



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

MARINA BARROS CAVALCANTI

**PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL POR PROCESSO OXIDATIVO  
AVANÇADO UTILIZANDO REATOR FOTOCATALÍTICO COM CONCENTRADOR  
PARABÓLICO COMPOSTO**

Recife  
2020

MARINA BARROS CAVALCANTI

**PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL POR PROCESSO OXIDATIVO  
AVANÇADO UTILIZANDO REATOR FOTOCATALÍTICO COM CONCENTRADOR  
PARABÓLICO COMPOSTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Área de concentração: Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Alves da Motta Sobrinho.

Coorientador: Prof. Dr. Jorge Vinícius Fernandes Lima Cavalcanti.

Recife

2020

Catálogo na fonte

Biblioteca Margareth Malta, CRB-4 / 1198

C376p

Cavalcanti, Marina Barros.

Pós-tratamento de efluente têxtil por processo oxidativo avançado utilizando reator fotocatalítico com concentrador parabólico composto / Marina Barros Cavalcanti - 2020.

134 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Alves da Motta Sobrinho.

Coorientador: Prof. Dr. Jorge Vinícius Fernandes Lima Cavalcanti.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2020.

Inclui Referências e Apêndices.

1. Engenharia Química. 2. Concentrador parabólico composto. 3. Efluente têxtil. 4. Foto-Fenton. 5. POA. I. Motta Sobrinho, Maurício Alves da (Orientador). II. Cavalcanti, Jorge Vinícius Fernandes Lima (Coorientador). III. Título.

UFPE

660.2 CDD (22. ed.)

BCTG/2020-118

MARINA BARROS CAVALCANTI

**PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL POR PROCESSO OXIDATIVO  
AVANÇADO UTILIZANDO REATOR FOTOCATALÍTICO COM CONCENTRADOR  
PARABÓLICO COMPOSTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Aprovada em: 20 / 02 / 2020 .

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Maurício Alves da Motta Sobrinho (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Jorge Vinícius Fernandes Lima Cavalcanti (Coorientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Profa. Dr<sup>a</sup>. Daniella Carla Napoleão (Examinadora Interna)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Profa. Dr<sup>a</sup>. Eliane Bezerra Cavalcanti (Examinadora Externa)  
Universidade Tiradentes

---

Prof. Dr. Douglas do Nascimento Silva (Examinador Externo)  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ser luz e estar presente em todos os momentos da minha vida. Aos meus pais, Magaly Barros e Fábio Uchôa, e aos meus avós, Greyse Barros e Heronides Barros, por todo amor, esforço e apoio concedidos ao longo da minha vida. Às minhas irmãs, Milena, Bianca e Lorena por todos os momentos que passamos juntas e pelo nosso companheirismo. Ao meu namorado, Ricardo Luckow, por todo amor, carinho, apoio, conforto, companheirismo, incentivo; por toda alegria, motivação, amizade, dedicação e inúmeras virtudes que me proporcionaram forças nesse ano atípico, também por ter me auxiliado na realização deste trabalho. À minha terapeuta, Mirian, por todo apoio psicológico e conselhos incríveis que me fortaleceram durante o ano. Ao meu orientador, Prof. Dr. Maurício Motta, e ao meu coorientador, Prof. Dr. Jorge Cavalcanti, por todo ensinamento, paciência, apoio, orientação e momentos de descontração no desenvolvimento desse trabalho. Aos Prof. Dr. José Geraldo e Prof. Dr. Luciano Almeida, pela orientação, ensinamento e fornecimento do concentrador parabólico composto. Às minhas amigas e companheiras do Laboratório de Tratamento de Efluentes, Maryne Patrícia, Ziani Santana e Caroline Maria, e ao Grupo de Processos e Tecnologias Ambientais (GPTA), por terem me auxiliado direta e indiretamente na realização deste trabalho. Aos meus amigos do mestrado, Chesque Cavassano e Alan Gomes, por terem auxiliado no trabalho, pelo apoio e amizade que me fortaleceram nessa jornada. Ao programa de pós-graduação em Engenharia Química - PPGEQ da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE pela oportunidade na realização de mais uma etapa da minha formação profissional. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio financeiro. E a todos que estiveram envolvidos e colaboraram para a realização de mais essa etapa.

## RESUMO

No processo produtivo das indústrias têxteis as etapas de lavagem e tingimento dos tecidos consomem bastante água e geram efluentes com grande variedade na sua composição, complexidade química e de difícil degradação, os quais apresentam resistência aos tratamentos convencionais. Os processos oxidativos avançados (POA) se destacam devido a sua capacidade de degradar esses compostos recalcitrantes com eficácia. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo promover o pós-tratamento do efluente têxtil da lavanderia situada em Caruaru-PE através do POA foto-Fenton/UV-A em um reator fotocatalítico com concentrador parabólico composto (CPC), constituído por tubulações de lâmpadas fluorescentes reutilizadas e bomba peristáltica, o sistema foi operando em batelada e com recirculação. Inicialmente caracterizou-se a água utilizada na indústria e três tipos de efluentes coletados em diferentes etapas da estação de tratamento de efluentes (ETE) da lavanderia, denominados efluentes bruto, de descarte e de reuso; apresentando a cor aparente igual a 7 uH, 578 uH, 310 uH e 200 uH, respectivamente, a turbidez igual a 3,83 NTU, 258,0 NTU, 90,8 NTU e 46,9 NTU, respectivamente; e demanda química de oxigênio (DQO) igual a 42,5 mg.L<sup>-1</sup>, 1.151,6 mg.L<sup>-1</sup>, 623,0 mg.L<sup>-1</sup> e 378,4 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente. Fez-se um estudo para o tratamento dos efluentes a partir do planejamento fatorial 2<sup>2</sup> completo com ponto central para determinar as melhores [Fe<sup>2+</sup>] e [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] na reação no POA foto-Fenton utilizando radiação UV-A e obteve-se a melhor redução de cor, turbidez e DQO nos maiores níveis de estudo, que foram eles: [Fe<sup>2+</sup>] igual a 15 mg.L<sup>-1</sup> e [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] igual a 0,144 mol.L<sup>-1</sup>, 0,078 mol.L<sup>-1</sup> e 0,047 mol.L<sup>-1</sup> para os efluentes bruto, de descarte e de reuso, respectivamente. A partir dessa etapa foi estudado apenas o efluente de descarte, já que se teve como intuito tratar o efluente de descarte para aumentar a porcentagem de reuso de água na lavanderia. Em seguida, fez-se o teste de toxicidade utilizando sementes de alface e se observou que o efluente tratado não apresentou efeito de toxicidade, uma vez que o valor do índice de crescimento relativo (ICR) ficou entre 0,8 e 1,2. Também foi realizado um estudo para determinar a melhor vazão de operação do sistema proposto, notando-se que as reduções de turbidez, cor e DQO ocorreram na maior vazão (0,84 L.min<sup>-1</sup>) analisada, as quais foram de 61%, 45% e 70%. Por fim, foi realizado o pós-tratamento do efluente de descarte no reator fotocatalítico nas melhores condições determinadas,

com pH entre 3 e 4, a temperatura e pressão constantes, por um período de 8h, comparando-se os resultados com os valores iniciais do efluente bruto, obtiveram-se como respostas a redução da turbidez, da cor e da DQO iguais a 93%, 77% e 91%, respectivamente, podendo-se afirmar que a degradação do efluente têxtil melhorou consideravelmente em relação ao tratamento da lavanderia, apresentando uma proposta viável para o aumento da porcentagem de água reutilizada na lavanderia, afim de diminuir custos e contribuir para a sustentabilidade da região.

Palavras-chave: Concentrador parabólico composto. Efluente têxtil. Foto-Fenton. POA.

## ABSTRACT

In the production process of the textile industries, the washing and dyeing stages of the industry consume a lot of water and generate effluents with a great variety in their composition, chemical complexity and difficult degradation, which are resistant to conventional treatments. Advanced oxidative processes (AOP) stand out due to their ability to effectively degrade these recalcitrant compounds. Thus, the present work aimed to promote the post-treatment of the textile effluent from the laundry located in Caruaru-PE through the AOP photo-Fenton/UV-A in a photocatalytic reactor with compound parabolic concentrator (CPC), consisting of reused fluorescent lamps and peristaltic pump, the system was operated in batch and with recirculation. Initially, it was characterized the water used in the industry and three types of effluents collected in different stages of the laundry effluent treatment station (ETS), called raw, waste and reuse effluents; showing the apparent color equal to 7 uH, 578 uH, 310 uH and 200 uH, respectively, the turbidity equal to 3.83 NTU, 258.0 NTU, 90.8 NTU and 46.9 NTU, respectively; and chemical demand for oxygen (COD) equal to 42.5 mg.L<sup>-1</sup>, 1,151.6 mg.L<sup>-1</sup>, 623.0 mg.L<sup>-1</sup> and 378.4 mg.L<sup>-1</sup>, respectively. A study was carried out for the treatment of effluents from the 2<sup>2</sup> factorial design complete with central point to determine the best [Fe<sup>2+</sup>] and [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] in the reaction in the photo-Fenton AOP using UV-A radiation and the best reduction was obtained of color, turbidity and COD in the highest study levels, which were: [Fe<sup>2+</sup>] equal to 15 mg.L<sup>-1</sup> and [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] equal to 0.144 mol.L<sup>-1</sup>, 0.078 mol.L<sup>-1</sup> and 0.047 mol.L<sup>-1</sup> for raw, waste and reuse effluents, respectively. From this stage, only the wastewater was studied, since it was intended to treat the wastewater to increase the percentage of water reuse in the laundry. Then, the toxicity test was performed using lettuce seeds and it was observed that the treated effluent had no toxicity effect, since the value of the relative growth index (RGI) was between 0.8 and 1.2. A study was also carried out to determine the best operating flow of the proposed system, noting that the reductions in turbidity, color and COD occurred in the highest flow (0.84 L.min<sup>-1</sup>) analyzed, which were 61%, 45% and 70%. Finally, the post-treatment of the discharge effluent in the photocatalytic reactor was carried out under the best conditions determined, with pH between 3 and 4, at constant temperature and pressure, for a period of 8 hours, comparing the results with the initial values of the responses to the reduction of turbidity, color and COD equal to 93%, 77% and 91%, respectively, can be said presenting a viable proposal for increasing the

percentage of water reused in the laundry, in order to reduce costs and contribute to the sustainability of the region.

Keywords: Composite parabolic concentrator. Textile effluent. photo-Fenton. AOP.

## LISTA DE FIGURAS

|             |                                                                                                        |    |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 –  | Esquema da <i>L. sativa</i> .....                                                                      | 33 |
| Figura 2 –  | Espectro eletromagnético .....                                                                         | 35 |
| Figura 3 –  | Absorbância no $\lambda$ de 602 nm com o tempo em minutos na eletrólise do corante azul ácido 29 ..... | 36 |
| Figura 4 –  | Representação do CPC e suas diversas formas de captação de radiação .....                              | 37 |
| Figura 5 –  | Fluxograma da metodologia realizada no trabalho .....                                                  | 39 |
| Figura 6 –  | Tanque de coagulação/floculação da lavanderia situada em Caruaru-PE .....                              | 40 |
| Figura 7 –  | Fluxograma do tratamento realizado pela lavanderia e os três tipos de efluentes analisados .....       | 41 |
| Figura 8 –  | Representação do sistema de tubulação com lâmpadas fluorescentes .....                                 | 54 |
| Figura 9 –  | Sistema de tubulação com lâmpadas fluorescentes, bomba peristáltica e tanque de armazenamento .....    | 54 |
| Figura 10 – | Parte externa do reator fotocatalítico .....                                                           | 55 |
| Figura 11 – | Aspecto geométrico do concentrador parabólico composto e seus parâmetros .....                         | 57 |
| Figura 12 – | Aspecto geométrico do concentrador parabólico composto truncado .....                                  | 58 |
| Figura 13 – | Razão altura/abertura para CPC truncado em função de $C$ e $\theta_c$ .....                            | 59 |
| Figura 14 – | Sistema de tubulação com CPCs .....                                                                    | 60 |
| Figura 15 – | Curva analítica para análise de DQO .....                                                              | 61 |
| Figura 16 – | Espectro de absorção no espectro UV-Vis da água e dos efluentes bruto, de descarte e de reuso .....    | 66 |
| Figura 17 – | Diagrama de Pareto referente à redução da turbidez em porcentagem do efluente bruto .....              | 68 |
| Figura 18 – | Diagrama de Pareto referente à redução da cor em porcentagem do efluente bruto .....                   | 69 |

|             |                                                                                                        |    |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 19 – | Diagrama de Pareto referente à redução da DQO em porcentagem do efluente bruto .....                   | 70 |
| Figura 20 – | Superfície de resposta referente à redução da cor em porcentagem do efluente bruto .....               | 71 |
| Figura 21 – | Espectro de absorção molecular para cada ensaio do planejamento fatorial do efluente bruto .....       | 72 |
| Figura 22 – | Diagrama de Pareto referente à redução da turbidez em porcentagem do efluente de descarte .....        | 74 |
| Figura 23 – | Diagrama de Pareto referente à redução da cor em porcentagem do efluente de descarte .....             | 75 |
| Figura 24 – | Diagrama de Pareto referente à redução da DQO em porcentagem do efluente de descarte .....             | 76 |
| Figura 25 – | Superfície de resposta referente à redução da turbidez em porcentagem do efluente de descarte .....    | 77 |
| Figura 26 – | Superfície de resposta referente à redução da DQO em porcentagem do efluente de descarte .....         | 77 |
| Figura 27 – | Espectro de absorção molecular para cada ensaio do planejamento fatorial do efluente de descarte ..... | 78 |
| Figura 28 – | Diagrama de Pareto referente à redução da turbidez em porcentagem do efluente de reuso .....           | 80 |
| Figura 29 – | Diagrama de Pareto referente à redução da cor em porcentagem do efluente de reuso .....                | 80 |
| Figura 30 – | Diagrama de Pareto referente à redução da DQO em porcentagem do efluente de reuso .....                | 81 |
| Figura 31 – | Superfície de resposta referente à redução da turbidez em porcentagem do efluente de reuso .....       | 82 |
| Figura 32 – | Superfície de resposta referente à redução da cor em porcentagem do efluente de reuso .....            | 82 |
| Figura 33 – | Superfície de resposta referente à redução da DQO em porcentagem do efluente de reuso .....            | 83 |
| Figura 34 – | Espectro de absorção molecular para cada ensaio do planejamento fatorial do efluente de reuso .....    | 84 |
| Figura 35 – | Gráfico do índice de germinação <i>versus</i> amostras analisadas                                      | 89 |

|             |                                                                                                                                                                     |     |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 36 – | Curva analítica da bomba peristáltica, vazão em $\text{L.min}^{-1}$ versus velocidade de rotação em rpm .....                                                       | 91  |
| Figura 37 – | Espectro de absorção UV-Vis, na vazão $0,48 \text{ L.min}^{-1}$ , antes e após a reação no reator fotocatalítico a cada hora .....                                  | 94  |
| Figura 38 – | Espectro de absorção UV-Vis, na vazão $0,72 \text{ L.min}^{-1}$ , antes e após a reação no reator fotocatalítico a cada hora .....                                  | 95  |
| Figura 39 – | Espectro de absorção UV-Vis, na vazão $0,84 \text{ L.min}^{-1}$ , antes e após a reação no reator fotocatalítico a cada hora .....                                  | 99  |
| Figura 40 – | Espectro de absorção UV-Vis antes e após a reação no reator fotocatalítico com concentrador parabólico composto a cada hora, nas melhores condições estudadas ..... | 100 |

## LISTA DE TABELAS

|             |                                                                                                                      |    |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 –  | Exemplos de tratamentos utilizados para efluentes têxteis .....                                                      | 31 |
| Tabela 2 –  | Parâmetros analisados na caracterização dos efluentes e referências dos seus métodos de avaliação .....              | 43 |
| Tabela 3 –  | Diluições das soluções padrões da DQO .....                                                                          | 44 |
| Tabela 4 –  | Parâmetros para análise da DBO pelo método respirométrico <i>OxiTop</i> .....                                        | 46 |
| Tabela 5 –  | Volume de amostra a ser utilizada na determinação da série de sólidos de acordo com sua condutividade elétrica ..... | 47 |
| Tabela 6 –  | Fatores e concentrações para cada nível do planejamento fatorial do processo de degradação do efluente têxtil .....  | 49 |
| Tabela 7 –  | Matriz planejamento do POA foto-Fenton .....                                                                         | 50 |
| Tabela 8 –  | Valores dos parâmetros analisados na caracterização dos efluentes .....                                              | 62 |
| Tabela 9 –  | Resultado das massas, em grama, do ensaio de série de sólidos .....                                                  | 63 |
| Tabela 10 – | Resultados da série de sólidos em mg.L <sup>-1</sup> .....                                                           | 64 |
| Tabela 11 – | Resultado de sólidos sedimentáveis por litro de amostra                                                              | 64 |
| Tabela 12 – | Valores dos parâmetros analisados na caracterização da água de lavagem .....                                         | 67 |
| Tabela 13 – | Variáveis de resposta: redução de cor, turbidez e DQO do efluente bruto .....                                        | 68 |
| Tabela 14 – | Variáveis de resposta: redução de cor, turbidez e DQO do efluente de descarte .....                                  | 73 |
| Tabela 15 – | Variáveis de resposta: redução de cor, turbidez e DQO do efluente de reuso .....                                     | 79 |
| Tabela 16 – | Índices de germinação em porcentagem dos controles negativos e positivos do teste de toxicidade .....                | 86 |

|             |                                                                                                                                                                                 |     |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 17 – | Comprimento das radículas no controle negativo em centímetro para análises em duplicata .....                                                                                   | 86  |
| Tabela 18 – | Comprimento da radícula das amostras (CRA) em centímetro para análises em duplicata .....                                                                                       | 87  |
| Tabela 19 – | Valores do CRA e ICR para as sementes testadas nos ensaios de toxicidade, com seus respectivos desvios padrão .....                                                             | 88  |
| Tabela 20 – | Valores do SGA e IG para as sementes testadas nos ensaios de toxicidade .....                                                                                                   | 88  |
| Tabela 21 – | Valores da vazão para diferentes velocidades de rotação da bomba peristáltica, necessários para elaboração da curva analítica .....                                             | 90  |
| Tabela 22 – | Reduções em porcentagem da cor, da turbidez e da DQO com o tempo, na vazão 0,48 L.min <sup>-1</sup> .....                                                                       | 92  |
| Tabela 23 – | Reduções em porcentagem da cor, da turbidez e da DQO com o tempo, na vazão 0,72 L.min <sup>-1</sup> .....                                                                       | 92  |
| Tabela 24 – | Reduções em porcentagem da cor, da turbidez e da DQO com o tempo, na vazão 0,84 L.min <sup>-1</sup> .....                                                                       | 93  |
| Tabela 25 – | Valores da turbidez, da cor e da DQO com o tempo, nas melhores condições estudadas, utilizando reator fotocatalítico com concentrador parabólico composto ....                  | 97  |
| Tabela 26 – | Reduções em porcentagem da turbidez, da cor e da DQO com o tempo, nas melhores condições estudadas, utilizando reator fotocatalítico com concentrador parabólico composto ..... | 98  |
| Tabela 27 – | Variáveis de resposta da água de lavagem, do efluente de reuso, do efluente bruto e do efluente de descarte tratado .....                                                       | 101 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                  |                                                               |
|------------------|---------------------------------------------------------------|
| ABNT             | Associação Brasileira de Normas Técnicas                      |
| CNPq             | Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico |
| CONAMA           | Conselho Nacional de Meio Ambiente                            |
| CPC              | Concentrador Parabólico Composto                              |
| CPRH             | Agência Estadual de Meio Ambiente                             |
| CRA              | Comprimento da Radícula na Amostra                            |
| CRC              | Comprimento da Radícula no Controle Negativo                  |
| DBO              | Demanda bioquímica de oxigênio                                |
| DQO              | Demanda química de oxigênio                                   |
| ed.              | edição                                                        |
| <i>et al.</i>    | e outros                                                      |
| ETE              | Estação de tratamento de efluentes                            |
| GPTA             | Grupo de Processos e Tecnologias Ambientais                   |
| ICR              | Índice de Crescimento Relativo                                |
| IG               | Índice de Germinação                                          |
| <i>L. sativa</i> | <i>Lactuca sativa</i> L                                       |
| NBR              | Norma Brasileira                                              |
| NTH 600          | Inibidor de Nitrificação                                      |
| NTU              | Nephelometric Turbidity Units                                 |
| PE               | Pernambuco                                                    |
| pH               | Potencial de hidrogênio                                       |
| P+L              | Produção Mais Limpa                                           |
| PNRS             | Política nacional de resíduos sólidos                         |
| POA              | Processos oxidativos avançados                                |
| PPGEQ            | Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química               |
| R <sup>2</sup>   | Coeficiente de regressão linear                               |
| SDF              | Sólidos dissolvidos fixos                                     |
| SDT              | Sólidos dissolvidos totais                                    |
| SDV              | Sólidos dissolvidos voláteis                                  |
| SGA              | Número de sementes germinadas na amostra                      |

|       |                                                                     |
|-------|---------------------------------------------------------------------|
| SGC   | Número de sementes                                                  |
| SMEWW | <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> |
| SS    | Sólidos sedimentáveis                                               |
| SSF   | Sólidos suspensos fixos                                             |
| SST   | Sólidos suspensos totais                                            |
| SSV   | Sólidos suspensos voláteis                                          |
| ST    | Sólidos totais                                                      |
| STF   | Sólidos totais fixos                                                |
| STV   | Sólidos totais voláteis                                             |
| uA    | Unidade de Absorbância                                              |
| UFPE  | Universidade Federal de Pernambuco                                  |
| uH    | Unidade de Hazen                                                    |
| UV    | Radiação ultravioleta                                               |
| UV-A  | Radiação ultravioleta extremo ou de vácuo                           |
| UV-C  | Radiação ultravioleta próximo                                       |
| Vis   | Luz visível                                                         |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|            |                                                                    |
|------------|--------------------------------------------------------------------|
| $A$        | Área de abertura do concentrador                                   |
| $A'$       | Área de saída do concentrador                                      |
| $a$        | Comprimento de abertura de entrada                                 |
| $a'$       | Comprimento de abertura de saída                                   |
| $C$        | Concentração                                                       |
| $C_{geom}$ | Concentração geométrica                                            |
| $C_f$      | Concentração final                                                 |
| $C_i$      | Concentração inicial                                               |
| $d$        | Densidade                                                          |
| $h$        | Comprimento da altura do concentrador parabólico composto          |
| $h_t$      | Comprimento da altura do concentrador parabólico composto truncado |
| $l$        | Comprimento da largura do dispositivo                              |
| $P_0$      | Peso 0                                                             |
| $P_1$      | Peso 1                                                             |
| $P_2$      | Peso 2                                                             |
| $V_f$      | Volume final                                                       |
| $V_i$      | Volume inicial                                                     |
| $\lambda$  | Comprimento de onda                                                |
| $\sigma$   | Desvio padrão                                                      |
| $\theta_c$ | Ângulo de aceitação                                                |

## SUMÁRIO

|              |                                                                                              |           |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                                      | <b>19</b> |
| <b>2</b>     | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>                                                           | <b>22</b> |
| 2.1          | INDÚSTRIAS TÊXTEIS .....                                                                     | 22        |
| <b>2.1.1</b> | <b>Efluentes têxteis .....</b>                                                               | <b>23</b> |
| <b>2.1.2</b> | <b>Corantes têxteis .....</b>                                                                | <b>23</b> |
| 2.2          | LEGISLAÇÃO AMBIENTAL DE TRATAMENTO DE EFLUENTES .....                                        | 25        |
| 2.3          | ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES .....                                                     | 26        |
| <b>2.3.1</b> | <b>Tratamento de efluente têxtil .....</b>                                                   | <b>27</b> |
| 2.4          | PRODUÇÃO MAIS LIMPA .....                                                                    | 28        |
| 2.5          | PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS .....                                                         | 29        |
| 2.6          | PROCESSOS BASEADOS NA REAÇÃO FENTON .....                                                    | 30        |
| <b>2.6.1</b> | <b>Tratamento de corantes têxteis pelo processo oxidativo avançado<br/>foto-Fenton .....</b> | <b>31</b> |
| 2.7          | PLANEJAMENTO FATORIAL .....                                                                  | 32        |
| 2.8          | TESTE DE TOXICIDADE UTILIZANDO SEMENTES DE ALFACE .....                                      | 33        |
| 2.9          | REATOR FOTOCATALÍTICO DO TIPO CONCENTRADOR<br>PARABÓLICO COMPOSTO .....                      | 34        |
| <b>2.9.1</b> | <b>Radiações .....</b>                                                                       | <b>34</b> |
| <b>2.9.2</b> | <b>Tubulação de lâmpadas fluorescentes reutilizadas .....</b>                                | <b>36</b> |
| <b>2.9.3</b> | <b>Concentrador parabólico composto .....</b>                                                | <b>37</b> |
| <b>3</b>     | <b>METODOLOGIA .....</b>                                                                     | <b>39</b> |
| 3.1          | PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE NA LAVANDERIA .....                                       | 40        |
| 3.2          | EFLUENTES DE ESTUDO .....                                                                    | 40        |
| 3.3          | CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES .....                                                           | 42        |
| <b>3.3.1</b> | <b>Demanda Química de Oxigênio .....</b>                                                     | <b>43</b> |
| <b>3.3.2</b> | <b>Demanda Bioquímica de Oxigênio .....</b>                                                  | <b>45</b> |
| <b>3.3.3</b> | <b>Série de sólidos .....</b>                                                                | <b>46</b> |
| 3.4          | PLANEJAMENTO FATORIAL DO PROCESSO OXIDATIVO<br>AVANÇADO FOTO-FENTON .....                    | 49        |
| <b>3.4.1</b> | <b>Teste de toxicidade com sementes de alface .....</b>                                      | <b>52</b> |
| 3.5          | REATOR FOTOCATALÍTICO .....                                                                  | 53        |

|          |                                                                                                                               |            |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.6      | ESTUDO DA VAZÃO .....                                                                                                         | 55         |
| 3.7      | REATOR FOTOCATALÍTICO COM CONCENTRADOR PARABÓLICO<br>COMPOSTO .....                                                           | 56         |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                                                                           | <b>61</b>  |
| 4.1      | CURVA ANALÍTICA DE DQO .....                                                                                                  | 61         |
| 4.2      | CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES .....                                                                                            | 62         |
| 4.3      | PLANEJAMENTO FATORIAL DO PROCESSO OXIDATIVO<br>AVANÇADO FOTO-FENTON .....                                                     | 67         |
| 4.4      | TESTE DE TOXICIDADE .....                                                                                                     | 85         |
| 4.5      | DETERMINAÇÃO DA MELHOR VAZÃO NO REATOR<br>FOTOCATALÍTICO POR MEIO DE UM PLANEJAMENTO SIMPLES .....                            | 90         |
| 4.6      | PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO FOTO-FENTON/UV-A NO<br>REATOR FOTOCATALÍTICO UTILIZANDO CONCENTRADOR<br>PARABÓLICO COMPOSTO ..... | 96         |
| <b>5</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                                                                                             | <b>102</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                                                                      | <b>104</b> |
|          | <b>APÊNDICE A – PLANEJAMENTO FATORIAL .....</b>                                                                               | <b>110</b> |
|          | <b>APÊNDICE B – ESPECTRO DE ABSORÇÃO NO PLANEJAMENTO<br/>FATORIAL .....</b>                                                   | <b>114</b> |
|          | <b>APÊNDICE C – PARÂMETROS ANALISADOS NO REATOR<br/>FOTOCATALÍTICO .....</b>                                                  | <b>122</b> |
|          | <b>APÊNDICE D – ESPECTRO DE ABSORÇÃO NO REATOR<br/>FOTOCATALÍTICO .....</b>                                                   | <b>124</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, a demanda por água tem aumentado de forma significativa, em razão do crescimento populacional, do desenvolvimento econômico e das mudanças nos padrões de consumo. Em paralelo, mudanças climáticas intensas contribuem para provocar situações extremas do ciclo hidrológico, como inundações e secas. É estimado atualmente que há cerca de 1,8 bilhões de pessoas afetadas pela degradação e/ou pela desertificação e pelas secas, residentes principalmente em países com economias emergentes (WWAP, 2018).

