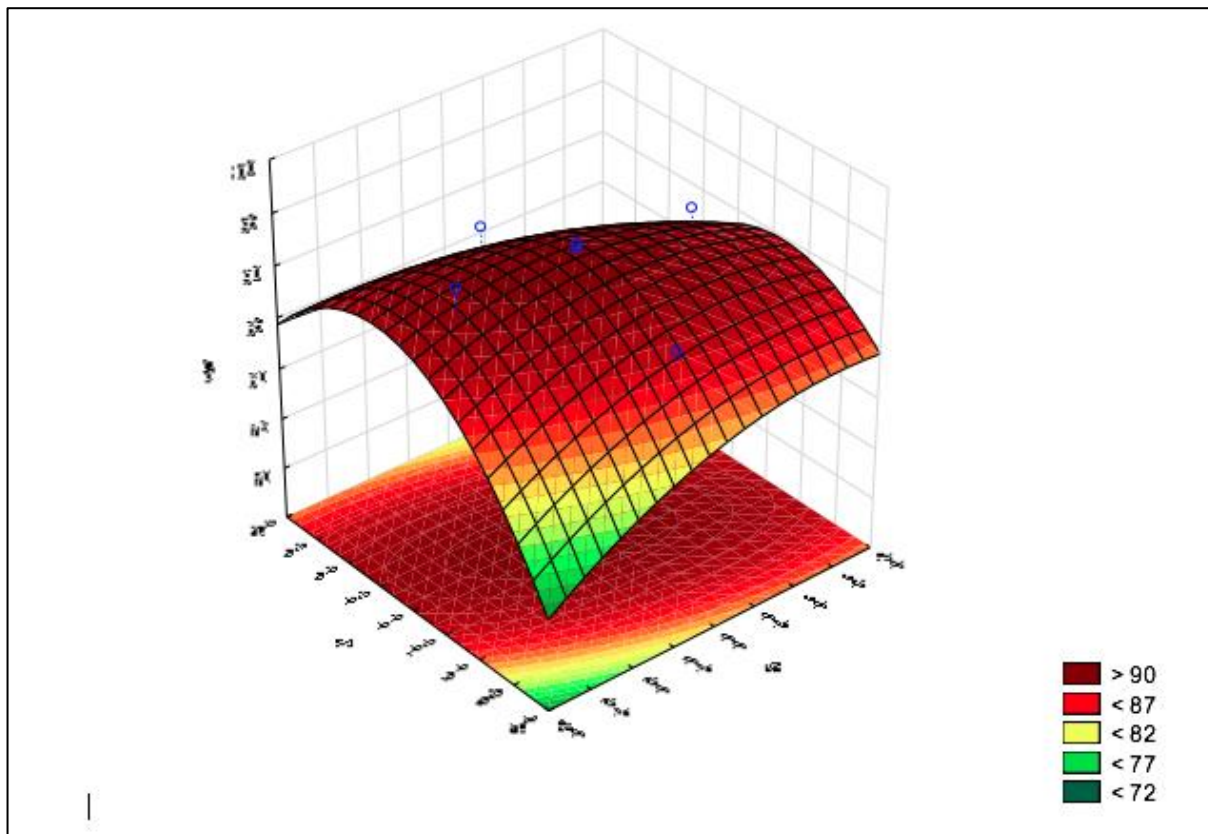
Pela Tabela 5 que demonstra os resultados da análise de efeitos dos parâmetros, percebe-se que nenhum efeito foi considerado significativo na remoção de cor, a um nível de confiança de 95%.

**Tabela 5 - Tabela de efeitos da influência dos parâmetros pH e  $\text{TiO}_2$  sobre a remoção de cor.**

	<b>Efeito</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média</b>	<b>92,82667</b>	<b>1,482103</b>	<b>0,000000</b>
<b>pH</b>	-0,72304	1,815198	0,706831
<b>pH<sup>2</sup></b>	-1,69167	2,160518	0,469076
<b>[TiO<sub>2</sub>]</b>	-0,71118	1,815198	0,711353
<b>[TiO<sub>2</sub>]<sup>2</sup></b>	-5,50667	2,160518	0,051343
<b>pH x [TiO<sub>2</sub>]</b>	-2,95500	2,567078	0,301741

Fonte: Autor, 2018.

A partir dos dados da Tabela 5, foi elaborado um gráfico contendo a superfície de resposta para influência dos parâmetros pH e  $\text{TiO}_2$ , conforme pode ser observado na Figura 7.