Apesar do Brasil apresentar vantagem quanto à disponibilidade de água, a poluição hídrica está cada vez maior e não há uma distribuição igualitária de água em todo território. A represa de Jucazinho abastece a cidade de Santa Cruz do Capibaribe e Caruaru, em Pernambuco, entrou em exaustão, está atualmente com cerca de 5% da sua capacidade. Dessa forma, são necessários aprimoramento e/ou desenvolvimento de tecnologias para o tratamento de efluentes gerados, infraestrutura hídrica adequada para seu aproveitamento e conservação e gestão eficiente do uso da água (ANA, 2019).

O Nordeste brasileiro é uma região de clima semiárido, caracterizado por temperaturas elevadas durante o ano todo, chuvas irregulares e ocorrência prolongada de estiagem. Em Caruaru, município localizado a aproximadamente 135 km do Recife, capital de Pernambuco (PE), há um quantitativo relevante de lavanderias, as quais fazem parte das indústrias de confecção e têxtil, uma das principais atividades produtivas do agreste pernambucano. Esse seguimento está entre as atividades industriais mais impactantes na área ambiental devido ao elevado volume de efluente utilizado e aos resíduos gerados (SILVA *et al.*, 2012).

O setor de produção têxtil necessita de grandes volumes de água nas etapas de lavagem e tingimento dos tecidos, além de produzirem efluentes com grande variedade e complexidade química. Os principais constituintes desses efluentes são corantes e compostos recalcitrantes, substâncias de difícil degradação, os quais apresentam resistência aos tratamentos convencionais. Dessa forma, observa-se a importância de atender às regiões com déficits de acesso à água e risco aos setores produtivos, como ocorre no município de Caruaru (PIZATO *et al.*, 2016).

Estudos na área de tratamento de águas residuárias industriais apontam que técnicas fotoquímicas na degradação oxidativa de compostos orgânicos em meio aquoso pelo radical hidroxila, conhecidas como processos oxidativos avançados (POA), são promissoras. Esse método utiliza fortes agentes oxidantes para a degradação de compostos orgânicos na presença de radiação, onde os contaminantes são mineralizados e não apenas transferidos de uma fase para outra, como ocorre nos tratamentos convencionais. Dentre os vários processos oxidativos avançados existentes, destaca-se o POA foto-Fenton, o qual consiste na geração de radicais hidroxilas a partir da decomposição do peróxido de hidrogênio em meio ácido, utilizando íons ferrosos como catalisador, na presença radiação ultravioleta (UV) e visível (Vis). Ademais, em algumas regiões do Brasil há grande vantagem de utilizar energia solar como fonte de fótons em reações químicas, como é o caso de Caruaru-PE, pois há bastante disponibilidade e é uma fonte de energia ambientalmente limpa, gratuita e renovável (DIAS *et al.*, 2018).

Para aumentar a concentração de energia, os sistemas de coletores solares são boas opções, como o Concentrador Parabólico Composto (CPC), uma vez que fazem o uso da radiação solar nas formas direta e difusa. Os CPCs possuem uma superfície refletora que concentra a radiação em um receptor tubular localizado no foco da parábola (SPASIANO *et al.*, 2015).

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo geral realizar o pós-tratamento do efluente têxtil da lavanderia situada em Caruaru-PE pelo processo oxidativo avançado (POA) foto-Fenton/UV-A utilizando um reator fotocatalítico do tipo CPC. Além disso, a pesquisa teve como objetivos específicos:

- Caracterizar efluentes dos três estágios do pré-tratamento (bruto, de descarte e de reuso): pH, cor, condutividade, turbidez, absorbância, demanda química de oxigênio - DQO, demanda bioquímica de oxigênio – DBO e série de sólidos;
- Avaliar a água utilizada no processo de lavagem e tingimento da lavanderia através dos parâmetros: cor, turbidez, DQO e absorção no espectro UV-Vis;
- Realizar um estudo preliminar dos três estágios estudados por meio do planejamento fatorial  $2^2$  em duplicata e com pontos centrais em triplicata pelo POA foto-Fenton/UV-A, variando-se as concentrações de íons ferro II ( $[Fe^{2+}]$ ) e de peróxido de hidrogênio ( $[H_2O_2]$ ), obtendo-se como variáveis de resposta as reduções de cor, turbidez, DQO e absorção molecular no espectro UV-Vis;

- Realizar um teste de toxicidade com sementes de alface, na melhor condição de operação antes e após o tratamento do efluente de descarte;
- Avaliar a melhor vazão volumétrica de alimentação no reator fotocatalítico, sem a utilização do CPC, na melhor condição de operação do pós-tratamento do efluente de descarte;
- Realizar o pós-tratamento do efluente de descarte nas melhores condições de operação no reator fotocatalítico utilizando CPC, avaliando as reduções de cor, turbidez, DQO e absorção molecular no espectro UV-Vis com o tempo;

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esse tópico aborda uma visão geral das indústrias têxteis, as características dos efluentes gerados, assim como os corantes empregados. Também são abordadas as principais legislações ambientais aplicadas ao lançamento do efluente em corpos hídricos, bem como a aplicação da produção mais limpa (P+L) nessas indústrias. Em seguida, são apresentados os processos aplicados ao tratamento dos efluentes têxteis, com ênfase no POA foto-Fenton, sendo utilizado como método de avaliação estudos estatísticos e teste de toxicidade utilizando sementes de alface. Por fim, aborda sobre reator fotocatalítico com CPC, discutindo sucintamente sobre as radiações, tubulações e bombas utilizadas.

### 2.1 INDÚSTRIAS TÊXTEIS

A manufatura de produtos têxteis é uma das tecnologias mais antiga do ser humano, por ser uma necessidade de vestuário e usos utilitários variados. Posteriormente, a vestimenta se tornou um produto de caráter social, cultural e estético e, conseqüentemente, a tecnologia têxtil resultou-se em um fator estratégico para o desenvolvimento econômico. No Brasil, há grande importância na economia, visto que é um potencial gerador de empregos, produz grandes artefatos têxteis e apresenta crescentes exportações (FUJITA; JORENTE, 2015).

Indústrias têxteis constituem uma rede de segmentos produtivos independentes, tais como o beneficiamento das fibras naturais, a fiação de fibras naturais, artificiais e sintéticas, tecelagem e malharia. Dentre eles, têm-se as lavanderias de jeans, que muitas vezes transformam peças de tecidos sem coloração em diversos acabamentos, utilizando, para isso, produtos químicos variados (LIMA *et al.*, 2016).

Além disso, de acordo com a Federação das Indústrias do Estado de Pernambuco, estima-se que existiam no ano de 2014 cerca de 18.803 empresas de pequeno e médio porte no setor têxtil de Pernambuco. O grande destaque da economia do agreste é o Polo de Confecção, que engloba 19 municípios, destacando ainda os principais responsáveis pelo PIB os municípios de Caruaru, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe (FIEPE, 2014).

### **2.1.1 Efluentes têxteis**

O efluente têxtil varia de acordo com o processo produtivo, a matéria-prima utilizada e os produtos químicos adicionados. Esses efluentes são caracterizados por apresentarem corantes, surfactantes e aditivos, os quais atribuem um elevado potencial poluidor. Dentre os diversos compostos químicos utilizados, os corantes ocupam posição de destaque, visto que é a principal substância utilizada no processo produtivo e uma elevada quantidade não é fixada no tecido durante o banho de tingimento, sendo eliminada no efluente (SILVA *et al.*, 2018).

O acúmulo dessas substâncias coloridas nos corpos hídricos faz com que as algas consumam a matéria orgânica e se desenvolvam, aumentando a quantidade dos seres decompositores, como as bactérias aeróbicas. A camada que se forma sobre a água impede a fotossíntese e a oxigenação, fazendo com que os peixes morram e as bactérias aumentem. A água fica, deste modo, contaminada e a sua utilização e consumo provocam doenças. Além disso, estudos têm mostrado que algumas classes de corantes podem ser cancerígenas e/ou mutagênicas. Portanto, o conhecimento dessas particularidades é essencial para a definição do processo a ser utilizado no tratamento do efluente gerado e para que sejam atendidos os limites estabelecidos pelas legislações ambientais de lançamentos em corpos hídricos (SOUZA *et al.*, 2016).

Outro problema desse efluente é que no processo produtivo do setor têxtil e de confecções requer o consumo de bastante água. A lavagem de um quilograma de tecido consome aproximadamente de cinquenta a cem litros de água, conseqüentemente geram grandes volumes de efluentes, os quais, quando não tratados corretamente, podem causar sérios problemas de contaminação ambiental (LIMA *et al.*, 2016).

### **2.1.2 Corantes têxteis**

O corante têxtil é uma substância química que confere cor no processo de tingimento de substratos têxteis. Sua molécula é dividida em duas partes principais, a primeira consiste em um grupo cromóforo e a outra consiste em uma estrutura responsável pela fixação do corante à fibra, através de grupo funcional ácido, básico,

de enxofre, direto ou reativo, sendo esse último o mais utilizado nas indústrias têxteis (KUNZ *et al.*, 2002).

A fixação da molécula do corante à fibra têxtil geralmente ocorre em solução aquosa e envolvem as seguintes interações: ligações iônicas, de hidrogênio, de *Van der Waals* e covalentes. O grupo cromóforo mais utilizado nas indústrias têxteis pertence à família dos azocorantes, que se caracterizam por apresentarem um ou mais grupamentos azo ( $-N=N-$ ) ligados a sistemas aromáticos. Além de conferir cor ao tecido, os corantes são empregados para serem resistentes a fatores externos, como radiação ultravioleta (UV) e solubilidade na água. Por esses motivos, a degradação desses compostos orgânicos é um grande desafio (GUARATINI; ZANONI, 2000).

A maioria dos corantes têxteis comercializados são sintéticos e existe uma grande variedade, visto que cada tipo de fibra do tecido a ser tingido requer corantes com características apropriadas e precisas. Dessa forma, eles podem ser classificados de acordo com o método de aplicação às fibras. Por exemplo, a classe de corantes reativos está relacionada com os substratos algodão, lã, seda e poliamida, e o método de aplicação está associado aos sítios reativos do corante que reagem com os grupos funcionais da fibra através de ligações covalentes sob influência do calor e do pH. A classe de corantes diretos está relacionada com os substratos algodão, viscose, seda e poliamida, e o método de aplicação está associado ao tingimento por adsorção via interações de van der Waals em banhos neutros ou ligeiramente alcalinos contendo eletrólitos adicionais ou mordentes, já a classe dos corantes azoicos está relacionada com os substratos algodão viscose, acetato de celulose e poliéster, e o método de aplicação está associado aos corantes insolúveis em água formados sobre os poros da fibra entre um agente de acoplamento solúvel com afinidade pela fibra e um sal de diazônio também solúvel; e a classe dos corantes catiônicos está relacionada com os substratos algodão, lã, seda, couro e fibras acrílicas, as quais apresentam pouca afinidade com fibras celulósicas, e o método de aplicação está associado à fixação do corante à fibra que acontece através dos sítios catiônicos (positivos) do corante com os sítios aniônicos (negativos) da fibra via interação iônica, interação de van der Waals ou pontes de hidrogênio, o tingimento ocorre empregando usualmente ácido acético que colabora para fixação do corante à fibra e solubilidade em água (GRCIC *et al.*, 2014; ZANONI; YAMANAKA, 2016).

## 2.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Para o exercício de atividades industriais é necessário ter o conhecimento e a aplicação de normas regulamentadoras. Em relação à legislação de tratamento de efluentes, há regulamentação nas três esferas: nacional, estadual e municipal (MARQUES, 2017).

Na esfera nacional, a matéria normativa referente aos recursos hídricos está disposta no Art. 22, inciso IV, da Constituição Federal de 1988, onde diz que compete privativamente à União legislar sobre a água. A partir desse dispositivo constitucional, foi criada a que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e define os critérios de outorga de direitos de seu uso. Também foi criada a Lei nº 9.984/2000, que cria a Agência Nacional de Águas (ANA), que é a agência reguladora destinada a cumprir os objetivos e diretrizes do Gerenciamento do Sistema Nacional de Recursos Hídricos.

As principais regulamentações para o lançamento de efluentes em corpos hídricos e reuso da água são as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), juntamente com o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Dentre elas, destacam-se as resoluções CONAMA nº 430/2011 e nº 397/2008 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Resolução CONAMA nº 396/2008, que estabelece o enquadramento das águas subterrâneas. Resolução CONAMA nº 377/2006, que dispõe sobre licenciamento ambiental simplificado de sistemas de esgotamento sanitário. Resolução CNRH nº 91/2008, que estabelece os procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos d'água superficiais e subterrâneas. Resolução CNRH nº 54/2005, que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água. Já a NBR 13969/1997, que dispõe sobre projeto, construção e operação de tanques sépticos, unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos.

De acordo com a resoluções CONAMA nº 430/2011, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que obedeçam as condições e padrões seguintes: pH entre 5 a 9; temperatura inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor

não deverá exceder a 3°C na zona de mistura; materiais sedimentáveis até 1 mL.L<sup>-1</sup> 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; regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente; óleos minerais até 20mg.L<sup>-1</sup>; óleos vegetais e gorduras animais até 50mg.L<sup>-1</sup>; ausência de materiais flutuantes; e ferro dissolvido até 15,0 mg.L<sup>-1</sup>.

A norma técnica de controle de carga orgânica em efluentes líquidos industriais da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH), do governo do estado de PE, N 2.001 de novembro de 2003, exige que as fontes poluidoras devem remover a DQO de acordo com o tipo industrial, o limite do percentual de redução da DQO na indústria têxtil é de 80%.

## 2.3 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Na elaboração de uma ETE é preciso conhecer as características físicas, química e biológica do efluente a ser tratado, normalmente são analisados sólidos, indicadores de matéria orgânica (DBO, DQO, entre outros), nitrogênio, fósforo e indicadores de contaminação fecal (coliformes totais, coliformes fecais, entre outros). Após o tratamento, os efluentes são escoados para corpos hídricos circundantes, de acordo com a Resolução CONAMA 430 de 2011.

Nos processos físicos, a redução dos contaminantes ocorre por meio de forças físicas, por exemplo, filtração e gradeamento. Nos processos químicos o tratamento ocorre através da adição de produtos químicos ou de reações químicas, as quais remove ou converte os contaminantes presentes, por meio da coagulação, desinfecção, por exemplo. Existem ainda os processos que podem envolver forças físicas e/ou químicas como a adsorção e os processos de separação por membranas. E nos processos biológicos, remove-se os contaminantes através de atividades biológicas, como a nitrificação, a desnitrificação, entre outras. Esses métodos são distribuídos na ETE mediante as etapas de tratamento preliminar, primário, secundário e terciário (ICLEI, 2010).

O tratamento preliminar é a primeira etapa do tratamento, cuja finalidade é a redução de sólidos grosseiros, para proteger das próximas etapas do processo contra

danificação de tubulações e sistemas de bombeamento. O tratamento primário tem como finalidade a redução de sólidos em suspensão sedimentáveis e de sólidos flutuantes. O tratamento secundário tem como objetivo a redução de matéria orgânica dissolvida e matéria orgânica em suspensão. A principal característica desse tratamento é a implementação da fase biológica, visto que a redução da matéria orgânica ocorre em função de reações bioquímicas, realizadas por microrganismos. Os principais tratamentos biológicos são lagoas de estabilização, filtros biológicos e reatores anaeróbicos. E o tratamento terciário, conhecido como pós-tratamento, tem finalidade de remover compostos específicos não biodegradáveis, compostos tóxicos ou, ainda, complementar a redução de poluentes não biodegradáveis na etapa secundária. De modo geral, a ETE visa adequar o lançamento dos efluentes a uma qualidade desejada ou ao padrão de qualidade exigido pela legislação vigente (VON SPERLING, 2005).

### **2.3.1 Tratamento de efluente têxtil**

Conforme discutido nas seções anteriores, a expansão das indústrias têxteis nos últimos tempos tem contribuído para o aumento dos impactos ambientais, devido ao despejo de elevado volume de efluentes tóxicos nos corpos hídricos. Diante da crescente conscientização e do aumento da fiscalização ambiental, o tratamento de efluentes têxteis tem despertado interesse de muitos grupos de pesquisa, vários processos tecnológicos vêm sendo estudados com a finalidade de minimizar esse impacto no meio ambiente (AMARAL *et al.*, 2014).

Vários métodos de tratamento de efluente têxtil têm sido propostos, dentre eles encontram-se os físicos, químicos e biológicos. Nos tratamentos físicos ocorre a transferência do contaminante de uma fase para outra, porém, apresenta uma desvantagem ao gerar passivo ambiental, resíduo sólido conhecido como lodo. Já nos tratamentos biológicos utilizam-se microrganismos para degradar matéria orgânica, no entanto, não são eficazes no tratamento do efluente têxtil, visto que os corantes são substâncias recalcitrantes de difícil degradação (NASCIMENTO *et al.*, 2018).

A diversidade dos corantes presentes nos efluentes têxteis, como as suas cores, estruturas, alta solubilidade em meio aquoso, elevada complexidade e baixa degradabilidade dificultam a utilização de um único método no tratamento desse efluente. Mediante a necessidade de tratamentos mais eficientes, os processos

oxidativos avançados (POA) vêm surgindo como tecnologias apropriadas para a redução de contaminantes orgânicos não tratáveis por métodos convencionais. Esses métodos utilizam fortes agentes oxidantes para degradar contaminantes orgânicos, transformando-os em dióxido de carbono, água e sais inorgânicos, processo conhecido como mineralização. São técnicas consolidadas e utilizadas como opção de tratamento de efluentes que apresentam difícil degradação, pois se trata de uma tecnologia limpa, que promove eficiente degradação não seletiva de compostos considerados persistentes, possuem a capacidade de descolorir completamente e mineralizar parcialmente os corantes da indústria têxtil em curto tempo de reação e com baixo custo de tratamento (BORTOTI *et al.*, 2016).

## 2.4 PRODUÇÃO MAIS LIMPA

A produção mais limpa (P+L) foi introduzida no Brasil em 1995 através da criação do Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL). Ela é definida como um procedimento aplicado nas empresas com objetivo de melhorar as estratégias econômica, ambiental e tecnológica, tendo como finalidade aumentar a eficiência do uso de matérias-primas, água e energia, por meio da não geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados no processo produtivo. Além de minimizar os impactos ambientais e reduzir riscos para os seres vivos, essa inovação concede vantagens competitivas, visto que caminha na direção de desenvolvimento econômico e sustentável (OLIVEIRA NETO; SHIBAO; GODINHO FILHO, 2016).

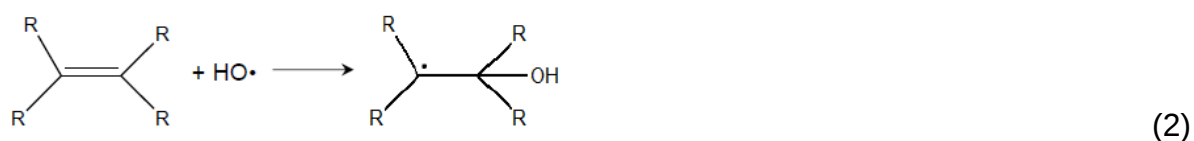
De acordo com Silva, Moraes e Machado (2015), é comum empresas tratarem o resíduo gerado no processo produtivo, devido às legislações vigentes, esse tipo de tratamento é chamado de fim-de-tubo. No entanto, a prioridade da P+L é evitar a geração desses resíduos, podendo-se reintegrar ao processo ou reciclar em outras empresas. Esse trabalho propõe a aplicação da P+L ao reutilizar lâmpadas fluorescentes e bomba de máquina de lavar, utilizar radiação solar como fonte de energia para a reação fotocatalítica do tratamento do efluente têxtil, além de reutilizar a água no processo produtivo da lavanderia, resíduo que seriam descartados.

## 2.5 PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS

Os processos oxidativos avançados se baseiam na geração de radicais livres, normalmente o radical hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ), proveniente de fortes agentes oxidantes, como peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) e ozônio ( $\text{O}_3$ ). A reação ocorre rapidamente, espontaneamente e de forma não seletiva. O radical livre oxida o composto orgânico (representado por R) e remove um átomo de hidrogênio, gerando radicais orgânicos, como mostra a Equação 1 (VIEIRA; COSTA; NAVES, 2018).



Além do mecanismo por redução de hidrogênio apresentado anteriormente, também é possível produzir radicais orgânicos por adição eletrofílica e transferência de elétrons. O mecanismo de adição eletrofílica ocorre a partir da adição do radical hidroxila a compostos orgânicos que contem ligação  $\pi$ , como representado na Equação 2. Já a reação de transferência eletrônica ocorre quando a adição eletrofílica e a redução de hidrogênio não são favorecidas, como no caso de hidrocarbonetos clorados (VIEIRA; COSTA; NAVES, 2018).



Em seguida, as reações em cadeia são iniciadas por esses radicais orgânicos, gerando radicais secundários, intermediários mais oxidados, ocorrendo a mineralização, ou seja, degradam moléculas orgânicas convertendo-as em outros compostos menos tóxicos como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) e íons inorgânicos. Em alguns casos, podem-se formar subprodutos indesejáveis, por esse motivo é necessário ter conhecimento dos produtos formados e sua toxicidade. Os POA são segmentados em sistemas homogêneos e heterogêneos, com ou sem radiação ultravioleta e/ou visível (ARAÚJO *et al.*, 2016).

## 2.6 PROCESSOS BASEADOS NA REAÇÃO FENTON

Dentre os vários processos oxidativos avançados os processos baseados a reação de Fenton merece destaque, pois tem sido considerado como um tipo de POA viável para o tratamento de efluentes têxteis. O reagente produz radicais hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ), que apresenta elevado potencial de oxidação (2,8 V), a partir da decomposição do peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) em meio ácido, utilizando os íons ferrosos ( $\text{Fe}^{2+}$ ) como catalisador, esse processo está apresentado na Equação 3 (SILVA *et al.*, 2018).



O pH determina a quantidade que os radicais hidroxilas são produzidos, já que a protonação do ânion superóxido ocorre em meio ácido. Muitos estudos mostram que o pH ideal é na faixa de 3 e 4, pois o pH acima nesse valor forma precipitado na forma hidróxido de ferro  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  e o pH abaixo desse valor ocorre a formação de diferentes espécies complexadas de ferro em solução, que reagem mais lentamente com o peróxido. Nos dois casos a formação do radical hidroxila é prejudicada (SILVA *et al.*, 2018).

Quando é aplicada uma radiação UV e visível na reação de Fenton, o POA é chamado de foto-Fenton, geralmente essa radiação potencializa a degradação de compostos orgânicos, já que reduz o  $\text{Fe}^{3+}$  a  $\text{Fe}^{2+}$ , o que aumenta a decomposição do peróxido de hidrogênio, produzindo mais  $\bullet\text{OH}$ . A radiação pode ser proveniente de lâmpadas ou de luz solar. O melhor sistema depende da particularidade do efluente a ser tratado, alguns requerem fótons de alta energia gerados por luz UV e outros já são suficientes com a utilização de fótons de baixa energia na região do visível do espectro (LUCENA *et al.*, 2018).

Os POA foto-Fenton apresentam vantagens no tratamento de efluentes têxteis devido à sua alta eficiência na degradação de grande variedade de contaminantes orgânicos. São técnicas inovadoras e eficientes, uma vez que a reação ocorre à temperatura e pressão ambientes, utiliza o ferro como catalisador, o qual é abundante na crosta terrestre e não apresenta custo elevado (ARAÚJO *et al.*, 2016).

### 2.6.1 Tratamento de corantes têxteis pelo processo oxidativo avançado foto-Fenton

Mais de 15% dos corantes utilizados no processo produtivo das indústrias têxteis são eliminados no efluente, estudos realizados mostram que os POA foto-Fenton degradam com eficiência esses compostos. A grande vantagem é a economicidade e praticidade do processo (DURAÍN; MONTEAGUDO; AMORES, 2008).

A Tabela 1 apresenta alguns exemplos de tratamento de efluentes têxteis ressaltando suas eficiências de degradação.

Tabela 1 - Exemplos de tratamentos utilizados para efluentes têxteis.

| Tratamento                                                                                  | Corante Têxtil       | Operação                                                                                                                                                         | Eficiência                             | Referência                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
| Foto-eletro-Fenton solar                                                                    | Azul ácido 29        | Eletrolise pela aplicação de densidades de corrente de 25 e 50 mA.cm <sup>-2</sup>                                                                               | Degradação: 90%                        | Salazar, <i>et al.</i> , 2019    |
| Foto-Fenton-ferrioxalato solar                                                              | Azul Reativo 4       | [H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] = 120 mg.L <sup>-1</sup> , [Fe <sup>2+</sup> ] = 7 mg.L <sup>-1</sup> , [(COOH) <sub>2</sub> ] = 10 mg.L <sup>-1</sup> , pH 2,5 | Cor e DQO: 100%, COT: 66%.             | Duraín; Monteagudo; Amores, 2008 |
| Foto-Fenton catalisada por nanocompostos de carvão ativado/CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | Vermelho reativo 198 | pH = 6,5, catalisador = 0,3 g.L <sup>-1</sup> , tempo de reação: 25 min, persulfato de 5 mM.L <sup>-1</sup> , radiação UV 30 W                                   | Degradação: 100% e redução de DQO: 98% | Heidari <i>et al.</i> , 2019     |

Fonte: A Autora (2019).

De acordo com a Tabela 1, observa-se que o processo de tratamento de efluente têxtil pelo POA foto-Fenton apresenta altas eficiências de degradação dos corantes utilizados nesse setor. Os POA foto-Fenton são bastante eficientes na mineralização de corantes nos níveis laboratorial, piloto e semi-industrial. Além disso, diferentes estudos demonstraram também o excelente desempenho dos coletores solares dos tipos CPC coletores parabólicos durante o tratamento dessas substâncias

complexas (BELALCÁZAR-SALDARRIAGA; PRATO-GARCIA; VASQUEZ-MEDRANO, 2018).

## 2.7 PLANEJAMENTO FATORIAL

O planejamento experimental é uma ferramenta que emprega conhecimentos estatísticos, os quais podem extrair do sistema em estudo o máximo de informação útil, fazendo um número mínimo de experimentos e tirando conclusões de forma mais econômica e eficaz. A determinação da influência de uma ou mais variáveis sobre uma outra variável de interesse é fundamental para o estudo das melhores condições de operação. No planejamento de um experimento, devem-se definir os fatores, que são as variáveis controláveis, que em princípio influenciam a resposta e as variáveis de respostas, que são as variáveis de saída do sistema, ou seja, as variáveis de interesse e que serão – ou não – afetadas por modificações provocadas nos fatores (NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

Para executar um planejamento fatorial, primeiramente é necessário especificar os níveis que cada fator será estudado, ou seja, os valores dos fatores utilizados nos experimentos. Em um planejamento fatorial completo, deve-se realizar experimentos em todas as possíveis combinações, a lista dessas combinações é chamada de matriz de planejamento. Para 2 fatores, isto é, duas variáveis controladas, um planejamento completo de dois níveis exige a realização de  $2 \times 2 = 4$  ensaios diferentes, sendo chamado de planejamento fatorial  $2^2$ . Nesse caso, quando o ensaio é realizado em duplicata, produz 8 respostas e, dessa forma, é possível estimar o erro experimental de uma resposta individual, sendo importante para decidir se existem ou não efeitos significativos que possamos atribuir à ação dos fatores. Além disso, pode-se adicionar pontos centrais, os quais varrem três níveis de cada fator, permitindo verificar se há ou não falta de ajuste para um modelo linear (NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

O efeito principal é o efeito de uma única variável, enquanto que o efeito de interação é quando o efeito de uma variável depende do nível de outra e as duas variáveis interagem. Na interpretação dos resultados a superfície de resposta é a função que descreve essa influência. De modo geral, o planejamento fatorial tem como objetivo descobrir quais os valores - os níveis - dos dois fatores que produzem

a maior resposta possível, nesse trabalho foi utilizado o *software Statistica 10* para obtenção dos resultados (NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

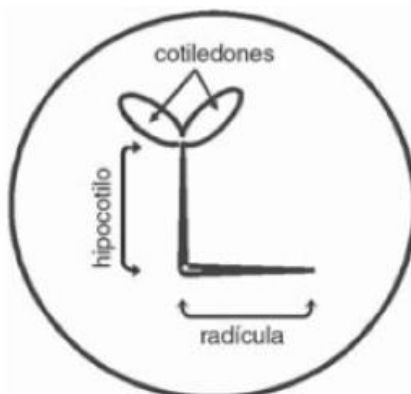
## 2.8 TESTE DE TOXICIDADE UTILIZANDO SEMENTES DE ALFACE

O ensaio de toxicidade tem por objetivo avaliar a eficiência do tratamento do efluente. Já que a toxicidade do efluente está associada à capacidade das substâncias presentes causarem impacto ao serem lançado no corpo receptor. A toxicidade dos efluentes têxteis está relacionada aos corantes e aos intermediários tóxicos da degradação (NASCIMENTO *et al.*, 2018).

Para avaliar o grau de impacto que um efluente pode causar no corpo receptor realizam-se ensaios de toxicidade, cujo princípio consiste em expor organismos-teste representativos no ambiente a várias concentrações de uma ou mais substâncias durante determinado período de tempo. Os efeitos são determinados através de respostas nos organismos, dessa forma, é possível simular os efeitos que poderiam ser observados no corpo receptor após o lançamento do efluente (COSTA *et al.*, 2015).

O ensaio de toxicidade com sementes de alface (*Lactuca sativa* L) é um teste com duração de 120 horas, no qual os efeitos das amostras pura e diluída são avaliados no processo de germinação e crescimento da radícula da semente, que é a primeira parte da semente a emergir durante a germinação como mostra a Figura 1 (MORALES, 2004).

Figura 1 - Esquema da *L. sativa*



Fonte: Morales (2004).

Durante o período de germinação ocorrem vários processos fisiológicos, nos quais a presença de uma substância tóxica pode interferir alterando a sobrevivência e o desenvolvimento normais da planta, sendo, portanto, um estágio de grande sensibilidade contra fatores externos adversos. A avaliação do desenvolvimento da radícula é um indicador eficaz para determinar a capacidade de estabelecimento e desenvolvimento da planta (MORALES, 2004).

Embora *L. sativa* não seja uma espécie representativa dos ecossistemas aquáticos, os resultados obtidos por meio desse teste fornecem dados sobre o possível efeito de poluentes em comunidades vegetais próximas às margens de corpos de água contaminados, sendo também uma espécie interessante a considerar, devido a sua importância do ponto de vista hortícola (MORALES, 2004).

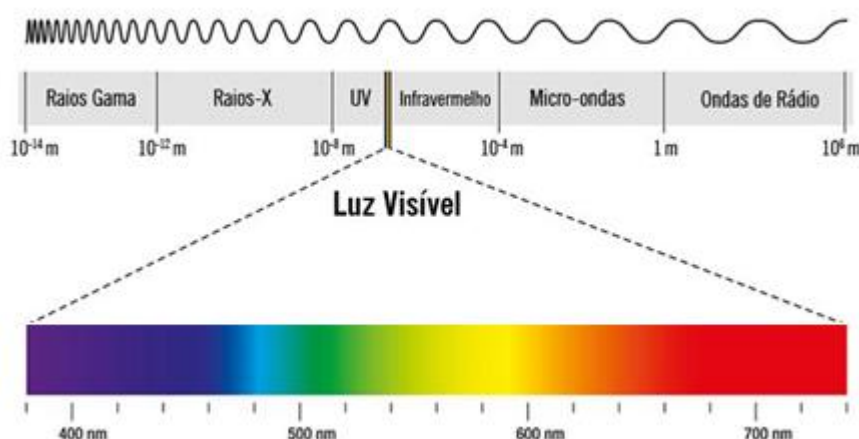
## 2.9 REATOR FOTOCATALÍTICO DO TIPO CONCENTRADOR PARABÓLICO COMPOSTO

O concentrador parabólico composto (CPC) utilizado em reatores fotocatalíticos para tratamento de efluentes têxteis apresenta diversas vantagens, por ser uma técnica viável, eficiente, visto que concentra toda a radiação solar que atinge a área de abertura do CPC, nesse tipo de reator a radiação indireta é redirecionada para o reator, além de ser possível obter as condições ideais com base no mecanismo cinético, a partir de uma constante cinética com base na energia solar acumulada, o que permite comparar todos os experimentos, sem saber o tempo necessário para receber a radiação, não dependendo das condições ambientais e climatológicas (DURAÍN; MONTEAGUDO; AMORES, 2008).

### 2.9.1 Radiações

As radiações utilizadas no POA foto-Fenton são as ultravioletas (UV) e visível (Vis), elas fazem parte do espectro eletromagnético, o qual apresenta uma escala com 7 tipos de ondas eletromagnéticas: raios gama, raios x, ultravioleta, luz visível, infravermelho, micro-ondas e ondas de rádio, como mostra a Figura 2. As ondas se propagam à velocidade da luz e são todas invisíveis a olho nu, com exceção da luz visível (NOGUEIRA *et al.*, 2007).

Figura 2 - Espectro eletromagnético.

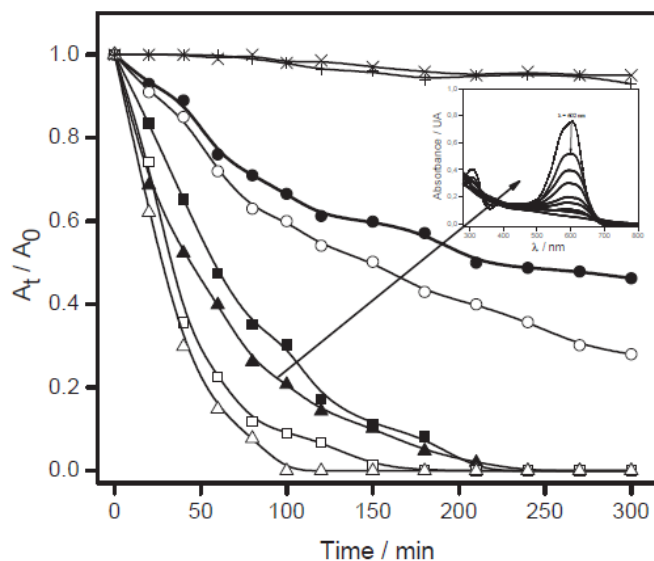


Fonte: Wayne (1988).

Como pode ser observado na Figura 2, a luz visível cobre a região do espectro eletromagnético entre 400 nm e 700 nm, essa radiação é absorvida na reação do POA foto-Fenton, assim como a radiação UV, a qual abrange a região do espectro eletromagnético entre 100 nm e 400 nm. Ela pode ser classificada em UV-C (de 100 nm a 280 nm) UV-B (de 280 nm a 315 nm) e UV-A (de 315 nm a 400 nm), de acordo com o Comitê Internacional da Iluminação, a primeira faixa é chamada de ultravioleta próximo e a última faixa é chamada de ultravioleta extremo ou de vácuo, a qual foi utilizada no estudo desse trabalho (WAYNE, 1988).

Um exemplo da absorção da radiação no espectro visível pode ser observado a partir do estudo de Salazar *et al.* (2019), o qual utilizou o processo foto-eleto-Fenton com radiação solar para degradação do corante têxtil azul ácido 29, a Figura 3 apresenta a absorbância no  $\lambda$  de 602 nm com o tempo de eletrólise.

Figura 3 - Absorbância no  $\lambda$  de 602 nm com o tempo em minutos na eletrólise do corante azul ácido 29.



Fonte: Salazar *et al.* (2019).

Nota-se que a absorbância foi reduzida significativamente com o tempo de reação, apresentando degradação superior a 90%. A radiação solar emite diferentes comprimentos de onda, os quais apresentam distribuídos em aproximadamente 39% de luz visível, 56% de radiação infravermelha e 5% de radiação UV, essa última é subdividida em UV-A, UV-B e UV-C, a camada de ozônio praticamente não absorve a radiação UV-A, absorve 90% da radiação UV-B e 100% da radiação UV-C. Dessa forma, o presente estudo utiliza a radiação UV-A na reação foto-Fenton, visto que é a radiação UV que se encontra em maior quantidade na superfície terrestre (BALOGH *et al.*, 2011).

### 2.9.2 Tubulação de lâmpadas fluorescentes reutilizadas

Segundo Aucott, Mclinden e Winka (2003), as lâmpadas fluorescentes são constituídas de um tubo de vidro, pó de fósforo envolto no vidro envolto no vidro, gás inerte (Ar, Ne, Kr, e/ou Xe), vapor de mercúrio e eletrodos de tungstênio ou aço inox. O descarte desse material é perigoso devido aos compostos contaminantes, como por exemplo o mercúrio, que é altamente tóxico e perigoso ao alcançar o meio ambiente devido a sua bioacumulação.

A lâmpada fluorescente é um resíduo sólido, apenas 6% dos seus subprodutos são considerados rejeitos, ou seja, podem ser descartados em aterros sanitários. Já existem procedimentos para recuperação e tratamento do mercúrio dessas lâmpadas de acordo com a política nacional de resíduos sólidos (PNRS) instituída pela lei 12.205 de 2010. No entanto, a tubulação de vidro necessita conduzir para outros fins, uma solução viável é conduzi-la para a reciclagem, como por exemplo para utilização como tubulações.

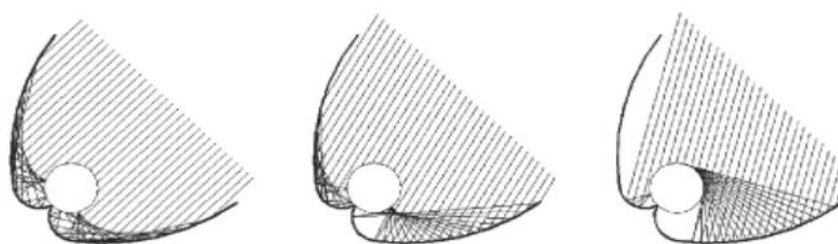
Um estudo realizado por Oliveira *et al.* (2016) reutilizaram lâmpadas fluorescentes como tubulação no reator fotocatalítico, testando o efeito do pó fosfórico presente na lâmpada no desenvolvimento de um catalisador de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ /zeólita ZSM-5. Os resultados mostraram que o catalisador foi considerado promissor na reação foto-Fenton para a degradação de poluentes orgânicos em soluções aquosas.

### 2.9.3 Concentrador parabólico composto

A utilização da fotocatalise homogênea e heterogênea está ganhando destaque no tratamento de águas residuais por se apresentar como uma solução econômica para problemas ambientais. Entre os sistemas de coletores solares, os Coletores Parabólicos Compostos (CPCs) são boas opções para aplicação fotoquímica, uma vez que podem fazer uso eficiente da radiação solar (SPASIANO *et al.*, 2015).

Os CPCs são revestidos por um material refletor em formato de parábola, geralmente vidro. Ao longo do foco da parábola é colocado um tubo denominado receptor, o qual o fluido circula internamente. A radiação solar direta e difusa é refletida pela superfície e concentrada no receptor, uma representação desse esquema pode ser observada na Figura 4 (MALAGUETA, 2016).

Figura 4 - Representação do CPC e suas diversas formas de captação de radiação.



Fonte: Duarte *et al.* (2005).

Os POA foto-Fenton utilizando reatores com CPC têm recebido grande atenção devido ao seu desempenho durante o tratamento de uma ampla gama de poluentes recalcitrantes. No entanto, apresenta escassez de estudos da viabilidade técnica e operacional de reatores solares mais simples e de baixo custo (BELALCÁZAR-SALDARRIAGA; PRATO-GARCIA; VASQUEZ-MEDRANO, 2018).

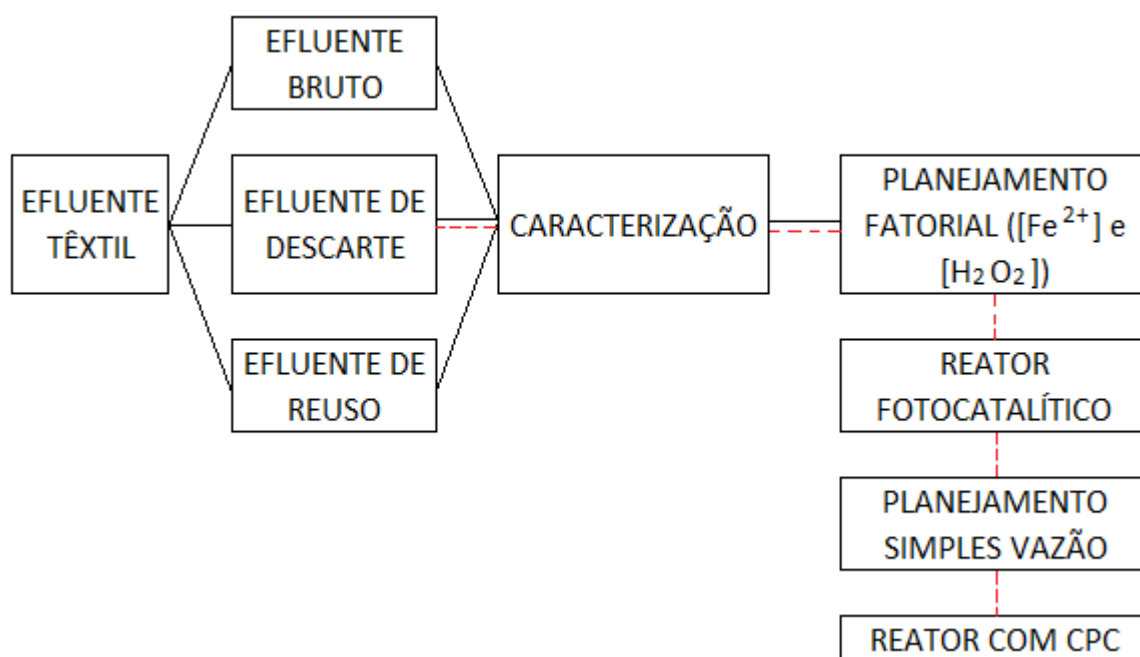
Vilar *et al.* (2011) avaliaram o processo foto-Fenton solar na degradação de lixiviado empregando uma planta piloto com CPCs, após um tratamento preliminar. Nesse estudo, os autores obtiveram 60% de mineralização e 90% de redução do teor de aromáticos, além disso, a biodegradabilidade do lixiviado foi aumentada durante o tratamento.

Já Saggioro *et al.* (2015), avaliaram a degradação fotocatalítica do corante índigo carmim (IC), utilizando dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) como catalisador, em diferentes condições a partir de uma planta piloto solar CPC. De acordo com os resultados observou-se que a degradação depende de vários parâmetros, como a concentração de corante, quantidade de catalisador, presença de ânions inorgânicos, pH da solução, temperatura e peróxido de hidrogênio. A eficiência de mineralização foi de 42% e 21% usando em suspensão e suportado  $\text{TiO}_2$ , respectivamente.

### 3 METODOLOGIA

Neste tópico estão apresentados os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa. Primeiramente estão apresentados o processo de tratamento do efluente da lavanderia e a caracterização das matrizes utilizadas. Na determinação das melhores condições para o tratamento do efluente pelo POA foto-Fenton/UV-A, foi realizado um planejamento fatorial variando as  $[\text{Fe}^{2+}]$  e  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  e um planejamento simples da vazão volumétrica de alimentação para recirculação do efluente no reator fotocatalítico utilizado, cujo sistema foi composto por com tubulação de lâmpadas fluorescentes, bomba peristáltica e CPC.

Figura 5 - Fluxograma da metodologia realizada no trabalho.



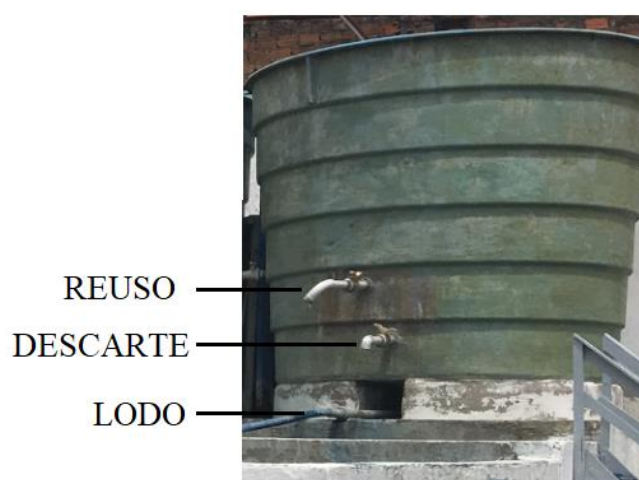
Fonte: A Autora (2019).

Apenas o efluente de descarte foi tratado no reator fotocatalítico, como mostra a Figura 5, visto que o trabalho visa o pós-tratamento do efluente têxtil com a finalidade de aumentar a porcentagem de água reutilizada na lavanderia. As variáveis de respostas foram as reduções da cor, da turbidez, da DQO e da absorção no espectro UV-Vis.

### 3.1 PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE NA LAVANDERIA

A lavanderia situada em Caruaru-PE conta com uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) composta pelas etapas de: gradeamento, tanque de equalização, coagulação (sulfato de alumínio), floculação (polímero coagulante) e filtração (tijolo, areia e brita). Há três níveis de saída no tanque de coagulação/floculação, exibidos na Figura 6.

Figura 6 - Tanque de coagulação/floculação da lavanderia situada em Caruaru-PE.



Fonte: A Autora (2019).

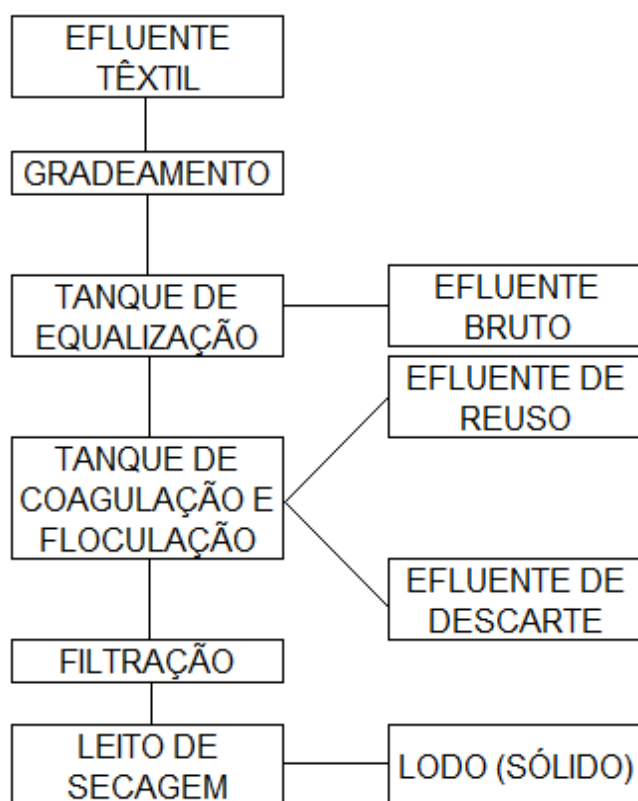
A parte superior é coletada para reuso no processo produtivo da lavanderia, a parte central é descartada no corpo hídrico e a parte inferior passa pela etapa de filtração. Na etapa de filtração, o filtrado é descartado no corpo hídrico e o resíduo é posto em um leito de secagem, esse processo é facilitado pelo clima quente da região. Após aproximadamente sete dias, forma-se uma fase sólida (lodo seco), a qual é destinada para um aterro sanitário industrial situado em Itapissuma-PE, acumulando em um mês cerca de cinco toneladas de lodo.

### 3.2 EFLUENTES DE ESTUDO

As matrizes utilizadas nesse estudo consistem em três tipos de efluentes coletados em diferentes estágios da ETE e em uma amostra de água utilizada nos processos de lavagem e tingimento da lavanderia.

O primeiro tipo de efluente foi denominado de efluente bruto, o qual foi coletado no tanque de equalização, ou seja, antes da realização do tratamento químico, o segundo foi denominado de efluente de descarte, o qual foi coletado da parte central do tanque de coagulação/floculação, e o terceiro foi denominado de efluente de reuso, o qual foi coletado da parte superior do tanque de coagulação/floculação, esse último corresponde a menos de 10% do efluente tratado. A Figura 7 apresenta o fluxograma do tratamento realizado pela lavanderia e os três tipos de efluentes analisados nesse estudo.

Figura 7 - Fluxograma do tratamento realizado pela lavanderia e os três tipos de efluentes analisados.



Fonte: A Autora (2019).

A água utilizada nos processos de lavagem e tingimento foi coletada de um poço próximo, obra de captação de água subterrânea, e junto a ela é adicionado o efluente de reuso, que tem por objetivo diminuir gastos financeiros e contribuir para a sustentabilidade e proteção do meio ambiente, visto que a demanda de água na lavanderia é muito grande. A lavagem de um quilograma de tecido consome de cinquenta a cem litros de água, como a lavanderia trabalha com cerca de uma tonelada de tecido por dia, ela utiliza em média mil e quinhentos m<sup>3</sup> de água por mês.

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES

Os tipos e as concentrações dos corantes utilizados no tingimento dos tecidos são definidos de acordo com a necessidade dos clientes, por esse motivo, cada efluente descartado apresenta uma peculiaridade. De modo geral, estão presentes no efluente vários tipos de corantes reativos e diretos, sabão, amaciante (silicone), enzimas para destonagem, desengomantes, alvejantes (peróxido de hidrogênio, cloro e permanganato), ativadores (metasilicato, barrilha e soda cáustica), neutralizantes (metabissulfito), fixadores, resina de fixação, entre outros.

Inicialmente, foi realizada a caracterização dos efluentes coletados (bruto, descarte e reuso). Os parâmetros analisados na caracterização das amostras foram: demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), série de sólidos (sólidos totais – ST, sólidos totais fixos – STF, sólidos totais voláteis – STV, sólidos suspensos totais – SST, sólidos suspensos fixos – SSF, sólidos suspensos voláteis – SSV, sólidos dissolvidos totais – SDT, sólidos dissolvidos fixos – SDF, sólidos dissolvidos voláteis – SDV e sólidos sedimentáveis - SS), pH, cor, condutividade, turbidez e absorbância no espectro UV-Vis. As análises de DQO, DBO e série de sólidos foram realizadas de acordo com *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* – SMEWW (APHA, 1998), enquanto as análises de pH, cor, condutividade, turbidez e absorbância no espectro UV-Vis foram realizadas por equipamentos analíticos e suas referências se encontram na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros analisados na caracterização dos efluentes e referências dos seus métodos de avaliação.

| Parâmetros                                                               | Unidade                                 | Análise                                                          | Referência                                  |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>pH</b>                                                                | -                                       | pHmetro                                                          | <i>Quimis</i>                               |
| <b>Cor</b>                                                               | uH                                      | Colorímetro                                                      | <i>Spectroquant NOVA 60 - Merck</i>         |
| <b>Condutividade</b>                                                     | $\mu\text{S}$                           | Multiparâmetros                                                  | <i>Oaklon PCD650 - Waterproof</i>           |
| <b>Turbidez</b>                                                          | NTU                                     | Turbidímetro                                                     | <i>Quimis</i>                               |
| <b>Absorbância</b>                                                       | uA                                      | Espectrofotômetro UV-Vis (Espectro 200 nm a 800 nm)              | <i>Aquamat Thermo Genius</i>                |
| <b>DQO</b>                                                               | $\text{mg O}_2.\text{L}^{-1}$           | Refluxo fechado - método colorimétrico/ Espectrofotômetro UV-vis | <i>SMEWW 5220 D (Aquamat Thermo Genius)</i> |
| <b>DBO</b>                                                               | $\text{mg O}_2.\text{L}^{-1}$           | Método respirométrico - incubadora <i>OxTop</i>                  | <i>SMEWW 5210 D (WTW)</i>                   |
| <b>Série de Sólidos (ST, STF, STV, SST, SSF, SSV, SDT, SDF, SDV, SS)</b> | $\text{mg.L}^{-1}$ e $\text{mL.L}^{-1}$ | Gravimétrico e volumétrico                                       | <i>SMEWW 2540 B - F</i>                     |

Fonte: A Autora (2019).

Inicialmente os efluentes bruto, de descarte e de reuso foram caracterizados com os parâmetros descritos na Tabela 2. Além dessas matrizes, para efeito de estudo, foram avaliadas a DQO, a cor, a turbidez e a absorção no espectro UV-Vis da água utilizada nos processos de lavagem e tingimento da lavanderia, visto que a pesquisa avalia o enquadramento desses parâmetros para posterior reuso do efluente no processo da lavanderia.

### 3.3.1 Demanda química de oxigênio

Inicialmente foram preparadas as soluções reagentes para determinação da DQO, na preparação da solução catalisadora de  $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{Ag}_2\text{SO}_4$ , foram adicionados 10,129 g de sulfato de prata -  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  (QUÍMICA MODERNA, 98%) em 1 L de ácido sulfúrico -  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (QUÍMICA MODERNA, 95% - 98%), após dissolver bem em um

balão volumétrico de 1 L, a solução foi colocada em um frasco âmbar identificado e deixada em repouso por 48 horas. Na preparação da solução digestora de dicromato de potássio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) foi utilizado um balão volumétrico de 1 L, adicionaram-se 500 mL de água destilada, 167 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (QUIMICA MODERNA, 95% - 98%), 33,3 g de sulfato de mercúrio ( $\text{HgSO}_4$ ) P.A. (SYNTH, 98%) e 10,216 g de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  (ÊXODO CIENTÍFICA, 99%), o qual foi seco previamente em uma estufa a  $103^\circ\text{C}$  por 2 horas, após dissolver bem, completou-se o balão com água destilada e deixou esfriar até a temperatura ambiente por aproximadamente 1 hora.

Em seguida, foi construída uma curva analítica para a determinação da DQO de amostras desconhecidas. Foram preparadas soluções padrões com concentrações apropriadas para a faixa analítica desejada, de  $0 \text{ mg.L}^{-1}$  a  $1.500 \text{ mg.L}^{-1}$ . Inicialmente foi preparada uma solução de biftalato de potássio - KHP (NUCLEAR, 99%) na concentração de  $1.500 \text{ mg.L}^{-1}$  e, em seguida, fizeram-se as diluições para as concentrações desejadas, dispostas na Tabela 3. Na preparação da solução inicial, pesou-se 0,1280 g de KHP, previamente seco a uma temperatura de  $103^\circ\text{C}$  por 2 horas, e diluiu-se em água destilada no balão volumétrico de 100 mL. As soluções padrões foram introduzidas em tubos com rosca específicos para DQO e os resultados foram lidos no espectrofotômetro UV-Vis.

Tabela 3 - Diluições das soluções padrões da DQO.

| <b>Volume de solução padrão estoque adicionada (mL)</b> | <b>Volume de água destilada (mL)</b> | <b>Concentração final da diluição (<math>\text{mg.L}^{-1}</math>)</b> |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 2,00                                                    | 0,00                                 | 1500                                                                  |
| 1,20                                                    | 0,80                                 | 900                                                                   |
| 0,60                                                    | 1,40                                 | 450                                                                   |
| 0,30                                                    | 1,70                                 | 225                                                                   |
| 0,16                                                    | 1,84                                 | 120                                                                   |
| 0,10                                                    | 1,90                                 | 75                                                                    |

Fonte: A Autora (2019).

Na análise de DQO pelo método colorimétrico com refluxo fechado, a amostra colocada no digestor a  $150^\circ\text{C}$  por duas horas, em seguida analisa-se no espectrofotômetro UV-Vis no  $\lambda$  de 600 nm, o íon dicromato  $(\text{Cr}_2\text{O}_7)^{2-}$  presente na solução digestora oxida a matéria orgânica da amostra e muda o estado de cromo hexavalente ( $\text{Cr}^{+6}$ ) para cromo trivalente ( $\text{Cr}^{+3}$ ), o  $\text{Cr}^{+3}$  absorve fortemente na região de 600 nm, enquanto que o  $\text{Cr}^{+6}$  absorve fortemente no comprimento de onda ( $\lambda$ ) de

400 nm. Por meio desse princípio químico, se obtém o resultado da DQO (APHA, 1998).

O procedimento de análise consistiu nas seguintes etapas: primeiramente o reator de digestão de DQO foi ligado para que atingisse a temperatura de 150°C, foram adicionados aos tubos de DQO os seguintes reagentes na ordem 2,0 mL da amostra, 1,5 mL da solução de digestão de DQO ( $K_2Cr_2O_7$ ) com concentrações de 0 mg.L<sup>-1</sup> a 1.500 mg.L<sup>-1</sup> e 3,5 mL da solução catalisadora de  $H_2SO_4$ ; as análises foram realizadas em triplicata, tubos foram identificados, tampados, agitados e colocados no reator por um período de 120 min; em seguida, os tubos foram retirados do reator, e colocados em uma estante para esfriar.

O espectrofotômetro UV-Vis foi ligado e se esperou que estabilizasse, a absorção foi avaliada no  $\lambda$  de 620 nm, para a faixa de concentração analítica da DQO. O exterior de cada tubo foi limpo com um lenço de papel macio antes de colocá-lo no espectrofotômetro UV-visível, fez-se a leitura e se obteve o resultado em miligramas de oxigênio -  $O_2$  por litro para cada solução padrão, dessa forma foi possível a elaboração da curva analítica. A partir da curva construída, foi possível realizar a leitura da DQO desconhecida das amostras dos efluentes estudados, seguindo o mesmo procedimento de análise.