**Figura 7 - Superfície de resposta dos efeitos da influência dos parâmetros pH e  $\text{TiO}_2$  sobre a remoção de cor.**

Fonte: Autor, 2018.

O efeito quadrático da concentração de catalisador apresentou um efeito bem próximo de ser significativo, sendo que o efeito é negativo. Ou seja, aumentando a concentração de catalisador, diminui-se a remoção de cor. Este efeito é indesejado, pois além de não auxiliar na remoção de cor, gasta-se mais catalisador. Como, dentro da faixa estudada, nenhum efeito foi significativo, pode-se utilizar os valores de parâmetros que sejam mais econômicos para o processo, como o pH mais próximo do pH do efluentes e a menor concentração de catalisador.

#### 4.4 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS SOBRE A REMOÇÃO DE TURBIDEZ

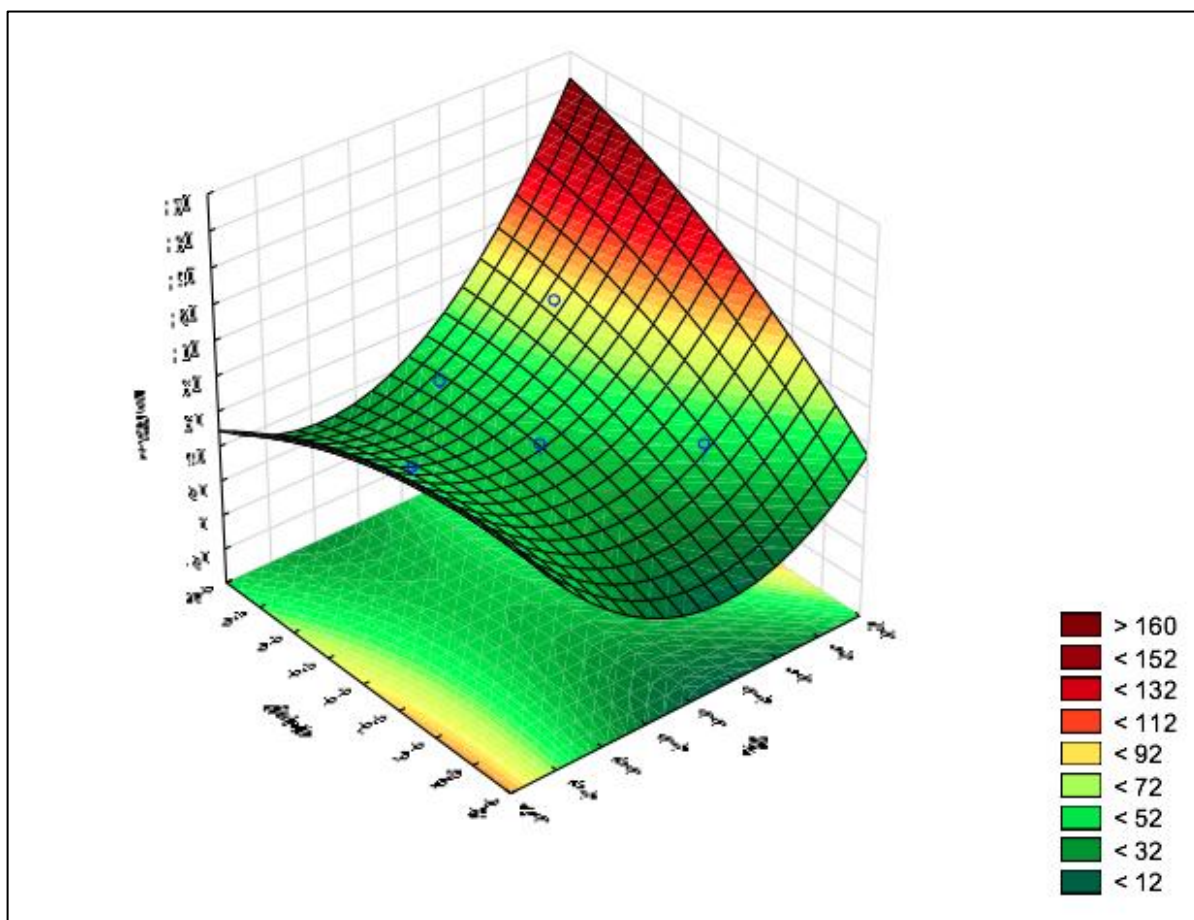
Para a remoção de turbidez, mostrou-se significativo (a um nível de confiança de 95%) o termo quadrático do pH, com efeito positivo. Assim, quando houve o aumento do pH, ocorreu o aumento da remoção de turbidez. Isto pode ocorrer devido à precipitação de alguns compostos presentes no efluente. Os dados da análise encontram-se na Tabela 6.