### 3.3.2 Demanda bioquímica de oxigênio

A determinação da DBO foi realizada pelo método respirométrico de águas residuárias com controle *OxiTop*, esse tipo de análise é adequado para efluentes que não contêm substâncias tóxicas ou inibidoras e que contêm nutrientes suficientes e micro-organismos adequados. Caso contrário, é necessário diluir as amostras para se obter o resultado exato.

A Tabela 4 fornece os parâmetros para análise da DBO pelo método respirométrico *OxiTop*. A partir dela e de acordo com os resultados da DQO das amostras analisadas, foram determinados o volume de efluente e a quantidade de gotas do inibidor de nitrificação (NTH 600) necessários para serem adicionados ao frasco *OxiTop*. Após o período de 120 h foi aplicado ao resultado obtido no *OxiTop* o fator de multiplicação para encontrar o resultado da DBO.

Tabela 4 - Parâmetros para análise da DBO pelo método respirométrico *OxiTop*.

| Volume (mL) | DQO (mg.L <sup>-1</sup> ) | Fator de multiplicação ( <i>OxiTop</i> ) | NTH 600 (gotas) |
|-------------|---------------------------|------------------------------------------|-----------------|
| 432         | 0-40                      | 1                                        | 9               |
| 365         | 0-80                      | 2                                        | 7               |
| 250         | 0-200                     | 5                                        | 5               |
| 164         | 0-400                     | 10                                       | 3               |
| 97          | 0-800                     | 20                                       | 2               |
| 43,5        | 0-2000                    | 50                                       | 1               |
| 22,7        | 0-4000                    | 100                                      | 1               |

Fonte: Relatório de aplicação BSB 997230 – WTW

O volume do efluente foi medido em balão volumétrico e adicionado no frasco âmbar específico para o método, fixando a temperatura entre 15°C e 20°C. Em seguida, foram adicionadas as gotas do inibidor de nitrificação, a solução foi homogeneizada e colocada a tampa do *OxiTop* com três pérolas de hidróxido de sódio NaOH (ANIDROL, 97%), para a umidade não interferir na análise, já que essa substância apresenta uma propriedade higroscópica. Por fim, o aparelho foi zerado e deixado na incubadora a 21°C por 5 dias sob agitação, após esse período foi realizada a leitura e o resultado foi obtido por meio do fator de multiplicação apresentado na Tabela 4. As análises foram realizadas em triplicata.

### 3.3.3 Série de sólidos

A avaliação da série de sólidos foi realizada para os três tipos de efluentes estudados, em triplicata. O resultado obtido foi a média entre os dois valores mais próximos. Na análise de sólidos totais (ST), as cápsulas de porcelana foram limpas, numeradas e colocadas na mufla a 550°C por 1 hora. Após esfriamento em dessecador por 45 minutos, foram pesadas, obtendo-se os pesos  $P_0$ , e deixadas no dessecador até o momento do uso. Transferiu-se para as cápsulas o volume adequado da amostra do efluente - de acordo com a condutividade elétrica, como mostra a Tabela 5 - medido em uma proveta, a qual foi lavada com água destilada de maneira que arrastasse todo o sólido para as cápsulas e deixaram-nas em banho maria a 100°C até que toda fase líquida do efluente fosse evaporada.

Tabela 5 - Volume de amostra a ser utilizada na determinação da série de sólidos de acordo com sua condutividade elétrica.

| <b>Condutividade elétrica (<math>\mu\text{S}</math>)</b> | <b>Volume da amostra (mL)</b> |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Até 300                                                  | 250                           |
| 300 a 900                                                | 200                           |
| 1000 a 3000                                              | 100                           |
| Acima de 3000                                            | 50                            |

Fonte: SMEWW 2540

Após a evaporação, as cápsulas foram deixadas na estufa a  $105^{\circ}\text{C}$  por 2 h, em seguida, esfriadas em dessecador por 45 min e obtiveram-se os pesos  $P_1$ , os ST foram calculados em  $\text{mg.L}^{-1}$  a  $105^{\circ}\text{C}$  pela Equação 4. Na determinação dos STF, as cápsulas com o ST a  $105^{\circ}\text{C}$  foram colocadas em mufla e calcinadas a  $550^{\circ}\text{C}$  por 1 hora. Deixaram-nas esfriar em dessecador por 45 minutos, elas foram pesadas e obtiveram-se os pesos  $P_2$ , os STF foram calculados em  $\text{mg.L}^{-1}$  a  $550^{\circ}\text{C}$ . pela Equação 5. Os STV foram calculados pela diferença entre os ST e os STF.

Na determinação dos SST, deixaram-se dois papéis de filtro de fibra de vidro umedecido com água destilada, em cápsulas numeradas e limpas, em seguida foram colocadas em mufla a  $550^{\circ}\text{C}$ , por 15 minutos. Após a calcinação, deixaram-nas esfriar em dessecador por 45 minutos e foram pesadas, obtendo-se os pesos  $P_0$ , as cápsulas foram deixadas em dessecador até o momento do uso. O aparelho de filtração foi montado e iniciada a sucção a vácuo. Em cada cápsula, transferiu-se para o aparelho de filtração o volume adequado da amostra, medida com o auxílio de uma proveta. Lavou-se a proveta com água destilada de maneira a arrastar todos os sólidos para o aparelho de filtração, lavou-o com água destilada de maneira a arrastar todos os sólidos para o papel de filtro, o filtrado foi reservado para análise de sólidos dissolvidos. Removeu-se cuidadosamente o papel de filtro com os sólidos do aparelho com o auxílio de uma pinça e colocou-o na cápsula e foi levado à estufa a  $105^{\circ}\text{C}$  por 2 horas, esperou esfriar em dessecador por 45 minutos e encontrou o peso  $P_1$ , os SST foram calculados em  $\text{mg.L}^{-1}$  a  $105^{\circ}\text{C}$  pela Equação 4. Na determinação dos SSF, o SST a  $105^{\circ}\text{C}$  foi colocado em forno mufla e calcinado a  $550^{\circ}\text{C}$ , por 15 minutos. Esperou-se esfriar em dessecador por 45 minutos e obteve-se o peso  $P_2$ , os SSF foram calculados em  $\text{mg.L}^{-1}$  a  $550^{\circ}\text{C}$  pela Equação 5. E os SSV foram calculados pela diferença entre os SST e os SSF.

Na determinação dos SDT as cápsulas foram limpas, numeradas e colocadas na mufla a  $550^{\circ}\text{C}$  por 1 hora. Deixaram-nas esfriar em dessecador por um período de

45 minutos e obtiveram-se os pesos  $P_0$ . Transferiu-se para cada cápsula o filtrado da análise de sólidos suspensos e deixou-se em banho maria a  $100^\circ\text{C}$  até que toda fase líquida fosse evaporada. Transferiram-se as cápsulas para estufa a  $105^\circ\text{C}$  por 2 horas, esperou-as esfriar em dessecador por 45 minutos e obtiveram-se os peso  $P_1$ , os SDT foram calculados em  $\text{mg.L}^{-1}$  a  $105^\circ\text{C}$  pela Equação 4. Na determinação dos SDF as cápsulas foram colocadas com o SDT a  $105^\circ\text{C}$  na mufla e calcinadas a  $550^\circ\text{C}$ , por 1 hora. Esperaram-se esfriar em dessecador por 45 minutos e obtiveram-se os pesos  $P_2$ , o SDF foi calculado em  $\text{mg.L}^{-1}$  a  $550^\circ\text{C}$  pela Equação 5. E SDV foram calculados pela diferença entre os SDT e os SDF.

Na determinação dos SS deixou-se cada amostra do efluente atingir a temperatura ambiente, agitou-se vigorosamente e introduziu-se no cone *Imhoff* (proveta de 1 L) até a marca de 1 L. Após um período de 45 minutos, passou-se um bastão de vidro devagar nas paredes do cone, para os sólidos encostados na parede se sedimentassem, após completar 1 hora, fez-se à leitura no cone *Imhoff* de quantos mL de sólidos foram sedimentados.

Os cálculos para expressão dos resultados de ST, SDT e SST a  $105^\circ\text{C}$  foram realizados de acordo com a Equação 4.

$$\text{ST, SDT e SST a } 105^\circ\text{C (mg. L}^{-1}\text{)} = \frac{(P_1 - P_0) \times 1000 \times 1000}{V} \quad (4)$$

Os cálculos para expressão dos resultados de STF, SDF e SSF a  $550^\circ\text{C}$  foram realizados de acordo com a Equação 5.

$$\text{STF, SDF e SSF a } 550^\circ\text{C (mg. L}^{-1}\text{)} = \frac{(P_2 - P_1) \times 1000 \times 1000}{V} \quad (5)$$

Em que  $P_0$ ,  $P_1$  e  $P_2$  são os pesos determinados em gramas, e  $V$  é o volume em mL das amostras analisadas.

### 3.4 PLANEJAMENTO FATORIAL DO PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO FOTO-FENTON

Após a caracterização, foi realizado um estudo para determinar as melhores  $[\text{Fe}^{2+}]$  e  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  na degradação do efluente têxtil para cada estágio analisado (bruto, de

descarte e de reuso) através do POA foto-Fenton/UV-A por um período de 60 min. Para isso, foi realizado um planejamento fatorial  $2^2$  completo em duplicata e com ponto central em triplicata, com a finalidade de aumentar o grau de liberdade. As variáveis de resposta foram redução de cor, turbidez, DQO e absorção no espectro UV-Vis, nos comprimentos de onda entre 200 nm a 800 nm. Na Tabela 6 encontram-se os fatores e as concentrações para cada nível estudado.

Tabela 6 - Fatores e concentrações para cada nível do planejamento fatorial do processo de degradação do efluente têxtil.

| Fatores                                                 | Níveis      |              |            |
|---------------------------------------------------------|-------------|--------------|------------|
|                                                         | (-)         | 0            | (+)        |
| <b>[Fe<sup>2+</sup>] (mg.L<sup>-1</sup>)</b>            | 5           | 10           | 15         |
| <b>[H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] (mg.L<sup>-1</sup>)</b> | 2,125 x DQO | 3,1875 x DQO | 4,25 x DQO |

Fonte: A Autora (2019).

O valor da [Fe<sup>2+</sup>] no nível (+) do planejamento fatorial foi determinado de acordo com o limite máximo permitido para o lançamento, direto ou indireto, de efluentes de fontes poluidoras nos corpos hídricos pela resolução do CONAMA n° 430 (2011) disposto no capítulo II, seção II Art. 16°, § 2. Já o valor da [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] no nível (0) foi determinado por meio da estequiometria, a partir da DQO de cada efluente analisado (bruto, de descarte e de reuso) e da reação de decomposição do peróxido de hidrogênio, disposta na Equação 6 balanceada. Sabendo-se que o valor da DQO indica a quantidade em mg de O<sub>2</sub> por litro de efluente necessária para estabilizar a matéria orgânica presente no efluente, foi possível relacionar a concentração de peróxido de hidrogênio com a DQO de cada amostra analisada.



O cálculo foi realizado por regra de três simples da seguinte forma: a massa molar do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (34,01 g.mol<sup>-1</sup>) é equivalente à massa molar do radical oxigênio - O<sup>•</sup> (15,999 g.mol<sup>-1</sup>), assim como a [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] é equivalente à DQO da amostra analisada, dessa forma, chegaram-se aos valores apresentados na Tabela 6. Na Tabela 7 encontra-se a matriz planejamento do experimento.

Tabela 7 - Matriz planejamento do POA foto-Fenton.

| Ensaio | Variáveis           |                                  |
|--------|---------------------|----------------------------------|
|        | [Fe <sup>2+</sup> ] | [H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] |
| 1      | -                   | -                                |
| 2      | +                   | -                                |
| 3      | -                   | +                                |
| 4      | +                   | +                                |
| 5      | 0                   | 0                                |

Fonte: A Autora (2019).

Observa-se que o planejamento fatorial 2<sup>2</sup> corresponde à quatro experimentos, os quais foram realizados em duplicata, com triplicata no ponto central. Dessa forma, foram realizados um total de onze experimentos para cada efluente. Cada reação foi executada em placas de Petri, com diâmetro 80 mm e profundidade 15 mm, contendo volumes de 50 mL de amostra. Inicialmente o pH de cada efluente foi ajustado para um valor entre 3 e 4, ideal para reações de Fenton (NIDHEESH, 2015), com adição de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10% (QUÍMICA MODERNA, 95% - 98%).

Foram preparadas soluções de Fe<sup>2+</sup> de modo que 1 mL dessa solução adicionada à 50 mL do efluente correspondessem às concentrações de 5 mg.L<sup>-1</sup>, 10 mg.L<sup>-1</sup> e 15 mg.L<sup>-1</sup>, de acordo com a Equação 7.

$$C_i \cdot V_i = C_f \cdot V_f \quad (7)$$

na qual  $C_i$  é a concentração inicial, correspondente à [Fe<sup>2+</sup>] desejada (5 mg.L<sup>-1</sup>, 10 mg.L<sup>-1</sup> e 15 mg.L<sup>-1</sup>),  $V_i$  é o volume inicial, correspondente à 50 mL da amostra de efluente,  $C_f$  é a concentração final, correspondente à concentração da solução preparada e  $V_f$  é o volume final, correspondente à solução de Fe<sup>2+</sup> adicionado à placa de Petri (1 mL).

De acordo com a concentração desejada foi possível encontrar a concentração  $C_f$  para preparar cada solução, calculou-se a massa de sulfato de ferro II - FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (DINÂMICA, 99%) necessária para diluir em água destilada no balão volumétrico de 100 mL, multiplicando-se o valor da concentração pelo volume do balão, observando-se que foi preciso relacionar a massa molar do FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (278,02 g.mol<sup>-1</sup>) com a massa molar do Fe<sup>2+</sup> (55,845 g.mol<sup>-1</sup>), assim como a pureza da substância.

Também foi necessário calcular a  $[H_2O_2]$  (ISO FAR, 30%) para cada nível do planejamento fatorial, sabendo-se o título (30%), a densidade ( $1,13 \text{ kg.L}^{-1}$ ) e a massa molar ( $34,01 \text{ g.mol}^{-1}$ ), foi possível obter o resultado por meio da Equação 8.

$$C = t \cdot d \quad (8)$$

em que  $C$  é a concentração,  $t$  é o título (0,30) e  $d$  é a densidade ( $1130 \text{ g.L}^{-1}$ ). Portanto, observa-se que a concentração da solução peróxido de hidrogênio disponível ( $C$ ) foi de  $339 \text{ g.L}^{-1}$ .

Sabendo-se essa concentração foi calculado o volume de  $H_2O_2$  necessário para adicionar em cada nível do planejamento a partir da Equação 7. Em que  $C_i$  corresponde à  $[H_2O_2]$  para cada nível,  $V_i$  corresponde ao volume da amostra do efluente empregado no experimento (50 mL),  $C_f$  corresponde à concentração calculada do reagente peróxido de hidrogênio disponível ( $339 \text{ g.L}^{-1}$ ) e  $V_f$  corresponde ao volume do peróxido de hidrogênio para cada concentração dispostas nos níveis do planejamento fatorial.

Inicialmente foi realizado um estudo sobre a influência do ferro na análise da DQO, verificando-se amostras de ferro em água destilada em diferentes concentrações, foi constatado que essas amostras apresentaram DQO insignificantes, praticamente zero, não havendo influência.

Ajustado o pH do efluente, calculados os volumes de  $H_2O_2$  e preparadas as soluções de  $Fe^{2+}$  para cada experimento, foram adicionados 50 mL da amostra nas placas de Petri, com um auxílio de uma proveta, 1 mL da solução  $Fe^{2+}$ , com auxílio de uma pipeta volumétrica, e o  $H_2O_2$ , com o auxílio de uma pipeta automática de (0 – 200)  $\mu\text{L}$  de acordo com a matriz planejamento gerada. Em seguida, deu-se início à reação em batelada, sob radiação UV-A e sem agitação.

Após transcorrido o tempo de reação, foram analisadas a cor, a turbidez, a DQO e a absorção no espectro UV-Vis de cada ensaio, comparando-se com os valores iniciais e determinado a porcentagem relativa de redução de cada um desses parâmetros. Os resultados das variáveis de respostas foram avaliados a partir do *software Statistica 10*, determinando-se as melhores condições de operação de acordo com o custo benefício do processo, utilizadas nas próximas etapas da pesquisa.

### 3.4.1 Teste de toxicidade com sementes de alface

A partir dessa etapa, o estudo foi realizado apenas com o efluente de descarte, visto que a pesquisa tem como objetivo aumentar o volume de efluente de reuso na lavanderia. Após determinação das melhores  $[Fe^{2+}]$  e  $[H_2O_2]$ , realizou-se um estudo de toxicidade para esse ensaio. Para tanto foram empregadas sementes de alface da espécie *Lechuga Mesa 659/Lettuce Great Lakes 659* (alface americana grandes lagos 659, FELTRIN SEMENTES), sem a presença de fungicidas ou pesticidas.

A análise consistiu na exposição das sementes a um volume de 2 mL da amostra do efluente de descarte antes e após o tratamento pelo POA foto-Fenton/UV-A. As amostras do efluente tratado foram analisadas em diferentes concentrações (100%, 30%, 10%, 3% e 1%), os ensaios foram realizados em duplicata. Foram utilizadas placas de Petri, com diâmetro 80 mm e profundidade 15 mm, e papéis filtro quantitativo com 125 mm de diâmetro (UNIFIL, faixa azul) como meio de suporte para as sementes. As quais foram colocadas uma quantidade de 10 sementes espalhadas umas das outras em cada placa, em seguida foram adicionadas as soluções-teste, cobriram-se com papel alumínio para impedir a presença de luz e perda de umidade, foram identificadas e incubadas por um período de 120 horas a uma temperatura de  $25^{\circ}C \pm 1^{\circ}C$ . A água destilada foi utilizada como controle negativo, enquanto uma solução de boro (ácido bórico 3%) foi empregada como controle positivo.

Ao término da incubação, foi avaliada a quantidade de sementes que germinaram nos controles negativos e positivos, bem como em cada uma das amostras antes e pós o tratamento. Foram medidos, utilizando um paquímetro, o crescimento da radícula de cada uma das mudas correspondentes. Dessa forma, foi possível avaliar os resultados por meio de cálculos dos índices de crescimento relativo e de germinação, conforme Equações 9 e 10, respectivamente (YOUNG *et al.*, 2012).

$$ICR = \frac{CRA}{CRC} \quad (9)$$

$$IG = ICR \frac{(SGA)}{(SGC)} \times 100 \quad (10)$$

Em que,  $ICR$  é o índice de crescimento relativo,  $CRA$  é o comprimento da radícula na amostra, em cm,  $CRC$  é o comprimento da radícula no controle negativo,

em cm, *IG* é o índice de germinação em porcentagem, *SGA* é o número de sementes germinadas da amostra e *SGC* é o número de sementes.

O ensaio que apresentou o controle negativo da germinação inferior a 90% deve ser descartado. Segundo Young *et al.* (2012), o valor do ICR é diferenciado em três categorias: o ICR entre 0 e 0,8 significa uma inibição do crescimento, o ICR entre 0,8 e 1,2 expressa um efeito não significativo e ICR maior que 1,2 significa que houve estimulação do crescimento.

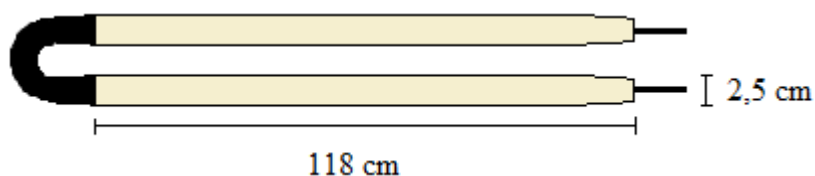
Na avaliação do crescimento radicular, foi levado em consideração apenas as sementes que germinaram, com o surgimento efetivo da radícula, sendo considerado o comprimento da semente que exibiu um maior crescimento. Foi calculado o desvio padrão ( $\sigma$ ) e construído um gráfico do IG (%) *versus* amostras analisadas para melhor compreensão dos resultados. Além disso, foi avaliado se houve algum efeito incomum, como necrose, coloração diferente, presença de manchas, sementes com germinação anormal, desenvolvimento de fungos, entre outros.

### 3.5 REATOR FOTOCATALÍTICO

Foi projetada uma planta piloto do reator fotocatalítico no laboratório de tratamento de efluentes da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, campus Recife. O experimento do POA foto-Fenton/UV-A foi realizado em um reator fotocatalítico, operando em batelada, com recirculação, com capacidade de aproximadamente 2 L.

O sistema fotocatalítico foi produzido com dois tubos de lâmpadas fluorescentes tubular reutilizadas (EMPALUX, FT40216, 36 W), com diâmetro de 2,5 cm e comprimento de 118 cm, portanto, o volume do efluente exposto à radiação foi de 1,16 L, também foram utilizados uma bomba peristáltica (PUMP drive PD5002, Heidolph) para recirculação do efluente, um tanque de armazenamento de 5 L e umas mangueiras para conexão, a representação desse sistema pode ser observada na Figura 8.

Figura 8 - Representação do sistema de tubulação com lâmpadas fluorescentes.



Fonte: A Autora (2019).

A tubulação em U do lado esquerdo das lâmpadas apresentadas na Figura 5 foi utilizado para junção das tubulações, com o diâmetro de 5 cm e comprimento de 38 cm e o material utilizado foi drenoflex bobinado (TIGRE), pois apresenta uma propriedade flexível. O lado direito do sistema representa as mangueiras que foram conectadas à bomba e ao tanque de armazenamento do efluente. As mangueiras interligadas às tubulações de lâmpadas foram conectadas à bomba e ao tanque de armazenamento do efluente, como mostra a Figura 9.

Figura 9 - Sistema de tubulação com lâmpadas fluorescentes, bomba peristáltica e tanque de armazenamento.



Fonte: A Autora (2019).

O sistema de lâmpadas foi inserido em uma caixa de madeira em formato retangular com dimensões: 149 cm, 39 cm e 27,5 cm; o interior da caixa foi todo recoberto por papel alumínio, para reflexão da radiação, e ela comporta em seu

interior, na parte superior, duas lâmpadas com radiação UV-A (reatores eletrônicos TASCHIBRA TF 40 T-8 IY, 40 W), com  $\lambda$  característico de 315 nm a 400 nm, a distância da fonte das lâmpadas com radiação UV-A à tubulação foi de 28 cm, a Figura 10 apresenta a parte externa do sistema elaborado.

Figura 10 - Parte externa do reator fotocatalítico.



Fonte: A Autora (2019).

As mangueiras conectadas às tubulações saem pela caixa por meio de um pequeno orifício na parte superior, uma é conectada à bomba, a qual introduz o efluente do reservatório para a tubulação e a outra é a saída da tubulação que volta para o reservatório, para a recirculação do efluente.

### 3.6 ESTUDO DA VAZÃO

Utilizando-se as melhores  $[\text{Fe}^{2+}]$  e  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  na degradação do efluente de descarte, baseadas nas reduções de cor, turbidez, DQO e absorção no espectro UV-Vis, foi realizado um planejamento simples para determinação da melhor vazão de operação do sistema, o estudo foi realizado variando-se a vazão da bomba em três níveis.

Primeiramente, foi necessário elaborar uma curva analítica da bomba peristáltica, a fim de determinar a vazão a partir de cada velocidade de rotação, visto que ela depende do diâmetro da mangueira utilizada. Sendo assim, determinou-se a vazão a partir do tempo transcorrido para encher uma proveta no volume de 50 mL

para os seguintes valores velocidades da bomba: 40 rpm, 80 rpm, 120 rpm, 160 rpm, 200 rpm e 240 rpm, o procedimento foi realizado em duplicata.

Em seguida, o reator fotocatalítico foi operado variando-se a vazão da bomba em três níveis: 80 rpm, 120 rpm e 140 rpm. Foram adicionados 2 L do efluente ao tanque de armazenamento, o pH do meio foi ajustado para um valor entre 3 e 4 com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  10% e em seguida foram adicionados  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$  30%, e iniciou-se a reação. Em cada ensaio foram analisadas a turbidez, a cor, a DQO e a absorção no espectro UV-Vis a cada hora até completar 8 horas de reação. Após esse período, também foram avaliadas as reduções da cor e da turbidez após filtração, com papel de filtro quantitativo com 125 mm de diâmetro (UNIFIL, faixa azul). Por fim, verificou-se qual a melhor vazão para a degradação do efluente nesse sistema.

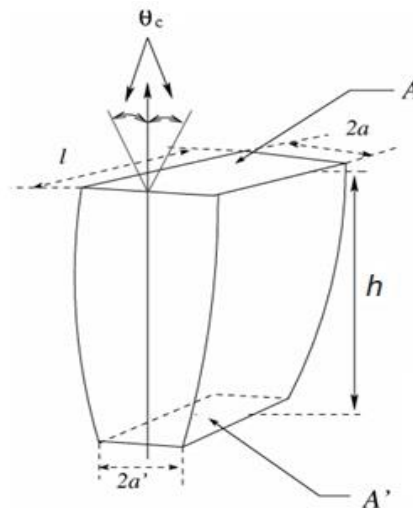
### 3.7 REATOR FOTOCATALÍTICO COM CONCENTRADOR PARABÓLICO COMPOSTO

A fim de concentrar a radiação UV-A e melhorar a eficiência do sistema, foram adicionados CPCs no reator fotocatalítico. Para isso, foi realizado um planejamento para construção do CPC, de acordo com as equações propostas no estudo de Tapia e del Rio (2009) e Duffie e Beckman (2013). Inicialmente foi determinada a concentração da radiação do CPC disponível que obedece a essa configuração, a partir da concentração geométrica ( $C_{geom}$ ), visto que a concentração geométrica coincide com o limite termodinâmico, a qual pode ser calculada pela Equação 11.

$$C_{geom} = \frac{A}{A'} \quad (11)$$

Em que A é a área de abertura do concentrador, A' é a área de saída do concentrador. A representação geométrica do CPC pode ser observada na Figura 11.

Figura 11 - Aspecto geométrico do concentrador parabólico composto e seus parâmetros.



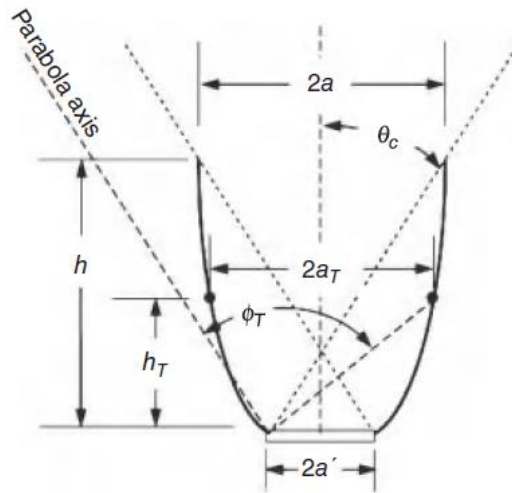
Fonte: TAPIA, DEL RIO (2009).

Observa-se que o CPC é formado por um perfil extrudado, o qual é integrado por dois segmentos de parábola, os quais são espelhados um no outro, e localizados simetricamente em relação a um eixo vertical no centro. Os parâmetros geométricos são: comprimento de abertura de entrada ( $a$ ), comprimento de abertura de saída ( $a'$ ), comprimento da altura do CPC ( $h$ ), comprimento da largura do dispositivo chamado de ( $l$ ); as áreas são indicadas por  $A$  no caso da área de incidência de raios superiores e a área de saída dos raios por  $A'$ . Utilizando a definição de concentração geométrica aplicada ao CPC foi possível obter a Equação 12.

$$C = \frac{A}{A'} = \frac{a \cdot l}{a' \cdot l} = \frac{a}{a'} \quad (12)$$

Esses concentradores, não formadores de imagens, têm a capacidade de refletir para o receptor (tubulação de lâmpadas fluorescentes) toda a radiação incidente na abertura dentro do ângulo de aceitação ( $\theta_c$ ), a radiação difusa dentro desse ângulo também é considerada útil para o concentrador. O ângulo de aceitação está entre o eixo do CPC e a linha que liga o foco de uma das parábolas com a borda oposta da abertura, como mostra a Figura 12.

Figura 12 - Aspecto geométrico do concentrador parabólico composto truncado.