**Tabela 6 - Tabela de efeitos da influência dos parâmetros pH e TiO<sub>2</sub> sobre a remoção de turbidez.**

	<b>Efeito</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>p-valor</b>
<b>Média</b>	<b>40,63000</b>	<b>6,03543</b>	<b>0,001097</b>
<b>pH</b>	17,32804	7,39186	0,066034
<b>pH<sup>2</sup></b>	<b>32,74250</b>	<b>8,79808</b>	<b>0,013690</b>
<b>[TiO<sub>2</sub>]</b>	15,25524	7,39186	0,093979
<b>[TiO<sub>2</sub>]<sup>2</sup></b>	-7,19750	8,79808	0,450526
<b>pH x [TiO<sub>2</sub>]</b>	20,41000	10,45368	0,108333

Fonte: Autor, 2018.

A partir dos dados da Tabela 6, foi elaborado um gráfico contendo a superfície de resposta para influência dos parâmetros pH e TiO<sub>2</sub>, conforme pode ser observado na Figura 8.



**Figura 8 - Superfície de resposta dos efeitos da influência dos parâmetros pH e TiO<sub>2</sub> sobre a remoção de turbidez.**

Fonte: Autor, 2018.

#### 4.5 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS SOBRE A REMOÇÃO DE DQO

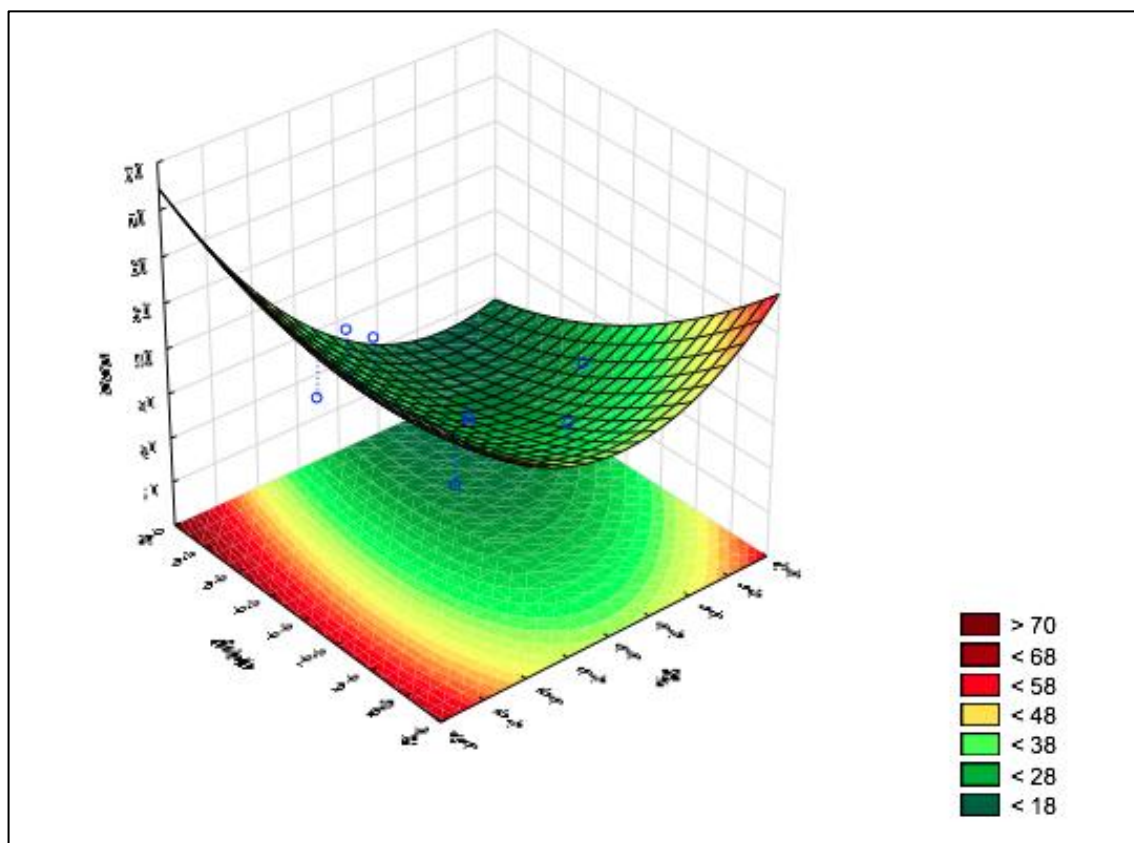
Para a remoção de DQO, nenhum efeito foi considerado significativo a um nível de confiança de 95%, embora o pH teve um valor bem próximo de 0,05 e com efeito negativo. Isto significa que, diminuindo o pH, obtém-se um aumento da remoção de DQO. Os dados da análise constam na Tabela 7 e na Figura 9.

**Tabela 7 - Tabela de efeitos da influência dos parâmetros pH e TiO<sub>2</sub> sobre a remoção de DQO.**

	Efeito	Desvio Padrão	p-valor
Média	26,7700	5,329470	0,004025
pH	-15,0470	6,527240	0,069316
pH <sup>2</sup>	10,2925	7,768970	0,242546
[TiO <sub>2</sub> ]	-6,9810	6,527240	0,333728

$[\text{TiO}_2]^2$	3,2425	7,768970	0,693727
$\text{pH} \times [\text{TiO}_2]$	-6,3100	9,230912	0,524630

Fonte: Autor, 2018.

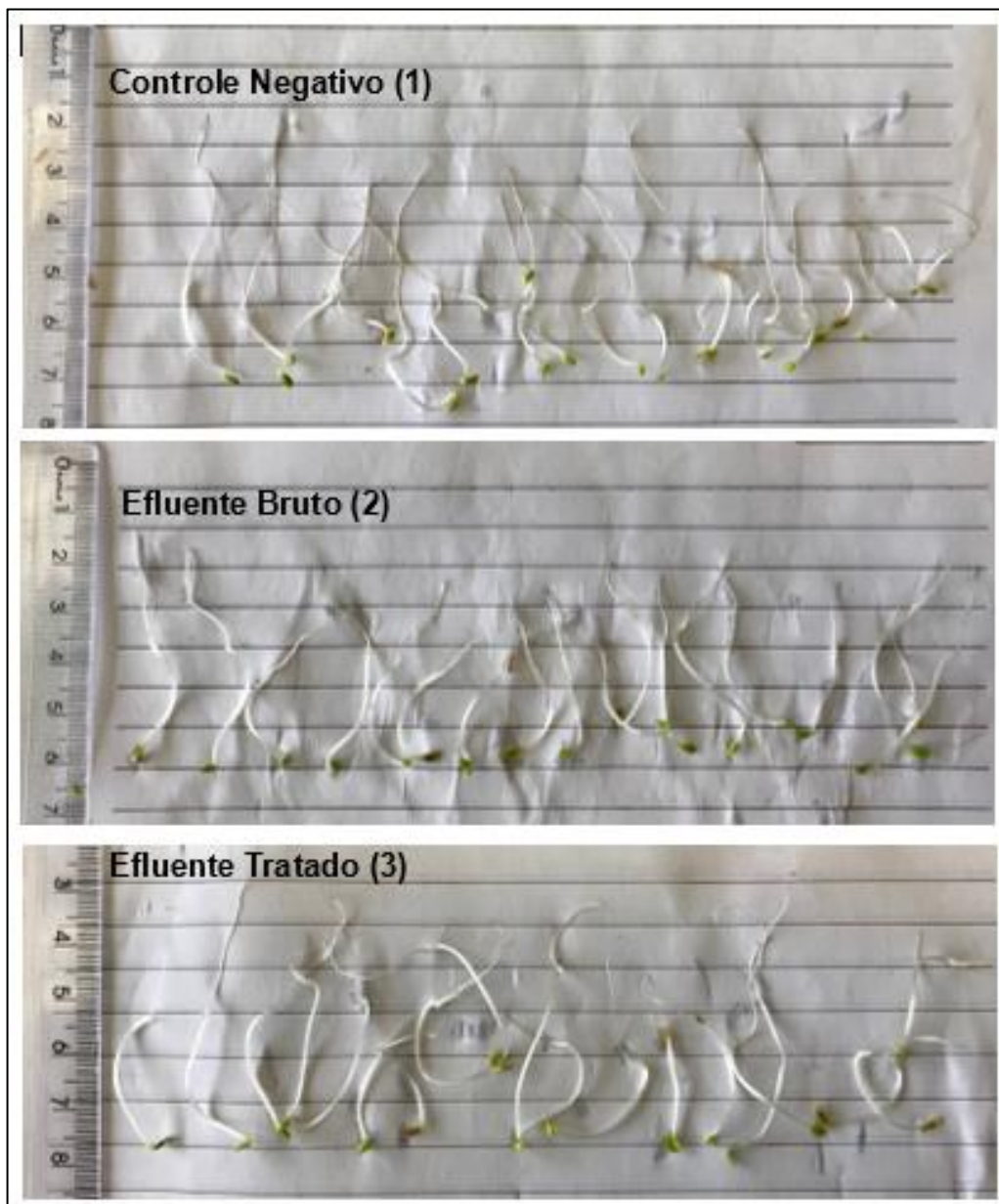


**Figura 9 -Superfície de resposta dos efeitos da influência dos parâmetros pH e TiO<sub>2</sub> sobre a remoção de DQO**

Fonte: Autor, 2018.

#### 4.6 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TOXICIDADE

Conforme mencionado na metodologia os ensaios de toxicidade foram realizados em triplicata utilizando as amostras de efluente bruto com pH 6,98, amostras 9, 10 e 11 do efluente tratado, com pH de 6,00, bem como com o controle negativo apenas com água destilada e outro positivo com soluções de NaCl com concentrações de 0,5 M, 1,0 M e 2,0 M. Na Figura 10 é possível observar a germinação das sementes no controle negativo (1), no efluente bruto (2) e na efluente tratado (3).



**Figura 10 - Resultado da germinação das sementes de *Lactuca sativa* após 120h.**  
Fonte: Autor, 2018.

Após o período de 120h de ensaio, a espécie de *Lactuca sativa* mostrou-se capaz de se desenvolver parcialmente em meio potencialmente tóxico (efluente bruto) e de se desenvolver completamente no controle negativo e nas amostras de efluente tratado. Já no controle positivo as sementes não germinaram, isso devido à desidratação ocasionada pelo NaCl e consequente entumescimento das sementes. Na Figura 11 é possível observar o resultado do controle positivo.