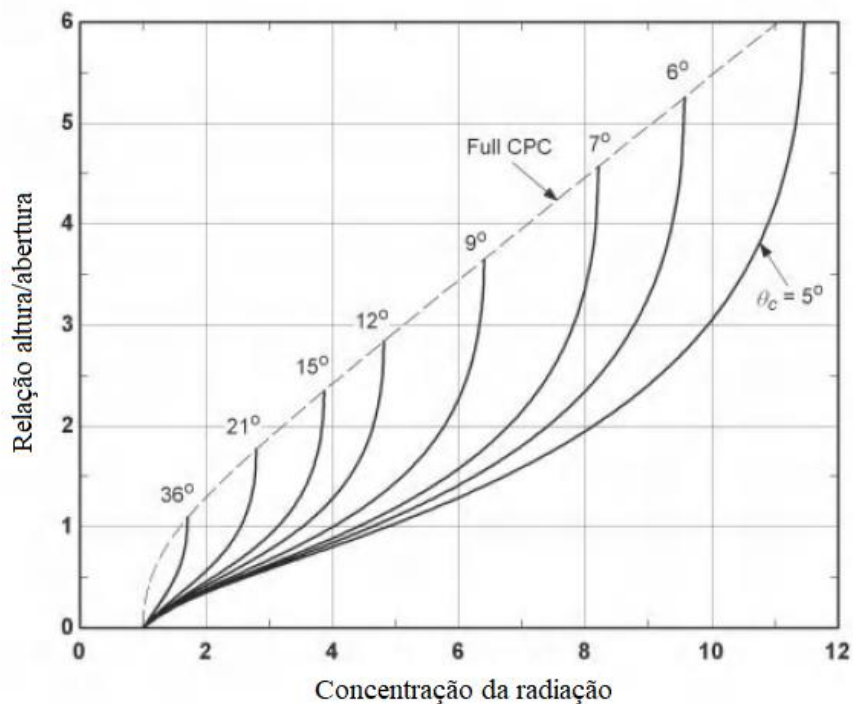
Fonte: DUFFIE, BECKMAN (2013).

Dessa forma, a concentração da radiação pode ser calculada a partir do ângulo de aceitação, de acordo com a Equação 13.

$$C = \frac{1}{\sin \theta_c} \quad (13)$$

Portanto, em um refletor ideal, qualquer radiação que incide entre os ângulos  $\pm \theta_c$  será refletida para o receptor. Um CPC ideal com um ângulo de aceitação de  $23,5^\circ$  terá  $C = 2,51$  e um com ângulo de aceitação de  $11,75^\circ$ ,  $C = 4,91$ . Além disso, na parte superior das parábolas, as superfícies são paralelas em relação ao plano central de simetria do concentrador, dessa forma, os refletores pouco contribuem para que a radiação alcance o absorvedor. Assim, o concentrador pode ser truncado de uma altura  $h$  para uma altura  $h_T$ , economizando área do refletor e sem grande impacto no seu desempenho. O efeito do truncamento é mostrado para CPC ideal na Figuras 13, a qual apresenta um gráfico da relação altura/abertura em função de  $C$  e  $\theta_c$ .

Figura 13 - Razão altura/abertura para CPC truncado em função de  $C$  e  $\theta_c$ .

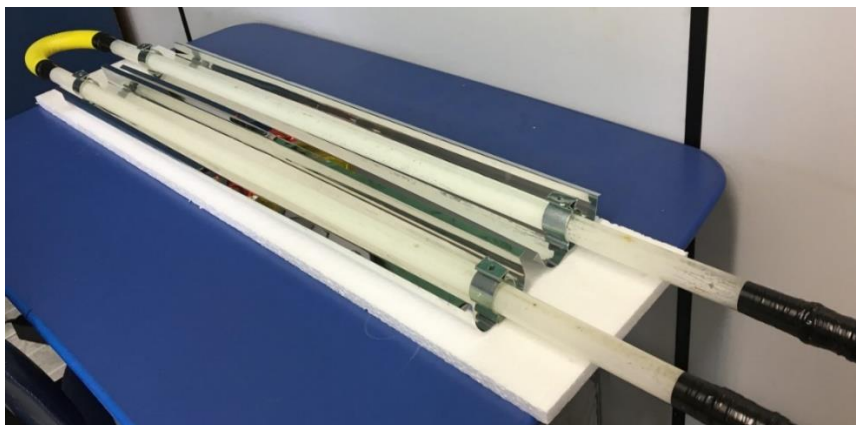


Fonte: DUFFIE, BECKMAN (2013).

A partir das Equações 12 e 13 foram calculados a concentração da radiação e o ângulo de aceitação, respectivamente. De acordo com esses resultados e pelo gráfico da Figura 13 foi encontrado o valor da altura truncada para um CPC ideal.

Após o estudo apresentado, foi construído o CPC utilizado no reator fotocatalítico. Ele foi moldado a partir de uma chapa de alumínio, apresentado na Figura 14, foi preciso pôr uma folha de isopor com dimensões 100 cm x 22 cm x 1,5 cm para apoiar o CPC, já que a tubulação de lâmpadas fluorescentes recicladas foram supostas por abraçadeiras de aço de 2,54 cm adaptadas com parafusos, porcas e arruelas de aço.

Figura 14 - Sistema de tubulação com CPCs.



Fonte: A Autora (2019).

Após determinadas as melhores concentrações de íon  $\text{Fe}^{2+}$ , peróxido de hidrogênio e vazão volumétrica da bomba para a degradação do efluente têxtil analisado, foi realizado o pós-tratamento do efluente pelo POA foto-Fenton/UV-A utilizando CPC e em seguida foram avaliadas as reduções de cor, turbidez, DQO e absorbância no espectro UV-Vis, nessas condições, das amostras a cada hora por um período de 8 horas de reação. Por fim, foi realizado um estudo sobre as vantagens do tratamento e reutilização da água tratada na lavanderia.

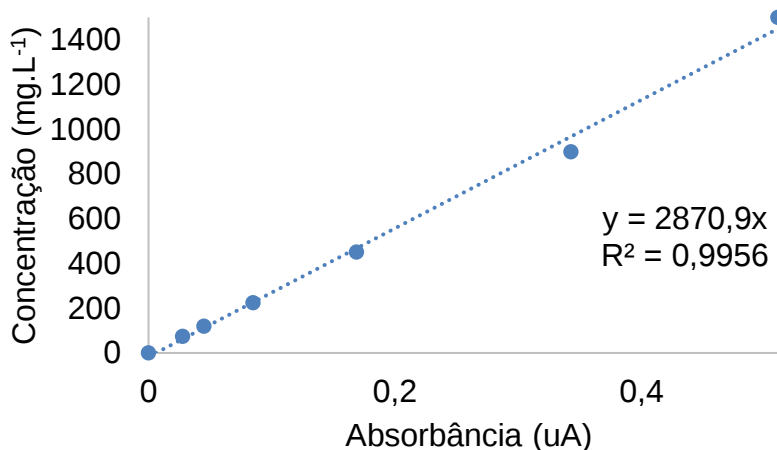
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico estão dispostos os resultados e discussão obtidos por meio da metodologia apresentada, na direção dos objetivos estabelecidos. Inicialmente será apresentada a caracterização dos efluentes analisados e da água de lavagem, seguida das determinações das melhores condições experimentais via planejamentos fatorial e simples das  $[\text{Fe}^{2+}]$  e  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  e da vazão, respectivamente. Em seguida, o estudo direciona para o efluente de descarte, a fim de tratá-lo pelo POA foto-Fenton/UV-A utilizando um reator fotocatalítico constituído por tubulação de lâmpadas fluorescentes reutilizadas, bomba peristáltica e CPCs, assim como serão apresentados o teste de toxicidade utilizando sementes de alface. Os resultados foram avaliados através das reduções de cor, turbidez, DQO e absorção no espectro UV-Vis.

### 4.1 CURVA ANALÍTICA DE DQO

Inicialmente foi necessário construir uma curva analítica para determinar a DQO das amostras desconhecidas. Para isso, foram preparadas soluções padrões na faixa analítica da DQO analisada, de  $75 \text{ mg.L}^{-1}$  a  $1500 \text{ mg.L}^{-1}$  e os valores da absorbância foram lidos no espectrofotômetro de UV-Vis, como pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 - Curva analítica para análise de DQO.



Fonte: A Autora (2019).

A curva analítica, presente na Figura 15, está de acordo com a lei de Lambert-Beer, a qual relaciona a absorvância com a concentração de forma linear e se aplica a análise de radiações monocromáticas. Ou seja, a absorvância é proporcional à concentração e o coeficiente de determinação foi de 0,9956 ( $R^2 = 0,9956$ ) o que demonstra um bom ajuste ao modelo proposto.

#### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES

Inicialmente foi realizada a caracterização dos efluentes bruto, de descarte e de reuso, através dos parâmetros: pH, cor aparente, condutividade, turbidez, DQO, DBO (Tabela 8). As análises foram realizadas em triplicata, e o resultado disposto foi a média dos valores, a temperatura ambiente.

Tabela 8 - Valores dos parâmetros analisados na caracterização dos efluentes.

| <b>Parâmetros</b>                               | <b>Efluente bruto</b> | <b>Efluente de descarte</b> | <b>Efluente de reuso</b> |
|-------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|
| <b>pH</b>                                       | 7,3                   | 7,9                         | 8,9                      |
| <b>Cor aparente (uH)</b>                        | 578                   | 310                         | 200                      |
| <b>Condutividade (<math>\mu\text{S}</math>)</b> | 5.690                 | 8.640                       | 9.450                    |
| <b>Turbidez (NTU)</b>                           | 258,0                 | 90,8                        | 46,9                     |
| <b>DQO (<math>\text{mg.L}^{-1}</math>)</b>      | 1.151,6               | 623,0                       | 378,4                    |
| <b>DBO (<math>\text{mg.L}^{-1}</math>)</b>      | 280,0                 | 280,0                       | 340,0                    |

Fonte: A Autora (2019).

A partir dos resultados obtidos na Tabela 8, observa-se que o efluente bruto apresenta uma razão de DQO/DB de 4,1; o que indica uma fração de inerte elevada, baixa biodegradabilidade, sendo indicado um tratamento físico químico, o qual é empregado na ETE da lavanderia em estudo. Já o efluente de descarte apresenta uma razão de DQO/DBO de 2,2; o que significa uma biodegradabilidade intermediária, podendo utilizar um tratamento químico ou biológico, por meio de estudos adicionais. O efluente de reuso, por sua vez, apresenta uma razão de 1,1; ou seja, apresenta uma fração biodegradável elevada e é provavelmente indicada para um tratamento biológico.

O valor da DQO indica a quantidade em mg de  $\text{O}_2$  por litro de efluente necessária para estabilizar a matéria orgânica, portanto, é uma indicação indireta do

teor de matéria orgânica total presente (biodegradável + oxidada quimicamente). Essa análise superestima o oxigênio a ser consumido no tratamento biológico dos despejos, os interferentes são substâncias inertes e inorgânicas.

Os valores do pH dos efluentes bruto (7,3), de descarte (7,9) e de reuso (8,9) apresentou um caráter básico. Conforme os valores verificados na maioria dos trabalhos descritos na literatura, devido à adição de grandes quantidades de sais alcalinos para a fixação dos corantes à fibra. Os três efluentes analisados se encontram dentro dos limites permitidos para lançamento de efluente em corpos hídricos, de acordo com o CONAMA N°430/2011, com pH entre 5 e 9. No entanto, a redução da DQO do efluente de descarte foi de apenas 46%, a qual não se encontra dentro do limite permitido, sendo necessário um pós-tratamento do efluente.

A partir dos resultados da condutividade da Tabela 8, foi possível determinar o volume para a análise da série de sólidos. As condutividades elétricas dos efluentes foram superiores a 3.000  $\mu\text{S}$ , dessa forma, o volume da amostra utilizada foi de 50 mL.

A Tabela 9 mostra os valores dos pesos  $P_0$ ,  $P_1$  e  $P_2$ , para cada tipo de efluente. As análises foram realizadas em triplicata, e o resultado disposto foi a média dos dois valores mais próximos.

Tabela 9 - Resultado das massas, em grama, do ensaio de série de sólidos.

|            | Efluente bruto |           |           | Efluente de descarte |           |           |
|------------|----------------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-----------|
|            | $P_0$ (g)      | $P_1$ (g) | $P_2$ (g) | $P_0$ (g)            | $P_1$ (g) | $P_2$ (g) |
| <b>ST</b>  | 48,237         | 48,413    | 48,376    | 65,594               | 65,867    | 65,843    |
| <b>SST</b> | 80,485         | 80,496    | 80,49     | 61,832               | 61,834    | 61,833    |
| <b>SDT</b> | 37,07          | 37,236    | 37,206    | 24,041               | 24,262    | 24,254    |

Fonte: A Autora (2019).

Tabela 9 - Continuação

| Efluente de reuso |           |           |           |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|
|                   | $P_0$ (g) | $P_1$ (g) | $P_2$ (g) |
| <b>ST</b>         | 66,269    | 66,561    | 66,544    |
| <b>SST</b>        | 30,918    | 30,919    | 30,919    |
| <b>SDT</b>        | 31,681    | 31,875    | 31,85     |

Fonte: A Autora (2019).

Por meio da Tabela 9 e das Equações 4 e 5, foram calculados os resultados de ST, SDT e SST a 105°C e de STF, SDF e SSF a 550°C. Além disso, os sólidos voláteis foram calculados a partir da diferença entre os cálculos dos sólidos totais e dos sólidos fixos. Os resultados se encontram na Tabela 10.

Tabela 10 - Resultados da série de sólidos em mg.L<sup>-1</sup>.

| <b>Efluentes</b> | <b>ST<br/>(mg.L<sup>-1</sup>)</b> | <b>STF<br/>(mg.L<sup>-1</sup>)</b> | <b>STV<br/>(mg.L<sup>-1</sup>)</b> | <b>SST<br/>(mg.L<sup>-1</sup>)</b> | <b>SSF<br/>(mg.L<sup>-1</sup>)</b> | <b>SSV<br/>(mg.L<sup>-1</sup>)</b> |
|------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Bruto</b>     | 3516                              | 730                                | 2786                               | 220                                | 108                                | 112                                |
| <b>Descarte</b>  | 5468                              | 488                                | 4980                               | 34                                 | 16                                 | 18                                 |
| <b>Reuso</b>     | 5838                              | 344                                | 5494                               | 28                                 | 8                                  | 20                                 |

Fonte: A Autora (2019).

Tabela 10 – Continuação.

| <b>Efluentes</b> | <b>SDT (mg.L<sup>-1</sup>)</b> | <b>SDF (mg.L<sup>-1</sup>)</b> | <b>SDV (mg.L<sup>-1</sup>)</b> |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <b>Bruto</b>     | 3322                           | 610                            | 2712                           |
| <b>Descarte</b>  | 4420                           | 166                            | 4254                           |
| <b>Reuso</b>     | 3892                           | 514                            | 3378                           |

Fonte: A Autora (2019).

Os sólidos sedimentáveis foram obtidos em mL.L<sup>-1</sup> e estão dispostos na Tabela 11. Considerando-se como sólidos decantáveis aqueles que são capazes de sedimentar naturalmente no período de 1 hora

Tabela 11 - Resultado de sólidos sedimentáveis por litro de amostra.

| <b>Efluentes</b> | <b>SS (mL.L<sup>-1</sup>)</b> |
|------------------|-------------------------------|
| <b>Bruto</b>     | 18                            |
| <b>Descarte</b>  | 4                             |
| <b>Reuso</b>     | 2                             |

Fonte: A Autora (2019).

De acordo com os resultados apresentados nas Tabelas 10 e 11, pode-se observar elevados valores de sólidos no efluente têxtil. Todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos e inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos.

Ao submeter os sólidos a uma combustão, a temperatura elevada de 550°C, a fração orgânica é oxidada (volatilizada), permanecendo após a combustão apenas a

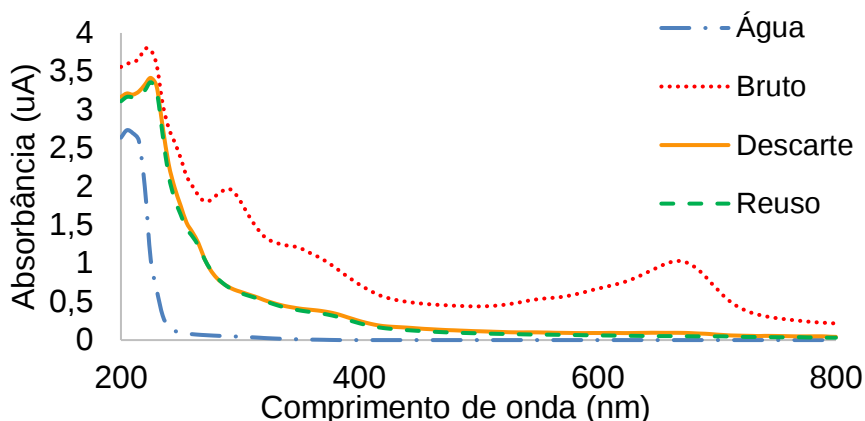
fração inerte (não oxidada). Os sólidos voláteis representam uma estimativa da matéria orgânica nos sólidos, ao passo que os sólidos não voláteis (fixos ou inertes) representam a matéria inorgânica ou mineral.

Os altos valores de SS presentes nos efluentes são resultantes da presença de material particulado oriundo de pedaços de tecidos, jeans e abrasivos utilizados na lavanderia, mesmo após o tratamento, os efluentes de descarte ( $4 \text{ mL.L}^{-1}$ ) e reuso ( $2 \text{ mL.L}^{-1}$ ) apresentaram materiais particulados. Esses valores não estão de acordo com as condições dispostas na legislação para o descarte do efluente em corpo receptor, a qual institui que os sólidos grosseiros e materiais flutuantes devem ser virtualmente ausentes. Já os SST estão de acordo com a legislação (eficiência mínima de redução de 20%), uma vez que a redução de SST foi de 85%, comparando-se o efluente bruto ( $220 \text{ mg.L}^{-1}$ ) com o efluente de descarte ( $34 \text{ mg.L}^{-1}$ ) (BRASIL, 2011).

Esses sólidos presentes no efluente podem ser atribuídos à presença de sais dissolvidos, como sulfatos, sais de sódio, carbonatos e cloretos, utilizados no processo produtivo. Quando esses sais são dissociados em meio aquoso expressam a condutividade elétrica, sendo possível estabelecer uma correlação entre a quantidade de sólidos dissolvidos e a condutividade da amostra, da seguinte forma: a condutividade de  $1.000 \mu\text{S.cm}^{-1}$  corresponde a quantidade de aproximadamente  $1.000 \text{ mg.L}^{-1}$  de sólidos dissolvidos. No entanto, essa correlação não foi constatada para os efluentes analisados, visto que a condutividade foi muito maior do que a quantidade de SDT, portanto, o efluente pode ter maior quantidade de SDT do que o determinada na análise (PIZATO *et al*, 2016).

Além desses parâmetros, para identificação dos comprimentos de onda de absorção característicos dos efluentes bruto, de descarte e de reuso, foi realizada uma análise de varredura no espectro UV-Vis, entre  $\lambda$  de 200 nm e 800 nm, em intervalos de 5 nm. A partir dessa análise pelo espectrofotômetro UV-Vis, obteve-se como resultado um gráfico da absorbância molecular *versus*  $\lambda$  da água de lavagem dos efluentes bruto, de descarte e de reuso, presente na Figura 16.

Figura 16 - Espectro de absorção no espectro UV-Vis da água e dos efluentes bruto, de descarte e de reuso.



Fonte: A Autora (2019).

Ao analisar a Figura 16, observa-se que os grupos cromóforos presentes no efluente bruto se evidenciam nos comprimentos de onda entre 600 nm e 700 nm. Além disso, observaram-se picos nos  $\lambda$  entre 218 nm e 290 nm. Segundo Paulino, Araújo e Salgado (2015) essa faixa é característica dos hidrocarbonetos aromáticos presentes nas moléculas orgânicas dos corantes. Já os efluentes de descarte e de reuso apresentaram um significativo decaimento em relação ao efluente bruto, o que mostra um bom tratamento realizado pela lavanderia.

Após a caracterização dos três estágios de efluentes coletados na lavanderia, foi realizada a caracterização da água utilizada nas lavagens e tingimentos dos tecidos. Sabendo-se que o estudo foi baseado nas reduções de cor, turbidez, DQO e absorção no espectro UV-Vis, foram analisados apenas esses parâmetros na caracterização dessa amostra.

O espectro de absorção UV-Vis, apresentado na Figura 16, mostra para água de lavagem que entre os  $\lambda$  de 200 nm a 350 nm há um pico na absorbância, o que significa que existem interferentes na própria matriz que contribuem para a absorção nessa região. Os outros parâmetros analisados na caracterização da água de lavagem estão dispostos na Tabela 12.

Tabela 12 - Valores dos parâmetros analisados na caracterização da água de lavagem.

| <b>Parâmetros</b>              | <b>Água de lavagem</b> |
|--------------------------------|------------------------|
| <b>pH</b>                      | 8,5                    |
| <b>Cor (uH)</b>                | 7,0                    |
| <b>Turbidez (NTU)</b>          | 3,8                    |
| <b>DQO (mg.L<sup>-1</sup>)</b> | 42,5                   |

Fonte: A Autora (2019).

Observa-se que a água utilizada na lavanderia apresenta uma boa qualidade. Sabendo-se que a água de reuso é misturada com a água que a lavanderia coleta de um poço próximo, o estudo visa melhorar a qualidade do efluente de descarte, a fim de deixar os parâmetros analisados próximos ou melhores do que os obtidos para o efluente de reuso. Desse modo, poder-se-á reutilizar maior porcentagem de água no processo e, dessa forma, contribuir para a sustentabilidade da região.

#### 4.3 PLANEJAMENTO FATORIAL DO PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO FOTO-FENTON

Após a caracterização, foi feito um estudo por meio do planejamento fatorial 2<sup>2</sup> a fim de determinar as melhores [Fe<sup>2+</sup>] e [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] para a degradação do efluente têxtil pelo POA foto-Fenton utilizando radiação UV-A. Esse planejamento foi realizado para os três tipos de efluentes estudados: bruto, de descarte e de reuso. Os resultados dos parâmetros analisados em cada ensaio do planejamento se encontram nas Tabelas A1 a A3.

A partir da Tabela 8, observa-se que o efluente bruto apresenta turbidez igual a 258 NTU, cor igual a 578 uH e DQO igual a 1.151,6 mg.L<sup>-1</sup>. Conforme a Tabela 6, a [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] para esse efluente no maior nível é igual a 4.894,3 mg.L<sup>-1</sup>, no ponto central é igual a 3.670,7 mg.L<sup>-1</sup>, e no menor nível é igual a 2.447,2 mg.L<sup>-1</sup>. Após a reação de oxidação, foram analisadas a cor, a turbidez e a DQO de cada ensaio e comparando-se com os valores iniciais, foi possível calcular a porcentagem relativa de redução de cada um desses parâmetros. A Tabela 13 apresenta os resultados dessa análise, ou seja, as variáveis de respostas do efluente bruto.

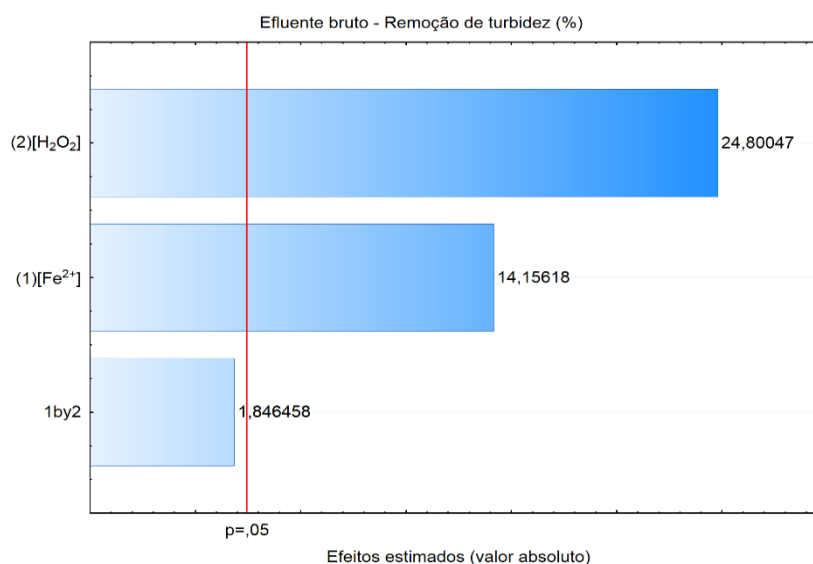
Tabela 13 - Variáveis de resposta: redução de cor, turbidez e DQO do efluente bruto.

| [Fe <sup>2+</sup> ] | [H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] | Nº da replicata | Redução - Turbidez (%) | Redução - Cor (%) | Redução - DQO (%) |
|---------------------|----------------------------------|-----------------|------------------------|-------------------|-------------------|
| -                   | -                                | 1               | 75,81                  | 62,80             | 33,97             |
| +                   | -                                | 1               | 79,42                  | 72,15             | 39,03             |
| -                   | +                                | 1               | 82,56                  | 70,59             | 40,38             |
| +                   | +                                | 1               | 86,55                  | 75,09             | 43,16             |
| 0                   | 0                                | 1               | 83,37                  | 72,66             | 40,52             |
| 0                   | 0                                | 1               | 83,22                  | 73,36             | 41,44             |
| 0                   | 0                                | 1               | 83,91                  | 72,49             | 42,84             |
| -                   | -                                | 2               | 76,09                  | 62,28             | 34,37             |
| +                   | -                                | 2               | 79,07                  | 69,55             | 39,23             |
| -                   | +                                | 2               | 81,63                  | 71,11             | 40,06             |
| +                   | +                                | 2               | 86,20                  | 75,61             | 43,01             |

Fonte: A Autora (2019).

Para uma melhor compreensão dos dados obtidos e determinação da melhor condição de trabalho, foi realizada uma análise estatística com auxílio do *software Statistica 10*, a partir dos resultados dispostos na Tabela 13. Foram verificados os efeitos principais e de interações entre os fatores para 95% de confiança nos níveis estudados, por meio do diagrama de Pareto e pelo ajuste de superfície de resposta, presentes nas Figuras 17 a 20.

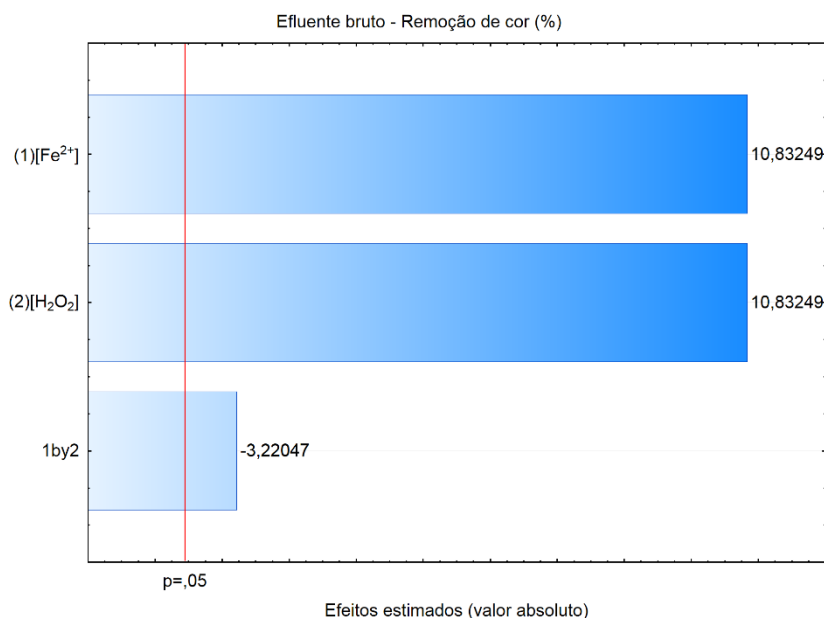
Figura 17 - Diagrama de Pareto referente à redução em porcentagem turbidez do efluente bruto.



Fonte: A Autora (2019).

De acordo com o diagrama de Pareto apresentado na Figura 17, observa-se que os efeitos principais das  $[\text{Fe}^{2+}]$  e  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  são significativos na redução da turbidez do efluente bruto para 95% de confiança. No entanto, o efeito de interação dos dois fatores não é significativo.

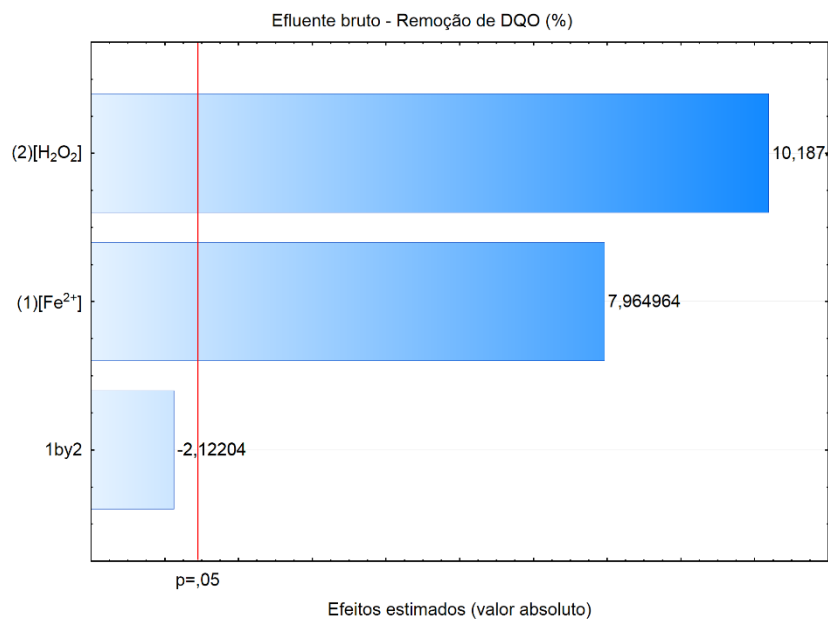
Figura 18 - Diagrama de Pareto referente à redução em porcentagem da cor do efluente bruto.



Fonte: A Autora (2019).

De acordo com o diagrama de Pareto apresentado na Figura 18, observa-se que tanto os efeitos principais como os de interação das  $[\text{Fe}^{2+}]$  e  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  são significativos na redução da cor do efluente bruto para 95% de confiança, necessitando da elaboração do gráfico de superfície.

Figura 19 - Diagrama de Pareto referente à redução em porcentagem da DQO do efluente bruto.

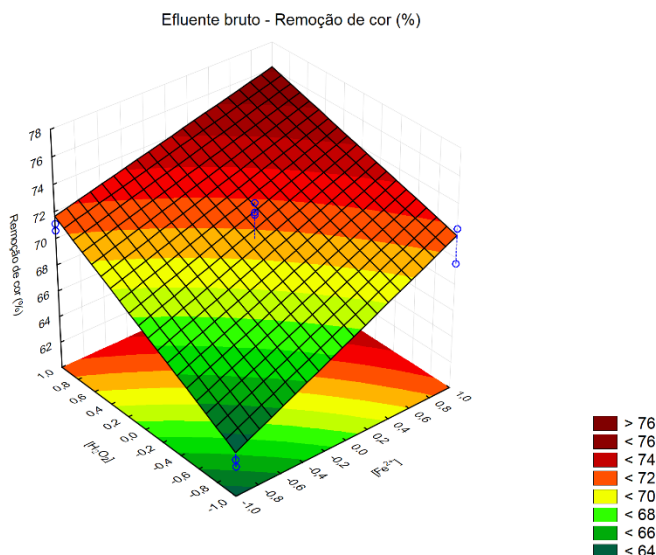


Fonte: A Autora (2019).

De acordo com o diagrama de Pareto apresentado na Figura 19, observa-se que os efeitos principais e de interação das [Fe<sup>2+</sup>] e [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] não são significativos na redução da DQO do efluente bruto para 95% de confiança.

Conforme os diagramas apresentados, observa-se que para o efluente bruto, o único efeito de interação significativo foi o da a redução da cor, dessa forma, só foi possível analisar a superfície de resposta desse parâmetro, a qual está disposta na Figura 20.

Figura 20 - Superfície de resposta referente à redução em porcentagem da cor do efluente bruto.

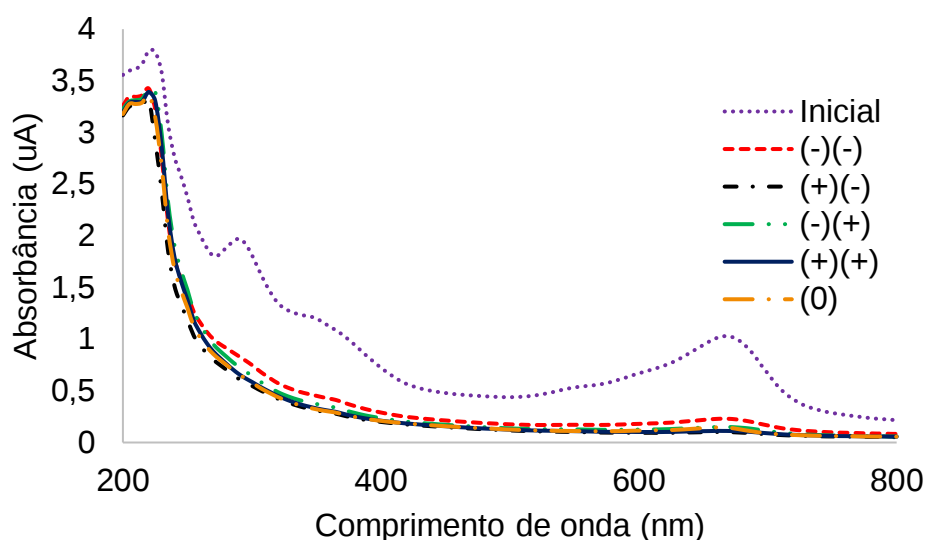


Fonte: A Autora (2019).

De acordo com a superfície de resposta referente à redução em porcentagem da cor do efluente bruto, presente na Figura 20, foi possível observar que o maior percentual de redução se encontra nos maiores níveis das  $[Fe^{2+}]$  e  $[H_2O_2]$ , corroborando os resultados obtidos para turbidez e DQO.

Além disso, foi determinado o espectro de absorção, na faixa de  $\lambda$  de 200 nm a 800 nm, com intervalos de 5 nm, para cada ensaio do planejamento fatorial do efluente bruto. Foi efetuada uma média aritmética dos ensaios em replicata e os resultados da absorbância para cada  $\lambda$  se encontram na Tabela B1. Com base nesses dados, foi elaborado o gráfico da Figura 21.

Figura 21 - Espectro de absorção molecular para cada ensaio do planejamento fatorial do efluente bruto.



Fonte: A Autora (2019).

De acordo com os espectros de absorção UV-Vis de cada ensaio do planejamento fatorial, presente da Figura 21, observa-se que após um período de 60 minutos de reação de oxidação ocorreu uma significativa degradação dos grupos cromóforos presentes nas moléculas do efluente têxtil, os resultados de cada ensaio apresentaram aproximadamente o mesmo comportamento.

A partir da Tabela 8, observa-se que o efluente de descarte apresenta a turbidez igual a 90,8 NTU, a cor igual a 310 uH e a DQO igual a 623,0 mg.L<sup>-1</sup>. Conforme a Tabela 6, a [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] para esse efluente no maior nível é igual a 2.647,8 mg.L<sup>-1</sup>, no ponto central é igual a 1.985,8 mg.L<sup>-1</sup>, e no menor nível é igual a 1.323,9 mg.L<sup>-1</sup>. Após a reação de oxidação, foram analisadas a cor, a turbidez e a DQO de cada ensaio e comparando-se com os valores iniciais, foi possível calcular a porcentagem relativa de redução de cada um desses parâmetros, a Tabela 14 apresenta os resultados dessa análise, ou seja, as variáveis de respostas do efluente de descarte.

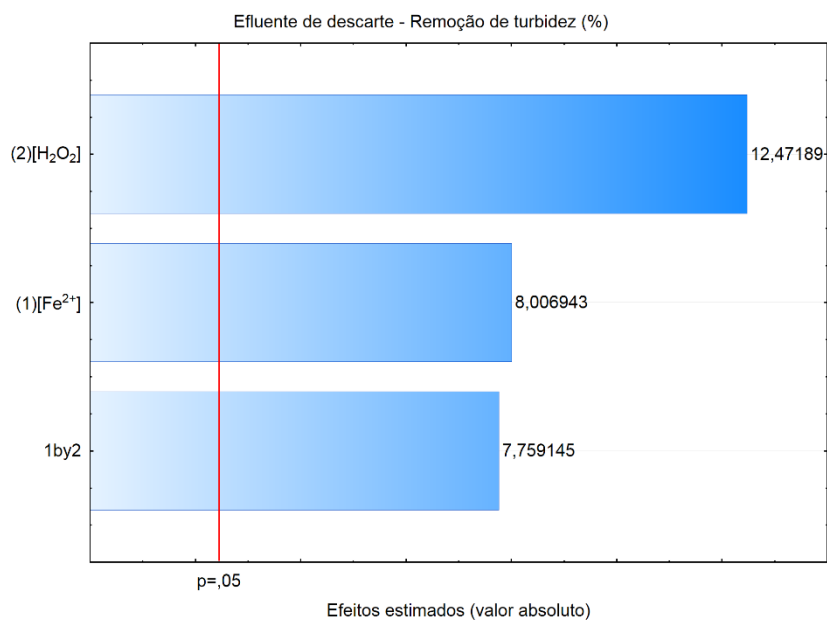
Tabela 14 - Variáveis de resposta: redução de cor, turbidez e DQO do efluente de descarte.

| [Fe <sup>2+</sup> ] | [H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] | Replicata | Redução -<br>Turbidez (%) | Redução -<br>Cor (%) | Redução -<br>DQO (%) |
|---------------------|----------------------------------|-----------|---------------------------|----------------------|----------------------|
| -                   | -                                | 1         | 28,19                     | 12,90                | 25,17                |
| +                   | -                                | 1         | 28,96                     | 17,74                | 26,18                |
| -                   | +                                | 1         | 30,84                     | 19,03                | 29,39                |
| +                   | +                                | 1         | 41,52                     | 25,81                | 32,15                |
| 0                   | 0                                | 1         | 32,10                     | 18,39                | 28,07                |
| 0                   | 0                                | 1         | 30,12                     | 19,03                | 27,87                |
| 0                   | 0                                | 1         | 31,16                     | 18,71                | 27,93                |
| -                   | -                                | 2         | 29,07                     | 11,94                | 25,70                |
| +                   | -                                | 2         | 28,63                     | 18,06                | 26,59                |
| -                   | +                                | 2         | 32,71                     | 19,03                | 29,16                |
| +                   | +                                | 2         | 43,06                     | 25,16                | 32,43                |

Fonte: A Autora (2019).

Para uma melhor compreensão dos dados obtidos e determinação da melhor condição de trabalho, foi realizada uma análise estatística com auxílio do *software Statistica 10*, a partir dos resultados dispostos na Tabela 14. Foram verificados os efeitos principais e de interações entre os fatores para 95% de confiança nos níveis estudados, por meio do diagrama de Pareto e pelo ajuste de superfície de resposta, presentes nas Figuras 22 a 26.

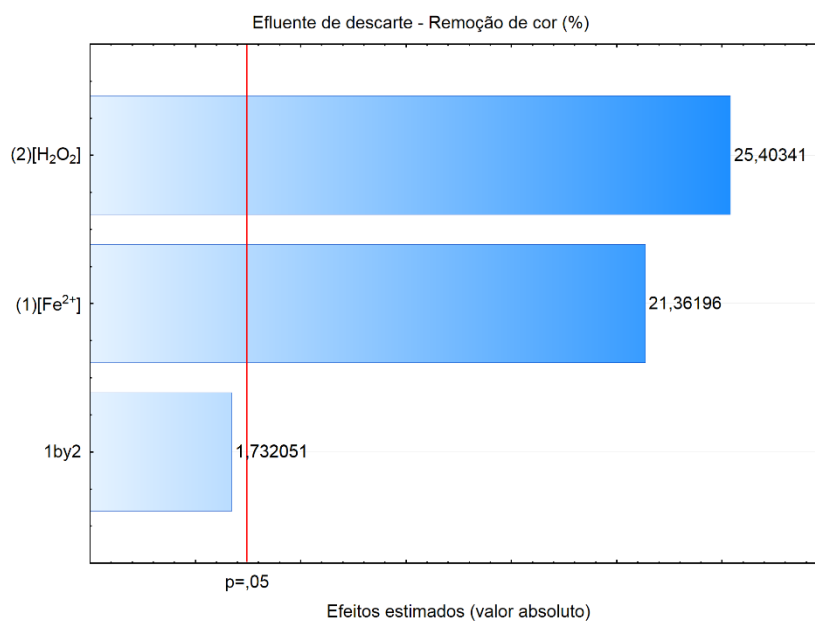
Figura 22 - Diagrama de Pareto referente à redução em porcentagem da turbidez do efluente de descarte.



Fonte: A Autora (2019).

De acordo com o diagrama de Pareto apresentado na Figura 22, observa-se que os efeitos principais e de interação das [Fe<sup>2+</sup>] e [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] são significativos na redução da turbidez do efluente de descarte para 95% de confiança.

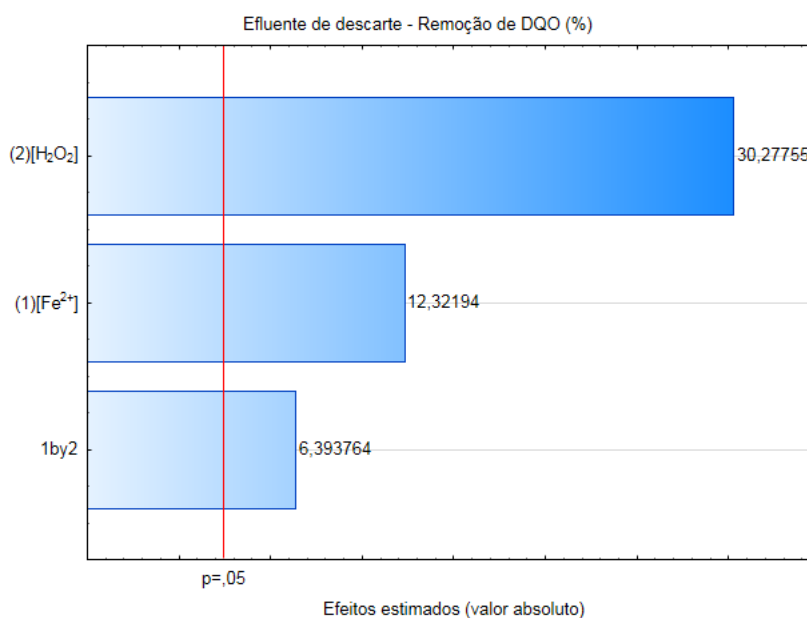
Figura 23 - Diagrama de Pareto referente à redução em porcentagem da cor do efluente de descarte.



Fonte: A Autora (2019).

De acordo com o diagrama de Pareto apresentado na Figura 22, observa-se que os efeitos principais das  $[\text{Fe}^{2+}]$  e  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  são significativos na redução da cor do efluente de descarte para 95% de confiança. No entanto o efeito de interação dos dois fatores não é significativo.

Figura 24 - Diagrama de Pareto referente à redução em porcentagem da DQO do efluente de descarte.

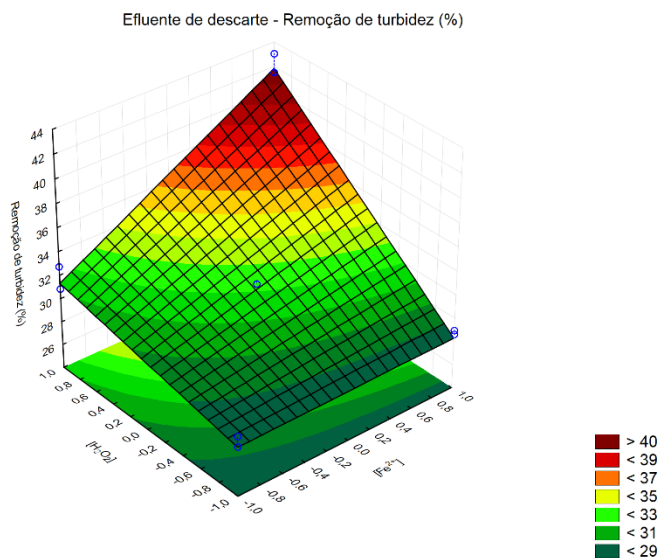


Fonte: A Autora (2019).

De acordo com o diagrama de Pareto apresentado na Figura 24, observa-se que os efeitos principais e de interação das  $[\text{Fe}^{2+}]$  e  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  são significativos na redução da DQO do efluente de descarte para 95% de confiança.

Conforme os diagramas apresentados, observa-se que para o efluente de descarte, os efeitos de interação significativos foram os das reduções da turbidez e da DQO, dessa forma, foi possível analisar as superfícies de resposta desses parâmetros, as quais estão dispostas na Figura 25 e 26. A Figura 25 apresenta a superfície de resposta referente à redução da turbidez em porcentagem do efluente de descarte.

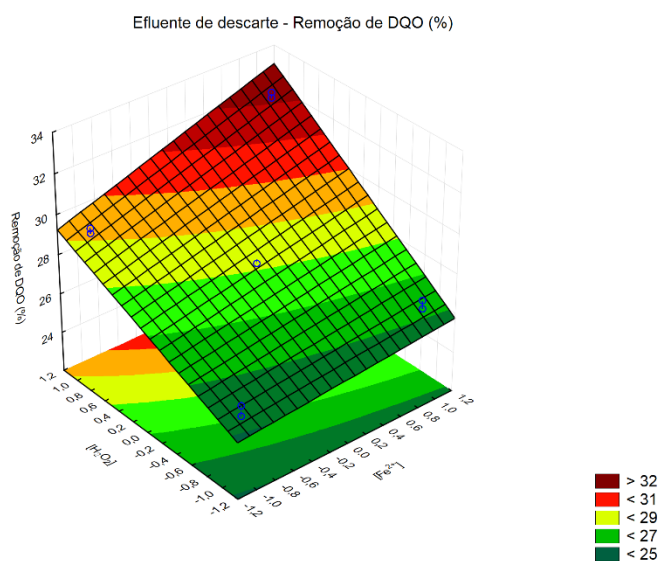
Figura 25 - Superfície de resposta referente à redução em porcentagem da turbidez do efluente de descarte.



Fonte: A Autora (2019).

A Figura 26 apresenta a superfície de resposta referente à redução em porcentagem da DQO do efluente de descarte.

Figura 26 - Superfície de resposta referente à redução em porcentagem da DQO do efluente de descarte.

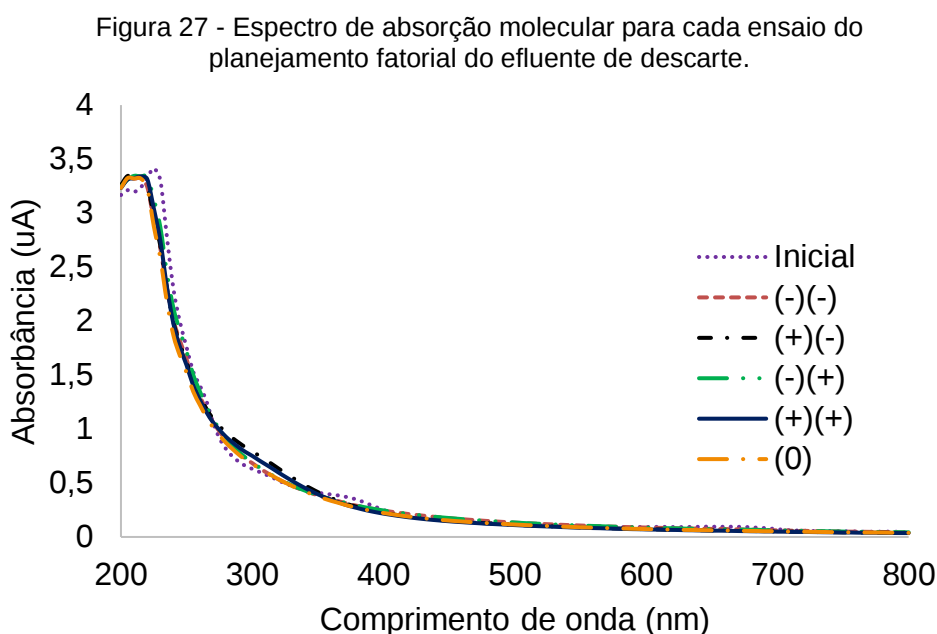


Fonte: A Autora (2019).

De acordo com as superfícies de resposta referente às reduções em porcentagem da turbidez e da DQO do efluente de descarte, presentes nas Figura 25

e 26, foi possível observar que o maior percentual de redução nos dois casos se encontra nos maiores níveis das  $[\text{Fe}^{2+}]$  e  $[\text{H}_2\text{O}_2]$ .

Além disso, foi determinado o espectro de absorção, na faixa de  $\lambda$  de 200 nm a 800 nm, com intervalos de 5 nm, para cada ensaio do planejamento fatorial do efluente de descarte. Foi efetuada uma média aritmética dos ensaios em replicata e os resultados da absorbância para cada  $\lambda$  se encontram na Tabela B2. Com base nesses dados, foi possível construir o gráfico da Figura 27.



Fonte: A Autora (2019).

De acordo com os espectros de absorção UV-Vis de cada ensaio do planejamento fatorial para o efluente de descarte, presente da Figura 27, observa-se que após um período de 60 min de reação de oxidação os resultados do efluente inicial e de cada ensaio apresentaram aproximadamente o mesmo comportamento, visto que o pré-tratamento da lavanderia já promove uma boa decantação das moléculas de corantes presentes no efluente têxtil e consequentemente os grupos cromóforos não são absorvidos na análise.

A partir da Tabela 6, observa-se que o efluente de reuso apresenta a turbidez igual a 46,9 NTU, a cor igual a 200 uH e a DQO igual a 378,4  $\text{mg.L}^{-1}$ . Conforme a Tabela 5, a  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  para esse efluente no maior nível é igual a 1.608,2  $\text{mg.L}^{-1}$ , no ponto central é igual a 1.206,2  $\text{mg.L}^{-1}$ , e no menor nível é igual a 804,1  $\text{mg.L}^{-1}$ . Após a reação de oxidação, foram analisadas a cor, a turbidez e a DQO de cada ensaio e

comparando-se com os valores iniciais, foi possível calcular a porcentagem relativa de redução de cada um desses parâmetros. A Tabela 15 apresenta os resultados dessa análise, ou seja, as variáveis de respostas do efluente de reuso.

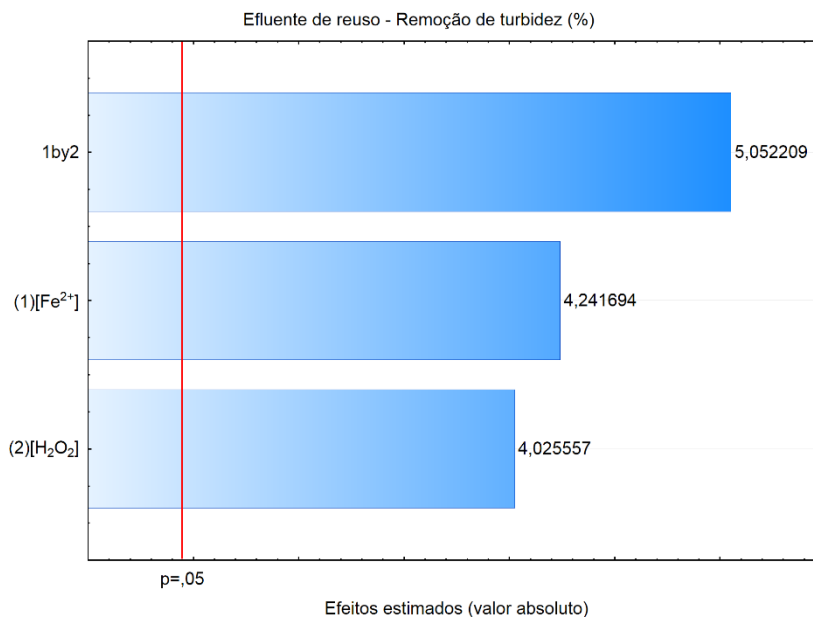
Tabela 15 - Variáveis de resposta: redução de cor, turbidez e DQO do efluente de reuso.

| [Fe <sup>2+</sup> ] | [H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] | Replicata | Redução -<br>Turbidez (%) | Redução -<br>Cor (%) | Redução -<br>DQO (%) |
|---------------------|----------------------------------|-----------|---------------------------|----------------------|----------------------|
| -                   | -                                | 1         | 17,27                     | 15,50                | 24,38                |
| +                   | -                                | 1         | 14,29                     | 28,50                | 26,19                |
| -                   | +                                | 1         | 16,84                     | 13,00                | 29,82                |
| +                   | +                                | 1         | 32,20                     | 47,50                | 33,39                |
| 0                   | 0                                | 1         | 29,64                     | 25,00                | 30,07                |
| 0                   | 0                                | 1         | 23,45                     | 23,00                | 30,80                |
| 0                   | 0                                | 1         | 31,34                     | 22,50                | 30,33                |
| -                   | -                                | 2         | 16,42                     | 15,00                | 23,40                |
| +                   | -                                | 2         | 16,20                     | 29,00                | 25,80                |
| -                   | +                                | 2         | 12,79                     | 14,00                | 29,54                |
| +                   | +                                | 2         | 34,12                     | 47,00                | 32,99                |

Fonte: A Autora (2019).

Para uma melhor compreensão dos dados obtidos e determinação da melhor condição de trabalho, foi realizada uma análise estatística com auxílio do *software Statística 10*, pelo modelo de erro puro, a partir dos resultados dispostos na Tabela 15. Foram verificados os efeitos principais e de interações entre os fatores para 95% de confiança nos níveis estudados, por meio do diagrama de Pareto e pelo ajuste de superfície de resposta, presentes nas Figuras de 28 a 33.

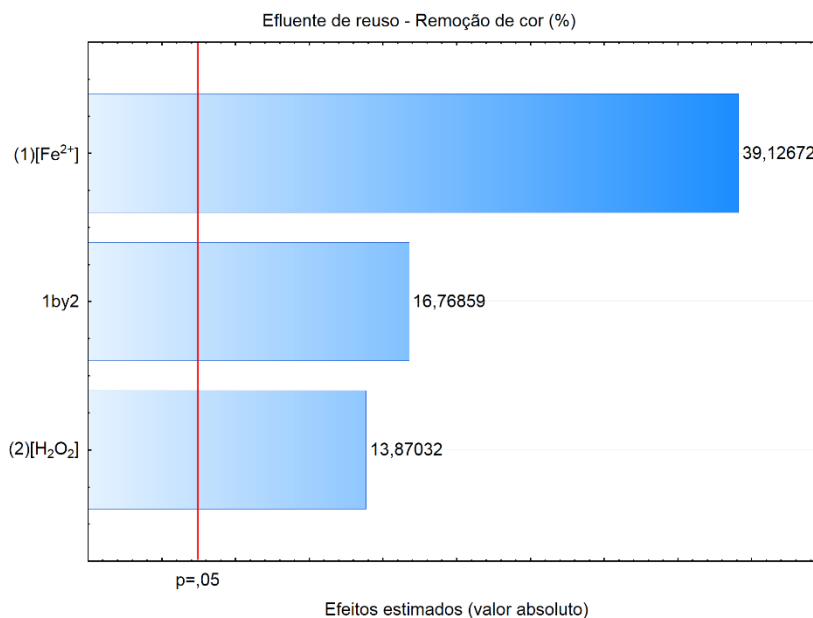
Figura 28 - Diagrama de Pareto referente à redução em porcentagem da turbidez do efluente de reuso.



Fonte: A Autora (2019).

De acordo com o diagrama de Pareto apresentado na Figura 28, observa-se que os efeitos principais e de interação das [Fe<sup>2+</sup>] e [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] são significativos na redução da turbidez do efluente de reuso para 95% de confiança.

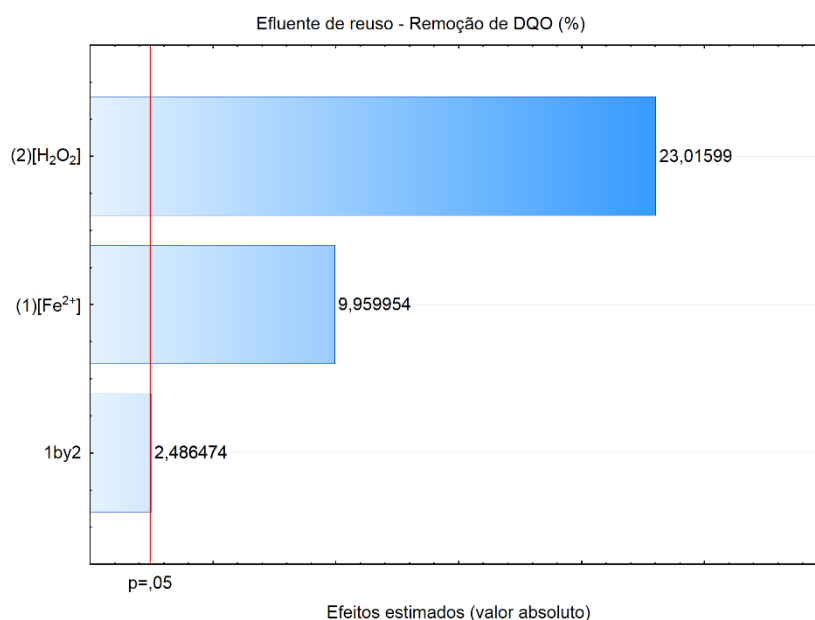
Figura 29 - Diagrama de Pareto referente à redução em porcentagem da cor do efluente de reuso.