**Figura 11 - Controle positivo com soluções salinas.**

Fonte: Autor, 2018.

Procedeu-se então a contagem e medição das raízes das sementes germinadas para que na sequência determinasse o percentual de germinação e crescimento de raízes. Na Tabela 8 pode-se observar os resultados germinação relativa (%GR) das sementes. Nota-se que as sementes do ensaio utilizando o efluente tratado que possui pH 6,00 obtiveram 100% de %GR, enquanto que as sementes em que foi utilizado o efluente bruto obtiveram um %GR de 95%.

Estes resultados são similares aos obtidos no estudo de Palácio *et al.*, 2012, que destaca que o meio potencialmente tóxico do efluente provoca efeitos letais a desenvolvimento da semente, como a inibição da germinação e efeitos sub-letais como a inibição do desenvolvimento das raízes e das radículas.

**Tabela 8 - Percentual de germinação relativa (%GR)**

Amostra	Controle Negativo			Efluente Bruto			Efluente tratado		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<b>Sementes germinadas</b>	20	20	20	18	19	20	20	20	20
<b>Germinação relativa (%GR)</b>		-		90	95	100	100	100	100

Fonte: Autor, 2018.

Para determinar o percentual de inibição do crescimento relativo das raízes (%ICRRz) efetuou-se a medição do tamanho da raiz de cada semente germinada, calculou-se a média e aplicou a Equação 3. Os resultados constam na Tabela 9.

**Tabela 9 - Percentual de inibição do crescimento relativo das raízes (%ICRRz)**

Amostra	Controle Negativo			Efluente Bruto			Efluente tratado		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tamanho médio das raízes (cm)	4,690	4,475	4,715	3,68	3,235	3,290	4,875	5,310	5,595
Inibição do crescimento relativo das raízes (%ICRRz)		-		21,54	27,71	30,22	-32,47	-64,14	-70,06
Média de %ICRRz		-		26,49			-55,56		

Fonte: Autor, 2018.