Fonte: A Autora (2019).

De acordo com o diagrama de Pareto apresentado na Figura 29, observa-se que os efeitos principais e de interação  $[\text{Fe}^{2+}]$  e  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  são significativos na redução da cor do efluente de reuso para 95% de confiança.

Figura 30 - Diagrama de Pareto referente à redução em porcentagem da DQO do efluente de reuso.

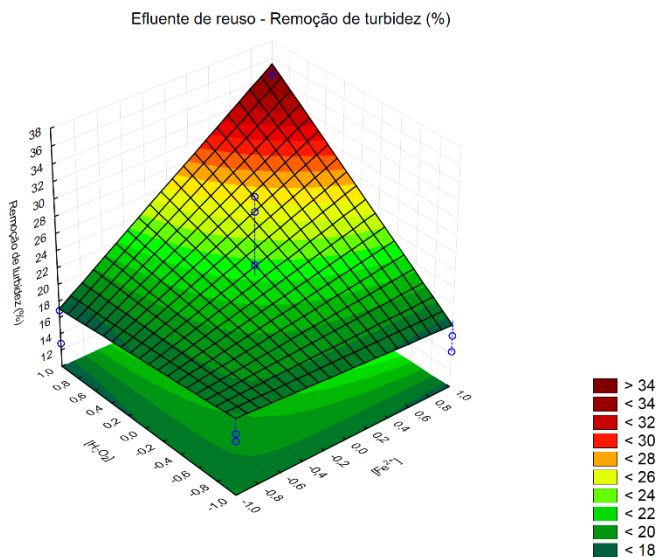


Fonte: A Autora (2019).

De acordo com o diagrama de Pareto apresentado na Figura 30, observa-se que os efeitos principais e de interação das  $[\text{Fe}^{2+}]$  e  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  são significativos na redução da DQO do efluente de reuso para 95% de confiança.

Conforme os diagramas apresentados, observa-se que para o efluente de reuso, os efeitos de interação são significativos nas reduções da turbidez, da cor e da DQO, dessa forma, foi possível analisar as superfícies de resposta desses parâmetros, as quais estão dispostas nas Figuras de 31 a 33.

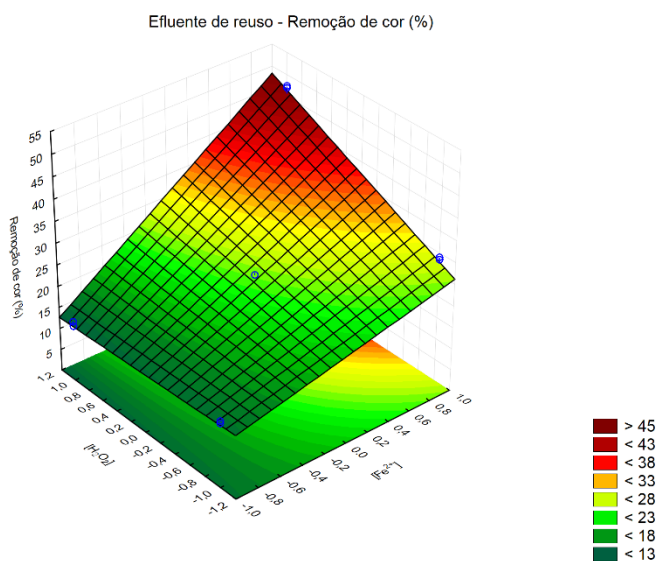
Figura 31 - Superfície de resposta referente à redução em porcentagem da turbidez do efluente de reuso.



Fonte: A Autora (2019).

De acordo com a superfície de resposta referente à redução em porcentagem da turbidez do efluente de reuso, presente na Figura 31, foi possível observar que o maior percentual de redução se encontra nos maiores níveis das [Fe<sup>2+</sup>] e [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>].

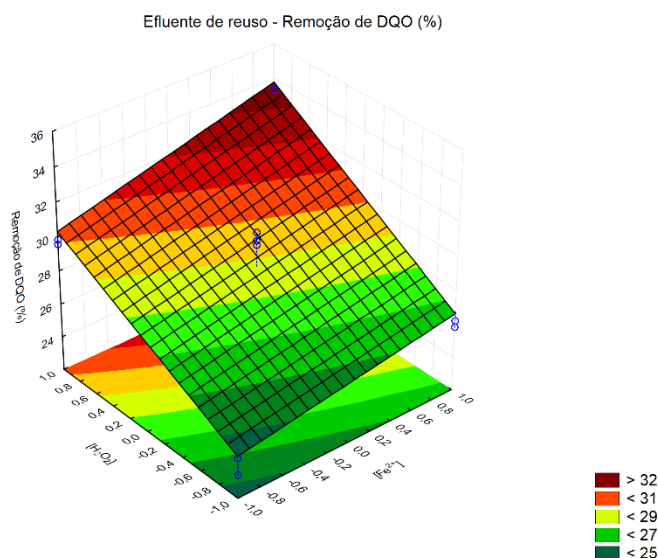
Figura 32 - Superfície de resposta referente à redução em porcentagem da cor do efluente de reuso.



Fonte: A Autora (2019).

De acordo com a superfície de resposta referente à redução em porcentagem da cor do efluente de reuso, presente na Figura 32, foi possível observar que o maior percentual de redução se encontra nos maiores níveis das  $[\text{Fe}^{2+}]$  e  $[\text{H}_2\text{O}_2]$ .

Figura 33 - Superfície de resposta referente à redução em porcentagem da DQO do efluente de reuso.

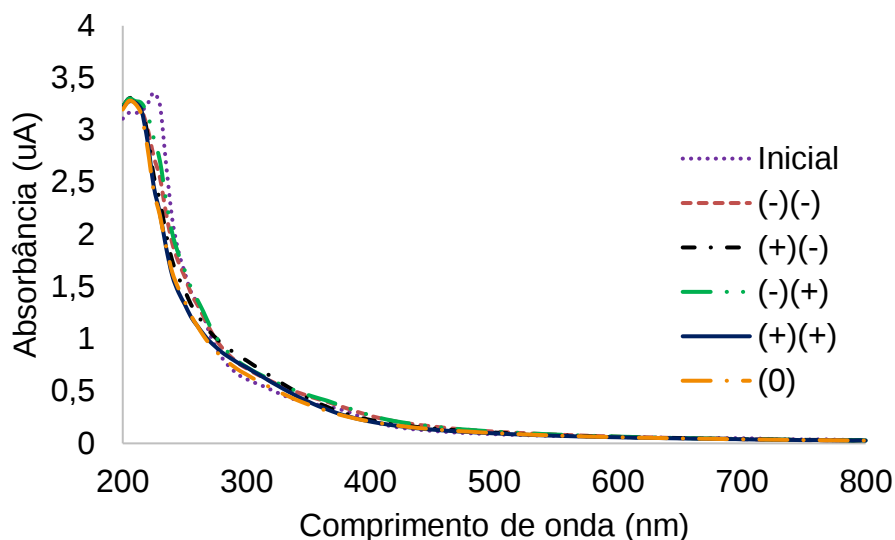


Fonte: A Autora (2019).

De acordo com as superfícies de resposta referente às reduções da turbidez, da cor e da DQO em porcentagem do efluente de reuso, presentes nas Figuras 31 a 33, foi possível observar que o maior percentual de redução nos três casos se encontra nos maiores níveis das  $[\text{Fe}^{2+}]$  e  $[\text{H}_2\text{O}_2]$ .

Além disso, foi determinado o espectro de absorção, na faixa de  $\lambda$  de 200 nm a 800 nm, com intervalos de 5 nm, para cada ensaio do planejamento fatorial do efluente de reuso. Foi efetuada uma média aritmética dos ensaios em replicata e os resultados da absorbância para cada  $\lambda$  se encontram na Tabela B3. Com base nesses dados, foi possível construir o gráfico da Figura 34.

Figura 34 - Espectro de absorção molecular para cada ensaio do planejamento fatorial do efluente de reuso.



Fonte: A Autora (2019).

De acordo com os espectros de absorção UV-Vis de cada ensaio do planejamento fatorial para o efluente de reuso, presente da Figura 34, observa-se que após um período de 60 min de reação de oxidação os resultados do efluente inicial e de cada ensaio apresentaram aproximadamente o mesmo comportamento, visto que o pré-tratamento da lavanderia já promove uma boa decantação das moléculas de corantes presentes no efluente têxtil e consequentemente os grupos cromóforos não são absorvidos na análise.

De modo geral, nota-se que as melhores  $[\text{Fe}^{2+}]$  e  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  para a degradação dos três estágios de efluente têxtil pelo POA foto-Fenton com radiação UV-A foram as apresentadas nos maiores níveis do estudo. Observa-se também que, para os parâmetros analisados, em alguns casos não houve efeito significativo de interação entre as  $[\text{Fe}^{2+}]$  e  $[\text{H}_2\text{O}_2]$ , notando-se que o processo oxidativo realizado não é necessariamente o Fenton.

A partir dessa etapa, as próximas análises foram realizadas apenas com o efluente de descarte, visto que o estudo visa melhorar a qualidade desse efluente, a fim de deixar os parâmetros analisados próximos ou melhores do que o efluente de reuso, para que possa reutilizar maior porcentagem de água no processo produtivo da lavanderia.

No estudo de Stroparo *et al.* (2017) foi avaliada a eficiência da degradação do efluente da purificação do biodiesel pelo POA foto-Fenton utilizando planejamento

fatorial 2<sup>2</sup>, empregando as mesmas variáveis. Os resultados mostram que as duas variáveis influenciam o tratamento. No entanto, elas podem ser otimizadas de forma independente, sabendo-se que a influência da [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] foi mais significativa. A [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] teve um aumento relativo de 36% na redução da área espectral quando variou sua concentração de 150 mg.L<sup>-1</sup> para 250 mg.L<sup>-1</sup> e a [Fe<sup>2+</sup>], teve um aumento relativo de 5% na redução da área espectral quando variou-se a concentração de 5 mg.L<sup>-1</sup> para 15 mg.L<sup>-1</sup>.

Considerando as melhores condições de trabalho, observa-se que o efluente de descarte teve uma redução média de turbidez igual a 42,3%, uma redução média da cor igual a 25,5% e uma redução média da DQO igual a 32,3% comparando-o com os parâmetros analisados inicialmente do mesmo efluente. No entanto, se comparar com o efluente bruto, as reduções desses parâmetros foram de 79,7%, 60,0% e 63,4% respectivamente.

A fim de reduzir a turbidez e a cor, foi realizada uma filtração simples com papel de filtro quantitativo (UNIFIL, Ø 12,5 cm), na melhor condição de operação, a turbidez diminuiu de 52,4 para 10,8 e a cor diminuiu de 231 para 60, apresentando um resultado positivo no tratamento do efluente de descarte. Dessa forma, a redução da turbidez foi de 95,8% e a redução da cor foi de 89,6% relativos ao efluente bruto. Isso mostra que houve um efeito de coagulação/floculação do Fe<sup>3+</sup>, que exerceu um efeito da redução da cor e da turbidez, atuando junto com a oxidação. Já para redução da DQO, aumentou-se o tempo de reação do POA foto-Fenton UV-A nas próximas etapas, visto que o aumento do tempo aumenta a degradação da matéria orgânica.

#### 4.4 TESTE DE TOXICIDADE

As amostras analisadas no teste de toxicidade foram: controle negativo, controle positivo, efluente de descarte antes do tratamento, efluente de descarte após o tratamento pelo POA foto-Fenton/UV-A em diferentes concentrações. No controle negativo, com água destilada, o teste foi realizado em duplicata, na primeira análise, 9 de 10 sementes apresentaram germinação e na segunda, 10 de 10 sementes germinaram, ou seja, o índice de germinação (IG) foi de 95%, já no controle positivo com solução de ácido bórico a 3%, nenhuma semente germinou nas duas análises realizadas em duplicata, ou seja, o IG foi de 0%, esses resultados se encontram na Tabela 16.

Tabela 16 - Índices de germinação em porcentagem dos controles negativos e positivos do teste de toxicidade.

| Controle negativo |          |           | Controle positivo |          |           |
|-------------------|----------|-----------|-------------------|----------|-----------|
|                   | Ensaio I | Ensaio II |                   | Ensaio I | Ensaio II |
| IG (%)            | 100      | 90        | IG (%)            | 0        | 0         |
| IG médio (%)      | 95       |           | IG médio (%)      | 0        |           |

Fonte: A Autora (2019).

Para calcular o ICR das amostras analisadas, como apresentada na Equação 9, foi considerado o comprimento radicular da semente que apresentou maior crescimento e foi calculado o desvio padrão. Inicialmente, foi necessário calcular o CRC, presente na Tabela 17.

Tabela 17 - Comprimento das radículas no controle negativo em centímetro para análises em duplicata.

| Sementes | Ensaio I (cm) | Ensaio II (cm) |
|----------|---------------|----------------|
| 1        | 3,25          | 3,46           |
| 2        | 2,84          | 2,88           |
| 3        | 3,89          | 2,54           |
| 4        | 3,21          | 3,99           |
| 5        | 2,99          | 3,87           |
| 6        | 3,02          | 3,55           |
| 7        | 3,48          | 3,23           |
| 8        | 2,97          | 3,89           |
| 9        | 3,75          | 3,22           |
| 10       | 3,87          | 0,00           |

Fonte: A Autora (2019).

De acordo com a Tabela 17, o CRC foi  $3,99 \text{ cm} \pm 0,42 \text{ cm}$ . Em seguida foi calculado o CRA do efluente de descarte antes do tratamento e do efluente de descarte após o tratamento pelo POA foto-Fenton/UV-A em diferentes concentrações. Os resultados se encontram na Tabela 18.

Tabela 18 - Comprimento da radícula das amostras (CRA) em centímetro para análises em duplicata.

| <b>Efluente de descarte tratado pelo POA foto-Fenton/UV-A em diferentes diluições</b> |               |                |               |                |               |                |               |                |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| <b>Efluente de descarte antes do tratamento</b>                                       |               |                | <b>1%</b>     |                | <b>3%</b>     |                | <b>10%</b>    |                |
| <b>Sementes</b>                                                                       | <b>I (cm)</b> | <b>II (cm)</b> | <b>I (cm)</b> | <b>II (cm)</b> | <b>I (cm)</b> | <b>II (cm)</b> | <b>I (cm)</b> | <b>II (cm)</b> |
| <b>1</b>                                                                              | 2,47          | 1,85           | 4,25          | 4,21           | 4,23          | 4,21           | 3,87          | 4,04           |
| <b>2</b>                                                                              | 1,98          | 1,79           | 4,33          | 3,97           | 4,19          | 3,99           | 4,02          | 3,79           |
| <b>3</b>                                                                              | 2,08          | 2,32           | 3,99          | 4,03           | 3,97          | 4,23           | 3,98          | 3,98           |
| <b>4</b>                                                                              | 2,10          | 2,06           | 4,10          | 4,32           | 3,99          | 4,32           | 3,84          | 3,87           |
| <b>5</b>                                                                              | 0,00          | 2,32           | 3,89          | 4,31           | 4,05          | 4,29           | 3,98          | 4,02           |
| <b>6</b>                                                                              | 0,00          | 0,00           | 4,32          | 4,19           | 4,29          | 3,87           | 3,79          | 3,47           |
| <b>7</b>                                                                              | 0,00          | 0,00           | 4,33          | 4,29           | 4,32          | 3,43           | 4,01          | 3,96           |
| <b>8</b>                                                                              | 0,00          | 0,00           | 4,20          | 4,20           | 4,21          | 3,69           | 0,00          | 3,98           |
| <b>9</b>                                                                              | 0,00          | 0,00           | 0,00          | 4,26           | 0,00          | 4,20           | 0,00          | 0,00           |
| <b>10</b>                                                                             | 0,00          | 0,00           | 0,00          | 0,00           | 0,00          | 0,00           | 0,00          | 0,00           |

Fonte: A Autora (2019).

Tabela 18 - Continuação.

| <b>Efluente de descarte tratado pelo POA foto-Fenton/UV-A em diferentes diluições</b> |               |                |               |                |               |                |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| <b>Efluente de descarte antes do tratamento</b>                                       |               |                | <b>30%</b>    |                | <b>100%</b>   |                |
| <b>Sementes</b>                                                                       | <b>I (cm)</b> | <b>II (cm)</b> | <b>I (cm)</b> | <b>II (cm)</b> | <b>I (cm)</b> | <b>II (cm)</b> |
| <b>1</b>                                                                              | 2,47          | 1,85           | 3,26          | 3,44           | 3,25          | 2,96           |
| <b>2</b>                                                                              | 1,98          | 1,79           | 3,49          | 3,39           | 3,3           | 3,28           |
| <b>3</b>                                                                              | 2,08          | 2,32           | 3,44          | 3,5            | 3,31          | 3,05           |
| <b>4</b>                                                                              | 2,1           | 2,06           | 3,51          | 3,39           | 2,98          | 3,26           |
| <b>5</b>                                                                              | 0             | 2,32           | 3,49          | 3,47           | 3,03          | 3,29           |
| <b>6</b>                                                                              | 0             | 0              | 3,35          | 3,51           | 3,27          | 3,08           |
| <b>7</b>                                                                              | 0             | 0              | 3,43          | 3,49           | 3,14          | 2,99           |
| <b>8</b>                                                                              | 0             | 0              | 0             | 3,46           | 0             | 0              |
| <b>9</b>                                                                              | 0             | 0              | 0             | 0              | 0             | 0              |
| <b>10</b>                                                                             | 0             | 0              | 0             | 0              | 0             | 0              |

Fonte: A Autora (2019).

De acordo com a Tabela 18, encontrou-se o CRA das amostras analisadas e calculou-se o ICR por meio da Equação 9, sabendo-se que o CRC foi de 3,99 cm, os resultados se encontram dispostos na Tabela 19.

Tabela 19 - Valores do CRA e ICR para as sementes testadas nos ensaios de toxicidade, com seus respectivos desvios padrão.

|                 | <b>Efluente tratado em diferentes diluições</b> |             |             |             |
|-----------------|-------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                 | <b>Efluente de descarte</b>                     | <b>1%</b>   | <b>3%</b>   | <b>10%</b>  |
| <b>CRA (cm)</b> | 2,47                                            | 4,33        | 4,32        | 4,04        |
| <b>ICR</b>      | 0,62 ± 1,02                                     | 1,09 ± 0,14 | 1,08 ± 0,21 | 1,01 ± 0,13 |

Fonte: A Autora (2019).

Tabela 19 - Continuação.

|                 | <b>Efluente tratado em diferentes diluições</b> |             |
|-----------------|-------------------------------------------------|-------------|
|                 | <b>30%</b>                                      | <b>100%</b> |
| <b>CRA (cm)</b> | 3,51                                            | 3,31        |
| <b>ICR</b>      | 0,88 ± 0,06                                     | 0,83 ± 0,13 |

Fonte: A Autora (2019).

Observa-se que o efluente de descarte antes do tratamento apresentou ICR menor que 0,8, o que expressa uma inibição do crescimento radicular e, conseqüente, toxicidade do efluente utilizando sementes de alface. Enquanto que o efluente de descarte após o tratamento pelo POA foto-Fenton/UV-A em diferentes concentrações apresentou efeito não significativo, ou seja, não apresentou toxicidade utilizando sementes de alface, uma vez que todos os valores do ICR ficaram entre 0,8 e 1,2.

De acordo com a Tabela 18, também se encontrou o número de sementes germinadas (SGA) das amostras analisadas e calculou-se o IG por meio da Equação 10, sabendo-se que o SGC utilizado no teste foi igual a 10, os resultados se encontram dispostos na Tabela 20.

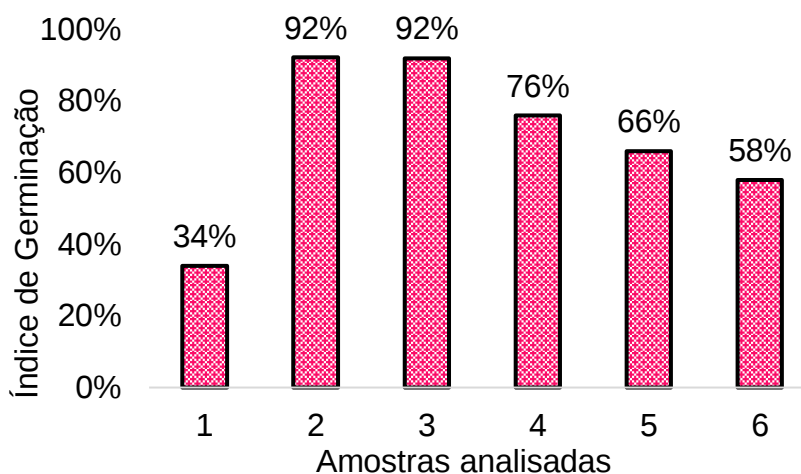
Tabela 20 - Valores do SGA e IG para as sementes testadas nos ensaios de toxicidade.

|               | <b>Efluente tratado em diferentes concentrações</b> |           |           |            |            |             |
|---------------|-----------------------------------------------------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|
|               | <b>Efluente de descarte</b>                         | <b>1%</b> | <b>3%</b> | <b>10%</b> | <b>30%</b> | <b>100%</b> |
| <b>SGA</b>    | 5,5                                                 | 8,5       | 8,5       | 7,5        | 7,5        | 7           |
| <b>IG (%)</b> | 34                                                  | 92        | 92        | 76         | 66         | 58          |

Fonte: A Autora (2019).

A partir dos resultados encontrados na Tabela 20, foi construído um gráfico do IG (%) *versus* amostras analisadas para melhor compreensão dos resultados, presente na Figura 35.

Figura 35 - Gráfico do índice de germinação *versus* amostras analisadas.



Fonte: A Autora (2019).

A Figura 32 apresenta o IG de cada amostra analisada. No eixo das abcissas mostra valores de 1 a 6 que significam respectivamente efluente de descarte antes do tratamento, efluente de descarte após o tratamento pelo POA foto-Fenton/UV-A nas concentrações 1%, 3%, 10%, 30% e 100%, respectivamente. Dessa forma, ressalta-se que o IG do efluente de descarte antes do tratamento foi baixo, apresentando um valor de 34%, e apresentou efeito de toxicidade utilizando sementes de alface, já o efluente de descarte tratado em diferentes concentrações apresentou o IG alto e não apresentou toxicidade utilizando sementes de alface. Comparando-se o IG do efluente de descarte antes do tratamento (34%) com o IG do efluente de descarte após o tratamento concentrado (58%), observa-se que o IG aumentou em 71%. Apresentando um bom tratamento proposto em relação ao teste de toxicidade.

#### 4.5 DETERMINAÇÃO DA MELHOR VAZÃO NO REATOR FOTOCATALÍTICO POR MEIO DE UM PLANEJAMENTO SIMPLES

Sabendo-se que as melhores  $[\text{Fe}^{2+}]$  e  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  no efluente de descarte, a partir do estudo realizado pelo planejamento fatorial, foram de  $15 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $2.647,8 \text{ mg.L}^{-1}$ , respectivamente, e que o tratamento pelo POA foto-Fenton/UV-A apresentou um resultado positivo em relação à toxicidade utilizando sementes de alface, foi construído um reator fotocatalítico apresentado no item 3.5 da metodologia e foi realizado um estudo para determinar a melhor vazão do sistema a partir de um planejamento simples, variando a vazão em 3 níveis, foram eles nas velocidades: 80 rpm, 120 rpm e 140 rpm.

Primeiramente, foi necessário elaborar uma curva analítica da bomba peristáltica, a fim de determinar a vazão para cada velocidade de rotação. Variando-se a velocidade da bomba nos valores de 40 rpm, 80 rpm, 120 rpm, 160 rpm, 200 rpm e 240 rpm e o tempo foi cronometrado até preencher o volume de uma proveta de 50 mL na saída do sistema, o procedimento foi realizado em duplicata, estando os resultados apresentados na Tabela 21.

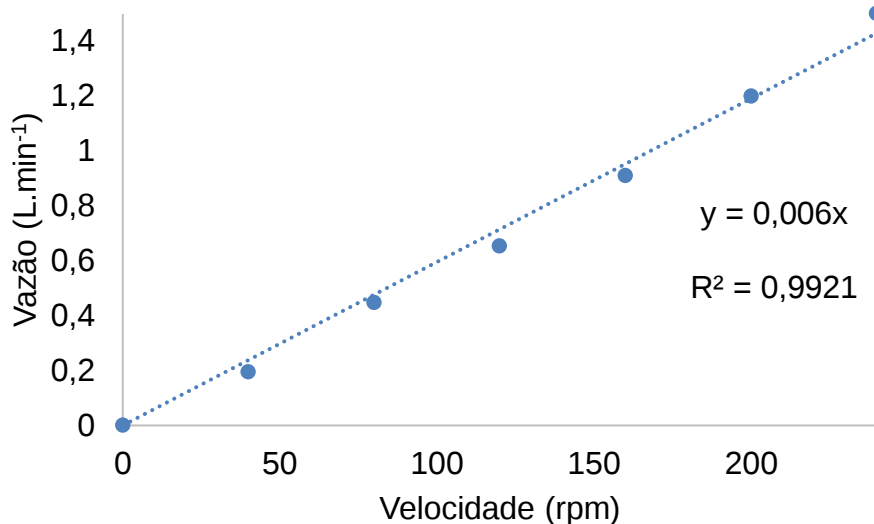
Tabela 21 - Valores da vazão para diferentes velocidades de rotação da bomba peristáltica, necessários para elaboração da curva analítica.

| Velocidade (rpm) | Tempo (s) | Vazão ( $\text{L.min}^{-1}$ ) |
|------------------|-----------|-------------------------------|
| 40               | 15,50     | 0,19                          |
| 80               | 6,70      | 0,45                          |
| 120              | 4,60      | 0,65                          |
| 160              | 3,30      | 0,91                          |
| 200              | 2,50      | 1,20                          |
| 240              | 2,00      | 1,50                          |

Fonte: A Autora (2019).

Na elaboração da curva analítica da bomba peristáltica, em que apresenta a vazão em  $\text{L.min}^{-1}$  *versus* a velocidade de rotação em rpm, o tempo foi cronometrado em duplicata e a Tabela 21 apresenta a média desses valores. Foi realizada a conversão do tempo de segundos para minutos e, sabendo-se que o volume considerado foi de 0,05 L, foi calculado o resultado da vazão em  $\text{L.min}^{-1}$  de cada ponto analisado. Dessa forma, foi possível construir a curva analítica presente na Figura 36.

Figura 36 - Curva analítica da bomba peristáltica, vazão em L.min<sup>-1</sup> versus velocidade de rotação em rpm.



Fonte: A Autora (2019).

Observa-se que a curva analítica para a bomba peristáltica apresentou um comportamento linear e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,9921, o que mostra um bom ajuste ao modelo proposto. De acordo com a equação de ajuste linear, disposta na Figura 36, determinaram-se as vazões para as velocidades estudadas. Ou seja, as velocidades 80 rpm, 120 rpm e 140 rpm apresentam vazões de 0,48 L.min<sup>-1</sup>, 0,72 L.min<sup>-1</sup> e 0,84 L.min<sup>-1</sup>, respectivamente.

Desse modo, foi realizado um estudo da degradação do efluente de descarte, avaliando a redução da turbidez, da cor, da DQO e da varredura no espectro de absorção UV-Vis a cada hora até completar 8 horas de reação no reator fotocatalítico projetado, as amostras foram analisadas imediatamente em duas coletas, o resultado utilizado foi a média entre eles.

Os resultados das reduções da cor, da turbidez e da DQO com o tempo, na vazão 0,48 L.min<sup>-1</sup> (80 rpm), encontram-se dispostos na Tabela 24. Os valores desses parâmetros antes e após a reação no reator de fotocátalise se encontram na Tabela C1.