Nota desta forma que as amostras que foram regadas com o efluente bruto obtiveram %ICRRz médio de 26,49%, ou seja, as raízes das sementes cresceram menos que as raízes das amostras do controle negativo. Já as amostras que foram regadas com o efluente tratado obtiveram %ICRRz médio negativo de 55,56%, isso porque as raízes da amostra cresceram mais que as raízes do controle negativo. Esse crescimento expressivo possivelmente ocorreu devido o efluente tratado possuir algum composto que serviu de nutriente as sementes.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo pode-se comprovar que a remoção de cor do efluente têxtil utilizando plasma por eletrólise obteve resultados promissores, sendo que em todas as amostras houve um percentual de remoção de cor superior a 84% em duas horas de tratamento chegando ao máximo de remoção de cor de 93,99%. Houve também a redução dos valores de turbidez e DQO, bem como a perda do forte odor da amostra. Entretanto, em todas as amostras ocorreu o aumento do valor do pH, tornando necessário a adequação desse parâmetro para que a água proveniente deste tratamento se enquadre na faixa de pH permitida pela Resolução nº 430/2011 do CONAMA para descarte.

A melhor condição adotada nesse estudo foi a da amostra 11, cujo pH era 6,00 e utilizou-se 0,4 g/L de TiO<sub>2</sub>. Porém, essa não foi a amostra que proporcionou maior remoção de cor, sendo escolhida devido apresentar pH próximo ao do efluente, enquanto que a condição que removeu melhor a cor foi em pH ácido na faixa de 3,17 correspondente a amostra 5. Nessa condição, além de demandar quantidade considerável de ácido para ajuste do pH, ocorre a solubilização do dióxido de titânio, podendo demandar um pós tratamento para remoção desse antes do descarte no ambiente.

Testes de toxicidade foram realizados para a amostra de efluente tratada de pH 6,00 e que obteve média de remoção de cor de 93,34%. Os resultados mostram que houve germinação de 100% das sementes de alface da espécie *Lactuca sativa* cujo índice de germinação é de 99%, segundo fabricante. Quanto ao percentual de inibição do crescimento relativo das raízes (%ICRRz), obteve-se um resultado médio negativo de 55,56%, demonstrando que as raízes das sementes regadas com o efluente tratado cresceram mais que as da amostra de controle, regadas com água destilada. Demonstrando assim, que a água proveniente do tratamento não apresenta potencial toxicológico de inibição de germinação e crescimento de raízes desta espécie de vegetal.

Portanto, o tratamento de efluente têxtil utilizando plasma demonstrou ser eficaz para remoção de cor de efluentes reais e redução da toxicidade dos mesmos, indicando assim a possibilidade reutilização da água. Não houve no processo experimental significativa geração de resíduos sólidos, como é observado em tratamento de efluentes convencionais. Contudo, recomenda-se a realização de

estudos futuros para avaliar: quantidade de resíduos sólidos e gases gerados no processo; a influência do agente catalisador  $\text{TiO}_2$ , bem como buscar agentes alternativos; a influência da variação do tempo de tratamento, variação da voltagem, variação do material do ânodo; gasto e eficiência energética do processo, além da redução de outros parâmetros de qualidade do efluente (DBO, Carbono orgânico total, Metais, etc).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS TÊXTEIS E DE CONFECÇÃO. **Perfil do setor: dados gerais do setor atualizados em 2017, referentes ao ano de 2016.** Disponível em: < <http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor> >. Acesso em: 01 set. 2017.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO – BNDS. **Panorama da cadeia produtiva têxtil e de confecções e a questão da inovação.** Rio de Janeiro, 2013. Disponível em < [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/Set2905.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/Set2905.pdf) >. Acesso em: 07 de set. 2017.

BELTRAME, L. T. C. **Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento.** 2000. 161 Dissertação de Mestrado (Mestrado). Centro de Tecnologia. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química., Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.

BELTRAME, T. F.; LHAMBY, A. R.; BELTRAME, A. Efluentes, resíduos sólidos e educação ambiental: Uma discussão sobre o tema. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental.** Santa Maria, RS: Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM. 20: 351-362 p. 2016.

BEZERRA, F. D. Análise retrospectiva e prospectiva do setor têxtil no Brasil e no nordeste. **Informe Técnico do Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE,** Fortaleza, CE, 2014. Disponível em: < [https://www.bnb.gov.br/documents/88765/89729/iis\\_ano8\\_n03\\_2014\\_textil.pdf/d9c9bcdc-38ac-4991-bf84-d25669d9c818](https://www.bnb.gov.br/documents/88765/89729/iis_ano8_n03_2014_textil.pdf/d9c9bcdc-38ac-4991-bf84-d25669d9c818) >. Acesso em: 01 set. 2017.

BEZERRA, K. C. H. **Estudo de remoção de cor de efluentes têxteis por meio do processo oxidativo avançado: UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.** 2015. 123 Dissertação (Mestrado em Têxtil e Moda) (Mestre em Têxtil e Moda). Programa de Pós- Graduação em Têxtil e Moda, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

BITTENCOURT, C.; PAULA, M. A. S. D. **Tratamento De Agua E Efluentes: Fundamentos de saneamento ambiental e gestão de recursos hídricos.** São Paulo: 2014.

BURKINSHAW, S. M. **Physico-chemical aspects of textile coloration.** Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2016.

CADORIN, B. M. **Estudo químico da degradação do corante alaranjado de metila por plasma frio de descarga elétrica de alta tensão.** 2016. 212 p. Doutorado (Doutor em Química). Centro de ciências físicas e matemáticas. Programa de Pós-graduação em Química., Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

CATOIRA, L. **Jeans, a roupa que transcende a moda.** Aparecida, SP: Idéias & Letras, 2006.

CREMA, A. P. S. **Estudo das reações de descoloração de corantes em meio aquoso induzidas por plasma frio**. 2015. 107 Mestrado (Mestre em Química). Centro de ciências físicas e matemáticas. Programa de Pós-graduação em química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

DALTIN, D. **Tensoativos: química, propriedades e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2011.

DUMAS, L.; MARIANO, I. P.; SANTOS, T. D. Impactos ambientais do descarte incorreto de resíduos sólidos têxteis gerados nas confecções da cidade de apucarana. **4 Contexmod**. Blumenau, p. 524-536. ago. 2016. Disponível em: <<http://www.contexmod.net.br/index.php/quarto/article/view/524>>. Acesso em: 17 set. 2018.

ESTENDER, A. C.; TAKEUTI, C. H. D. S.; JULIANO, M. D. C. Gestão Ambiental e a utilização da água de reuso em tinturarias. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**. Grajaú, MA: EDUFMA. 1: 237-255 p. 2015.

FERREIRA, D. D. M.; SPANHOL, G. K.; KELLER, J. Gestão do processo têxtil: contribuições à sustentabilidade dos recursos hídricos. **V Congresso Nacional em Excelência em Gestão**. Niterói, Rio de Janeiro: 19 p. 2009.

FRANCO, M. S. **Estudo da otimização do processo H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV para o decoloramento de um efluente de indústria têxtil**. 2010. 68 Dissertação (mestrado) (Mestrado em Química Analítica). Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

GRIEP, V. N. **Degradação de alisarina em solução aquosa, sob plasma obtido por eletrólise de alta tensão e baixa corrente**. 2010. 77 Dissertação (Mestrado) (Mestre em ciências). Programa de Pós-Graduação em Agroquímica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

JIANG, B. et al. Review on electrical discharge plasma technology for wastewater remediation. **Chemical Engineering Journal**, v. 236, p. 348-368, 2014/01/15/ 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894713012941> >. Acesso em: 17 de Out. 2018.

LIU, Z. et al. Effects of surface modification by atmospheric oxygen dielectric barrier discharge plasma on PBO fibers and its composites. **Applied Surface Science**, v. 283, p. 38-45, 2013/10/15/ 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433213010775> >. Acesso em: 17 de Out. 2018.

LUCCA NETO, H. Dyecare: diretrizes para o emprego ecologicamente compatível de corantes. **Química Têxtil**, São Paulo: ABQCT, P.58-65, 1995.

MATIAS, A. A. **Tratamento de efluente de indústria de celulose através de plasma obtido por eletrólise de alta tensão**. 2010. 77f. (Mestre). Programa de Pós-graduação em Agroquímica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

NETO, P. P. A. **Fibras têxteis**. SENAI-DN: SENAI-CETIQT: CNPq: IBICT: PADCT: TIB, 1996.

PALÁCIO, S. M. et al. Estudo da toxicidade de efluente têxtil tratado por foto-fenton artificial utilizando as espécies lactuca sativa e artemia salina. **Engevista**. 14 2012.

PEZZOLO, D. B. **Tecidos: história, tramas, tipos e usos**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2007.

QUEIROZ, M. T. A. et al. Gestão de resíduos na indústria têxtil e sua relação com a qualidade da água: estudo de caso. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina. 8: 114-135 p. 2016.

RIBEIRO, L. G. **Introdução à indústria têxtil**. Rio de Janeiro: CETIQT/SENAI, 1984.

RIBEIRO, V. A.S. **Fotodegradação de efluentes têxteis catalisada por Zn**. 2010. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

RIBEIRO, V. A. S.; TAVARES, C. R. G. Fotocatálise aplicada ao tratamento de efluentes de lavanderia de jeans: comparação da eficiência de remoção de cor do ZnO e do TiO<sub>2</sub>. **4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente**. Bento Gonçalves – RS: Fiema Brasil 2014.

RIBEIRO, V. A. D. S.; VOLPE, A. L. D. S.; TAVARES, C. R. G. Fotodegradação de efluentes têxteis catalizada por ZnO e classificação do resíduo sólido gerado. **3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente**. Bento Gonçalves - RS: 8 p. 2012.

SALEM, V. **Tingimento têxtil: fibras, conceitos e tecnologias**. São Paulo: Blucher: Golden Tecnologia, 2010.

SALEM, V.; MARCHI, A. D.; MENEZES, F. G. D. **O beneficiamento têxtil na prática**. 1.ed. São Paulo, SP: Golden Química, 2005.

SANCHES, Regina Aparecida. **Procedimento para o Desenvolvimento de Tecidos de Malha a partir de Planejamento de Experimentos**. 2006. 230 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

SCHINDLER, W. D.; HAUSER, P. J. **Chemical finishing of textiles**. Washington, DC Woodhead Publishing Ltd, 2004.

SCHOENHALS, M.; PORTO, A. E. B. Tratamento de Efluentes, reúso de água e legislação aplicada em lavanderia têxtil industrial. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, Brasília, DF, v. 10, p. 060-080, 2013. Disponível em: < <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=956> >. Acesso em: 27 de Out. 2017.

TELLES, D. D. A.; COSTA, R. H. P. G. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. 2ª edição. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2010.

TENAN, L. G. T.; MIRANDA, J. M. S. D. Competitividade da cadeia de valor têxtil e de confecção brasileira. In: MONTENEGRO, E. I. (Ed.). **Globalização da economia têxtil e de confecção brasileira: empresários, governo e academia unidos pelo futuro do setor**. Rio de Janeiro: SENAI/CETIQT, 2007. cap. 5, p.332. (Série desafios para a competitividade: cadeia têxtil).

ZILLE, A.; OLIVEIRA, F. R.; SOUTO, A. P. **Plasma treatment in textile industry** 2014.



## ANEXO I

**DETERMINAÇÃO DE DQO POR MICRO MÉTODO (APHA, 1995)****Reagentes:**

a) Solução Oxidante: dissolver em 500 mL de água destilada 10,216 g de  $K_2Cr_2O_7$ , previamente seco à  $1030^\circ C$  por 2 h, 33,3 g de  $HgSO_4$  e adicionar 167 mL de  $H_2SO_4$  concentrado. Dissolver, esperar esfriar e após completar o volume de 1000 mL com água destilada.

b) Solução Catalítica: dissolver 10g de Sulfato de Prata ( $Ag_2SO_4$ ) em 1 litro de ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado.

c) Solução padrão: pesar 0,8509g de Biftalato de Potássio P.A. ( $C_8H_5KO_4$ ) seco em estufa à  $1000^\circ C$  por 2 horas e dissolver em água destilada, logo após completar o volume a 1000 mL. Esta solução corresponde a uma concentração de 1000 mg de  $O_2/L$ .

**Procedimento:**

Preparação da curva de calibração:

Preparar uma série de soluções padrões de 100 a 700 mg de  $O_2/L$  a partir da solução padrão de acordo com a Tabela 10. Conhecida a concentração de oxigênio a ser oxidado em cada amostra, seguir o procedimento de determinação de DQO (item seguinte) para cada solução e determinar a absorbância das mesmas e construir uma reta de calibração. O branco é preparado substituindo-se a amostra por água destilada.

**Tabela 10 - Série de soluções padrões de 100 a 700mg de  $O_2/L$  a partir da solução padrão.**

Volume da solução padrão a elevar a 100 mL	Concentração (mg de $O_2/L$ )
10	100
20	200
30	300
40	400
50	500
60	600
70	700

#### Determinação da DQO:

Colocar em tubos de oxidação 1,5 mL de solução oxidante; 2,5 mL da amostra (DQO menor que 600 mg de O<sub>2</sub>/L); 3,5 mL de solução catálise. Fechar e agitar. Colocar no reator (COD – REACTOR HACH) à 1500°C durante duas horas. Ler a absorvância a 620 nm após ligeiro resfriamento. Ler a curva de calibração e determinar a concentração de oxigênio necessário para oxidar a amostra.

Obs.: Se a amostra contiver íons cloreto, a leitura deve ser realizada a quente, pois os íons cloreto precipitam com a prata, a frio, interferindo na leitura.