Tabela 22 - Reduções em porcentagem da cor, da turbidez e da DQO com o tempo, na vazão 0,48 L.min<sup>-1</sup>.

| <b>Tempo (h)</b> | <b>Redução da turbidez (%)</b> | <b>Redução da cor (%)</b> | <b>Redução da DQO (%)</b> |
|------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1                | 44                             | 7                         | 21                        |
| 2                | 44                             | 8                         | 22                        |
| 3                | 45                             | 12                        | 23                        |
| 4                | 45                             | 14                        | 26                        |
| 5                | 45                             | 20                        | 29                        |
| 6                | 47                             | 27                        | 36                        |
| 7                | 48                             | 30                        | 36                        |
| 8                | 49                             | 32                        | 33                        |

Fonte: A Autora (2019).

Após o período de 8 horas de reação, o efluente tratado foi filtrado, obtendo-se uma turbidez de 7,62 NTU e da cor foi 98 uH, apresentando uma redução de 92% e 68%, respectivamente. Os resultados das reduções da cor, da turbidez e da DQO com o tempo, na vazão 0,72 L.min<sup>-1</sup> (120 rpm), encontram-se dispostos na Tabela 23. Os valores desses parâmetros antes e após a reação no reator de fotocatalise se encontram na Tabela C2.

Tabela 23 - Reduções em porcentagem da cor, da turbidez e da DQO com o tempo, na vazão 0,72 L.min<sup>-1</sup>.

| <b>Tempo (h)</b> | <b>Redução da turbidez (%)</b> | <b>Redução da cor (%)</b> | <b>Redução da DQO (%)</b> |
|------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1                | 52                             | 16                        | 24                        |
| 2                | 54                             | 22                        | 24                        |
| 3                | 55                             | 26                        | 30                        |
| 4                | 55                             | 32                        | 34                        |
| 5                | 56                             | 35                        | 41                        |
| 6                | 56                             | 35                        | 43                        |
| 7                | 56                             | 43                        | 46                        |
| 8                | 56                             | 42                        | 49                        |

Fonte: A Autora (2019).

Após o período de 8 horas de reação, o efluente tratado foi filtrado, o resultado da turbidez foi de 5,00 NTU e da cor foi 87 uH, apresentando uma redução de 94% e 72%, respectivamente. Os resultados das reduções da cor, da turbidez e da DQO com o tempo, na vazão 0,84 L.min<sup>-1</sup> (140 rpm), encontram-se dispostos na Tabela 24. Os

valores desses parâmetros antes e após a reação no reator de fotocatalise se encontram na Tabela C3.

Tabela 24 - Reduções em porcentagem da cor, da turbidez e da DQO com o tempo, na vazão 0,84 L.min<sup>-1</sup>.

| <b>Tempo (h)</b> | <b>Redução da turbidez (%)</b> | <b>Redução da cor (%)</b> | <b>Redução da DQO (%)</b> |
|------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1                | 56                             | 28                        | 25                        |
| 2                | 56                             | 30                        | 32                        |
| 3                | 57                             | 35                        | 34                        |
| 4                | 57                             | 36                        | 35                        |
| 5                | 59                             | 38                        | 48                        |
| 6                | 60                             | 40                        | 50                        |
| 7                | 60                             | 45                        | 52                        |
| 8                | 61                             | 45                        | 70                        |

Fonte: A Autora (2019).

Após o período de 8 horas de reação, o efluente tratado foi filtrado, o resultado da turbidez foi de 3,08 NTU e da cor foi 79 uH, apresentando uma redução de 97% e 75%, respectivamente.

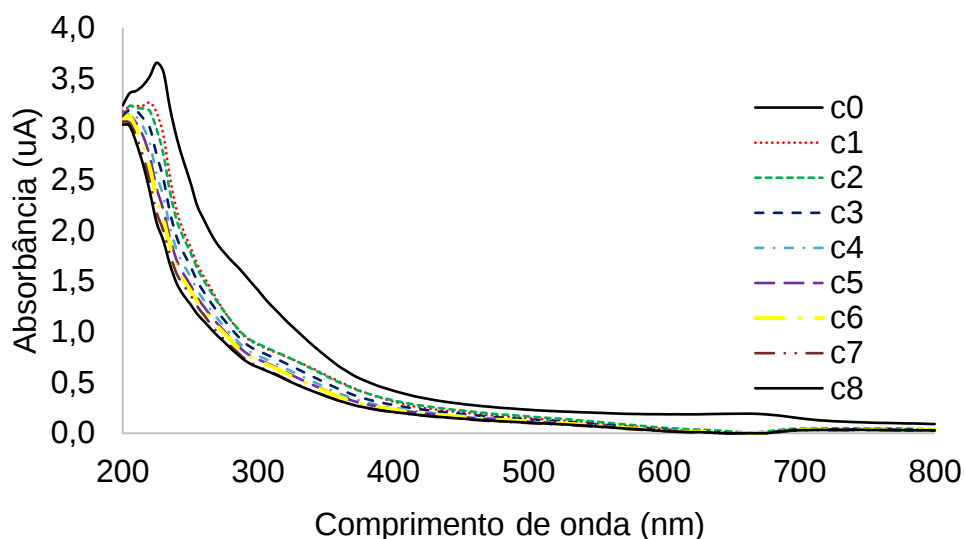
Observa-se que as maiores reduções de turbidez, cor e DQO ocorreram na maior vazão (0,84 L.min<sup>-1</sup>) analisada, as quais foram de 61%, 45% e 70%, respectivamente, comparando-se com os parâmetros iniciais do efluente de descarte. Desse modo, pode-se afirmar que quanto mais rápida a circulação do efluente no sistema, mais rápida a redução dos parâmetros analisados, pois ao aumentar a vazão aumenta o número de passes, ou seja, a quantidade de vezes que a solução é exposta à radiação, diminuindo também o tempo morto no reservatório. Consequentemente aumenta a quantidade de O<sub>2</sub> presente no sistema, fazendo com que a reação ocorra mais rapidamente.

Nota-se ainda que a qualidade desse efluente foi melhorada ao realizar a filtração. Uma vez que, as reduções da cor e da turbidez não apresentam uma variação notável e permanecem praticamente constante nos três ensaios, porém, após a filtração apresentaram reduções consideráveis.

Também foi possível observar que a redução de DQO não atingiu o equilíbrio em 8 horas de reação, visto que os valores não se mantiveram constantes, a degradação poderia ser maior com maior tempo de reação, até que atingisse o equilíbrio.

Além disso, foi gerado o espectro de absorção UV-Vis para cada vazão. A Figura 37 apresenta o espectro de absorção UV-Vis na vazão  $0,48 \text{ L.min}^{-1}$ , os valores da absorbância em função do  $\lambda$  antes e após a reação no reator fotocatalítico a cada hora se encontram na Tabela D1.

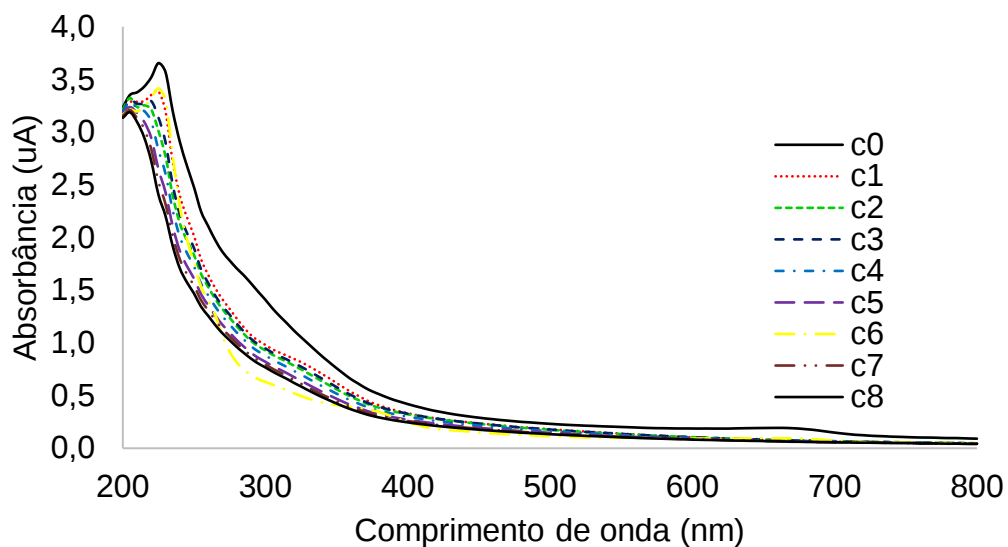
Figura 37 - Espectro de absorção UV-Vis, na vazão  $0,45 \text{ L.min}^{-1}$ , antes e após a reação no reator fotocatalítico a cada hora.



Fonte: A Autora (2019).

A Figura 37 apresenta o espectro de absorção UV-Vis na vazão  $0,72 \text{ L.min}^{-1}$ , os valores da absorbância em função do  $\lambda$  antes e após a reação no reator fotocatalítico a cada hora se encontram na Tabela D2.

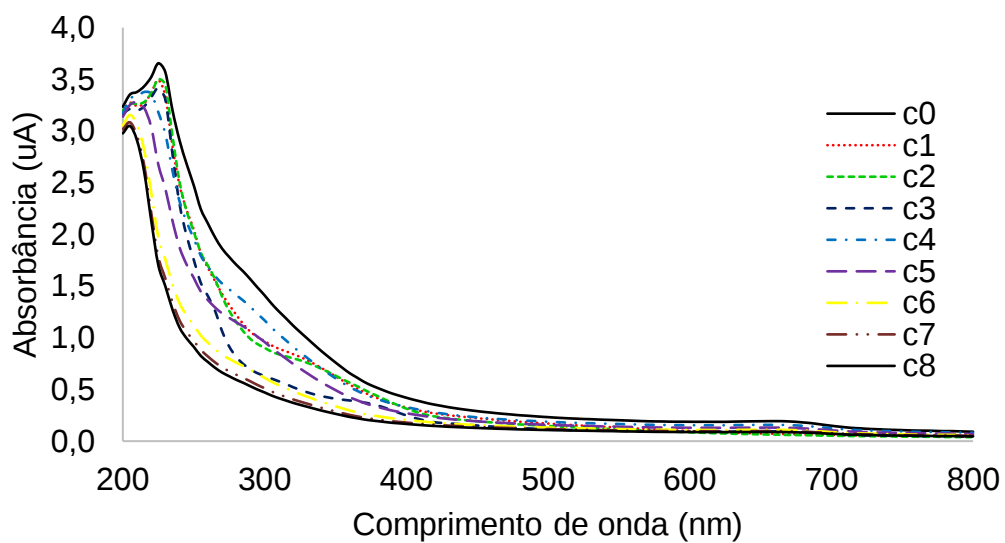
Figura 38 - Espectro de absorção UV-Vis, na vazão  $0,65 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ , antes e após a reação no reator fotocatalítico a cada hora.



Fonte: A Autora (2019).

A Figura 38 apresenta o espectro de absorção UV-Vis na vazão  $0,84 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ , os valores da absorbância em função do  $\lambda$  antes e após a reação no reator fotocatalítico a cada hora se encontram na Tabela D3.

Figura 38 - Espectro de absorção UV-Vis, na vazão  $0,82 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ , antes e após a reação no reator fotocatalítico a cada hora.



Fonte: A Autora (2019).

Nos espectros das Figuras 36 a 38, nota-se um decaimento com o tempo da absorção dos grupos cromóforos presentes nas moléculas na região do UV-Vis, em que c0 é o efluente de descarte coletado na lavanderia e de c1 a c8 são os efluentes de descarte tratado pelo POA foto-Fenton/UV-A no reator fotocatalítico a cada hora de reação. Confirmando o que foi visto nas remoções da cor, da turbidez e da DQO, os espectros de absorção molecular na região do UV-Vis mostram que a melhor degradação do efluente de descarte ocorreram na maior vazão analisada (0,84 L.min<sup>-1</sup>), disposta na Figura 38.

#### 4.6 PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO FOTO-FENTON/UV-A NO REATOR FOTOCATALÍTICO UTILIZANDO CONCENTRADOR PARABÓLICO COMPOSTO

A concentração da radiação e o ângulo de aceitação foram determinados a partir dos CPCs disponibilizados. O diâmetro das tubulações de lâmpadas fluorescentes foi de 2,54 cm, ou seja, apresenta o raio igual a 1,27 cm, o qual corresponde ao comprimento de abertura de saída  $a'$ , de acordo com o aspecto geométrico do concentrador proposto na Figura 8. Já o valor do comprimento de abertura de entrada  $a$ , foi determinado a partir da disponibilidade das duas metades de parábolas de chapas de alumínio com raio igual a 4,46 cm, ou seja,  $a$  é igual a 4,46 cm.

Dessa forma, a concentração da radiação foi calculada a partir da Equação 12 e seu resultado foi de  $C = 3,5$ ; em seguida, foi calculado o ângulo de aceitação ( $\theta_c$ ) pela Equação 13, chegando-se a um resultado de  $\theta_c = 16,6^\circ$ . Portanto, em um CPC ideal com um ângulo de aceitação de  $16,6^\circ$ , terá  $C = 3,5$ , ou seja, toda radiação que incide entre  $\theta_c \pm 16,6^\circ$  foi concentra na tubulação.

A partir do gráfico disposto na Figura 10 e de acordo com o ângulo de aceitação, observa-se que a razão altura/abertura para CPC truncado é igual a 2,25; ou seja,  $\frac{h_T}{a} = 2,25$ , como  $a = 4,46$  cm, então  $h_T = 10,04$  cm. Assim, o concentrador foi truncado para uma altura  $h_T$ , economizando área do refletor e sem grande impacto no seu desempenho. Além disso, foi observado que o valor do ângulo de aceitação real e teórico são visivelmente semelhantes. Com esses valores foi projetado o CPC ideal para o sistema proposto.

De acordo com os resultados obtidos anteriormente, as melhores  $[\text{Fe}^{2+}]$  e  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  no tratamento pelo POA foto-Fenton/UV-A do efluente de descarte foram de  $15 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $2.647,8 \text{ mg.L}^{-1}$ , respectivamente. Nessas condições o efluente não apresentou efeito de toxicidade utilizando sementes de alface. E a melhor vazão da bomba peristáltica no reator fotocatalítico foi de  $0,82 \text{ L.min}^{-1}$ , sabendo-se que essas análises foram avaliadas a partir das reduções da turbidez, da cor, da DQO e do espectro de absorção UV-Vis.

Utilizando esses resultados, com a finalidade de melhorar o tratamento do efluente, foram adicionados CPCs para concentrar a radiação UV-A utilizada na reação de oxidação. Os resultados da cor, da turbidez e da DQO com o tempo, nessas condições, encontram-se dispostos na Tabela 25.

Tabela 25 - Valores da turbidez, da cor e da DQO com o tempo, nas melhores condições estudadas, utilizando reator fotocatalítico com concentrador parabólico composto.

| <b>Tempo (h)</b> | <b>Turbidez (NTU)</b> | <b>Cor (uH)</b> | <b>DQO (mg.L<sup>-1</sup>)</b> |
|------------------|-----------------------|-----------------|--------------------------------|
| 1                | 20,21                 | 183             | 302,3                          |
| 2                | 20,02                 | 179             | 298,0                          |
| 3                | 19,95                 | 177             | 279,9                          |
| 4                | 19,90                 | 171             | 245,8                          |
| 5                | 19,54                 | 169             | 201,4                          |
| 6                | 19,42                 | 158             | 199,1                          |
| 7                | 19,08                 | 149             | 143,4                          |
| 8                | 18,87                 | 134             | 103,5                          |

Fonte: A Autora (2019).

Sabendo-se que os valores iniciais, do efluente de descarte, da turbidez foi de 90,80 NTU, da cor foi de 310 uH e da DQO foi de  $623,000 \text{ mg.L}^{-1}$ , foi calculado a redução a partir dos valores obtidos na Tabela 25, os valores da redução desses parâmetros se encontram na Tabela 26.

Tabela 26 - Reduções em porcentagem da turbidez, da cor e da DQO com o tempo, nas melhores condições estudadas, utilizando reator fotocatalítico com concentrador parabólico composto.

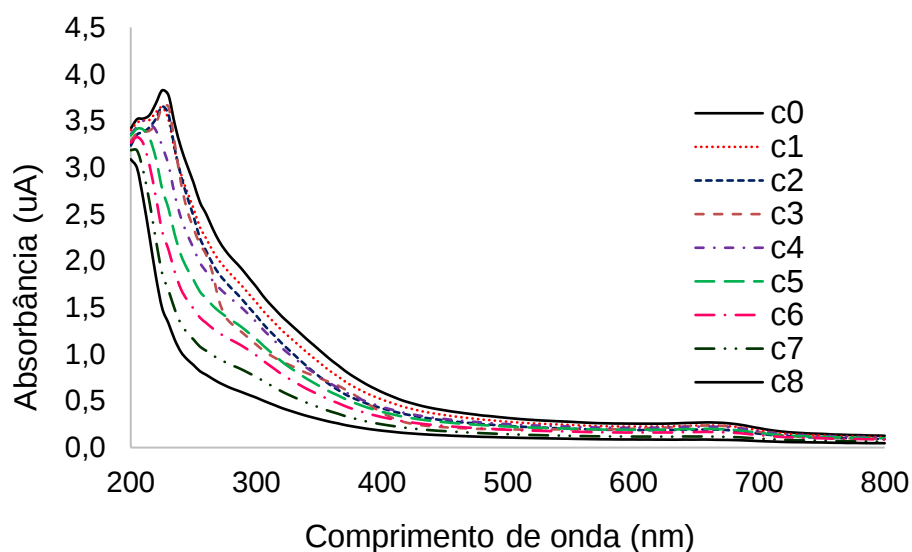
| <b>Tempo (h)</b> | <b>Redução da turbidez (%)</b> | <b>Redução da cor (%)</b> | <b>Redução da DQO (%)</b> |
|------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1                | 78                             | 41                        | 51                        |
| 2                | 78                             | 42                        | 52                        |
| 3                | 78                             | 43                        | 55                        |
| 4                | 78                             | 45                        | 61                        |
| 5                | 78                             | 45                        | 68                        |
| 6                | 79                             | 49                        | 68                        |
| 7                | 79                             | 52                        | 77                        |
| 8                | 79                             | 57                        | 83                        |

Fonte: A Autora (2019).

Após o período de 8 horas de reação, a redução da turbidez foi de 79%, a redução da cor foi de 57% e a redução da DQO foi de 83%. Comparando-se os resultados apresentados nas Tabelas 24 e 26, observa-se que após adicionar o CPC no sistema fotocatalítico a remoção da turbidez aumentou 30%, a remoção da cor aumentou 27% e a remoção da DQO aumentou 19%, mostrando-se um bom rendimento. Além, disso nota-se que em uma hora de reação o efluente de descarte atingiu a qualidade da água de reuso. Em seguida, o efluente tratado foi filtrado, o resultado da turbidez foi de 2,34 NTU e da cor foi 53 uH, apresentando uma redução de 97% e 83%, respectivamente. Observa-se que a qualidade do efluente foi melhorada ao realizar a filtração. Uma vez que, as reduções da cor e da turbidez permaneceram praticamente constante durante o ensaio, porém, após a filtração apresentou valores de reduções consideráveis, concluindo-se que houve coagulação dos íons ferro.

Também foi elaborado o espectro de absorção molecular antes e após o tratamento, a cada hora, fazendo uma varredura da absorbância com o  $\lambda$  de 200 nm a 800 nm (a cada 5 nm) disposta na Figura 39. Os valores da absorbância em função do  $\lambda$  se encontram na Tabela D4.

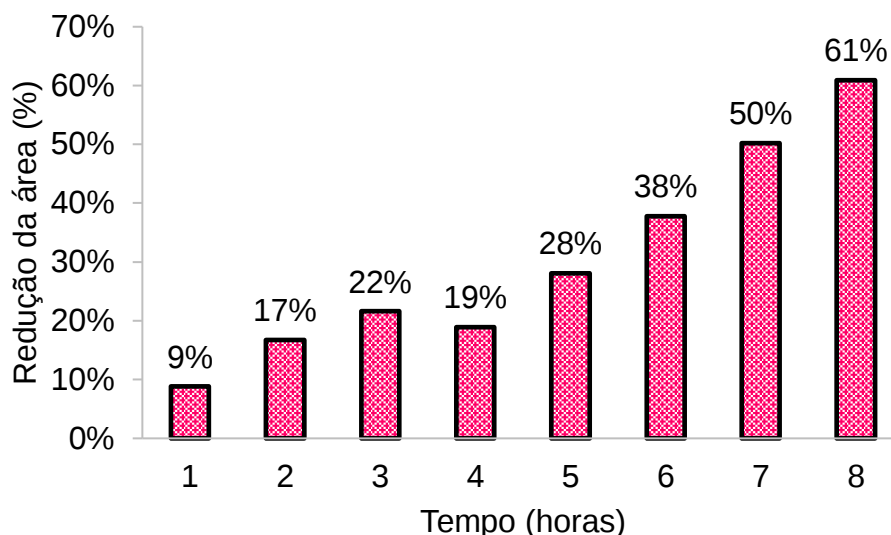
Figura 39 - Espectro de absorção UV-Vis antes e após a reação no reator fotocatalítico com concentrador parabólico composto a cada hora, nas melhores condições estudadas.



Fonte: A Autora (2019).

No espectro de absorção presente na Figuras 39, observa-se um decaimento com o tempo da absorção dos grupos cromóforos presentes nas moléculas na região do UV-Vis, em que c0 é o efluente de descarte coletado na lavanderia e de c1 a c8 são os efluentes de descarte tratado pelo POA foto-Fenton/UV-A no reator fotocatalítico utilizando CPCs a cada hora de reação. A redução da área de absorção no espectro UV-Vis nessa condição pode ser observada no gráfico da Figura 40.

Figura 40 - Redução da área de absorção no espectro UV-Vis, na melhor condição, a cada hora no reator fotocatalítico.



Fonte: A Autora (2019).

A partir da Figura 40, observa-se que a redução da absorção do efluente de descarte no espectro UV-Vis tratado pelo POA foto-Fenton no reator fotocatalítico utilizando CPC aumenta a cada hora de reação. Ao adicionar os CPCs no reator fotocatalítico, teve-se um aumento da redução da turbidez de 61% para 79%, teve-se um aumento da redução da cor de 45% para 57% e se teve um aumento da redução da DQO de 70% para 83%, desconsiderando a filtração após o tratamento.

De modo geral, obtiveram-se resultados eficazes e viáveis para o tratamento do efluente de descarte. No entanto, ao final do tratamento se faz necessário analisar todos os parâmetros dispostos na Resolução CONAMA Nº 430, a qual estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos, em especial a  $[\text{Fe}^{2+}]$ , que não pode ser superior a  $15 \text{ mg.L}^{-1}$  e o ajuste do pH, que deve estar entre 5 e 9.

Resumindo os valores já vistos anteriormente, para melhor compreensão, a Tabela 27 apresenta os valores dos parâmetros utilizados para a obtenção das variáveis de resposta para a água de lavagem, o efluente de reuso, o efluente bruto e o efluente de descarte tratado.

Tabela 27 - Variáveis de resposta da água de lavagem, do efluente de reuso, do efluente bruto e do efluente de descarte tratado.

|                                | Água de lavagem | Efluente de reuso | Efluente bruto | Efluente de descarte tratado |
|--------------------------------|-----------------|-------------------|----------------|------------------------------|
| <b>Turbidez (NTU)</b>          | 3,83            | 46,90             | 258,00         | 18,87                        |
| <b>Cor (uH)</b>                | 7               | 200               | 578            | 134                          |
| <b>DQO (mg.L<sup>-1</sup>)</b> | 42,53           | 378,40            | 1151,61        | 103,49                       |

Fonte: A Autora (2019).

Por meio da Tabela 27, observa-se que o efluente de descarte tratado obteve resultados melhores do que o efluente de reuso da lavanderia, dessa forma, seria possível aumentar a porcentagem de reutilização da água pela indústria. Caso o sistema de reator fotocatalítico sustentável fosse implantado, haveria diversas vantagens, entre elas: seria utilizada radiação solar no POA foto-Fenton, uma vez que a região conta com uma vasta disponibilidade da radiação solar durante um longo período de tempo e sabendo-se que a radiação solar contém UV-A e diversas outras, o que contribuiria para maior degradação da matéria orgânica pela reação de oxidação; seria utilizado no sistema tubulações lâmpadas fluorescentes reutilizadas, o que contribuiria para a diminuição desse resíduo no meio ambiente; seria utilizado no sistema bomba de máquina de lavar reutilizada, visto que a indústria está situada em uma região que apresenta diversas empresas do mesmo ramo, o que facilita o *network* e parcerias para compra desse equipamento; seria utilizado CPCs para acelerar o processo de degradação, fazendo com que a reação ocorra mais rapidamente e eficaz; além disso, a lavanderia iria reutilizar a água, diminuindo custos e contribuindo para a sustentabilidade.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Comparando-se os efluentes analisados (bruto, de descarte e de reuso) em relação à absorvância no espectrofotômetro UV-Vis, observa-se que há um decaimento considerável após o tratamento realizado pela lavanderia. No entanto, analisando a redução da turbidez, da cor e da DQO no efluente de descarte, observa-se percentagens iguais a 65%, 46% e 46%, respectivamente. A fim de melhorar esses resultados e reutilizar uma maior quantidade de água, para diminuir gastos financeiros e contribuir para a sustentabilidade da região, foi realizado um tratamento pelo POA foto-Fenton/UV-A, com pH entre 3 e 4. No estudo preliminar foi determinado as melhores  $[\text{Fe}^{2+}]$  e  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  a partir de um planejamento fatorial, o resultado obtido foi de  $15 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $2.647,8 \text{ mg.L}^{-1}$ , respectivamente, nessas condições o efluente não apresentou efeito de toxicidade utilizando sementes de alface. Também foi construído um reator fotocatalítico com tubulações de lâmpadas fluorescentes e bomba peristáltica para determinar a melhor vazão de operação, obtendo-se como resultado a vazão de  $0,82 \text{ L.min}^{-1}$ , com o propósito de concentrar a radiação UV-A, foram adicionados CPCs no reator fotocatalítico e após um período de 8 horas de reação obtiveram-se valores da redução da turbidez, da cor e da DQO iguais a 93%, 77% e 91%, respectivamente, em relação aos parâmetros do efluente bruto analisado inicialmente. Nota-se que a degradação do efluente têxtil foi eficiente, sendo viável para aumentar a porcentagem água reutilizada na indústria, acarretando em diversas vantagens econômicas e ambientais. Ressaltando a necessidade de corrigir o pH para a faixa de lançamento previsto na legislação, a qual estabelece valores de pH entre 5 e 9, ou seja, para valores próximos a neutralidade. Além de misturar a água de reuso com a água do poço para utilizar no processo produtivo da lavanderia, a água tratada que apresentar uma qualidade mais baixa pode ser utilizada na limpeza de máquinas e da fábrica de modo geral, não podendo ser usada para o processamento dos tecidos.

Dentre as sugestões para trabalhos futuros, citam-se:

- Analisar os parâmetros: dureza e alcalinidade;
- Acompanhar a cinética reacional da reação fotocatalítica;
- Implementar e avaliar o sistema de reator fotocatalítico sustentável na lavanderia, utilizando radiação solar, sistema tubulações lâmpadas fluorescentes reutilizadas e bomba de máquina de lavar;
- Utilizar tubulação de borossilicato em vez da lâmpada fluorescente, pois o fósforo da lâmpada diminui a entrada da radiação.
- Avaliar a eficiência de degradação do efluente têxtil no reator fotocatalítico utilizando CPC em diferentes épocas do ano;
- Estudar a toxicidade do efluente pós-tratamento utilizando outros organismos;
- Avaliar o efeito da adição de  $\text{H}_2\text{O}_2$  fracionado, no sistema fotocatalítico;
- Reduzir a  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  utilizada na reação, para observar o efeito foto-Fenton;
- Analisar o tipo de processo oxidativo ocorre na reação;
- Adicionar no final filtro com material de adsorção produzido no laboratório, já caracterizado.

## REFERÊNCIAS

(as referências devem ser alinhadas a esquerda – CORRIGIDO)

Agência Estadual de Meio Ambiente - CPRH. **N 2.001: Norma técnica de controle de carga orgânica em efluentes líquidos industriais**. Pernambuco. De novembro de 2003.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - SMEWW**. American Public Health Association. American Water Works Association. Water Environmental Federation. 20th ed. Washington, 1998.

AMARAL, F. M.; KATO, M. T.; FLORÊNCIO, L.; GAVAZZA, S. **Color, Organic Matter and Sulfate Removal From Textile Effluents by Anaerobic and Aerobic Processes**. Bioresource Technology. v.163, p.364-369. 2014.

AMORIM, C. C. de; LEÃO, M. M. D.; MOREIRA, R. de F. P. M. **Comparison of various advanced oxidation processes for azo dye degradation**. Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte – MG. Vol. 14. N. 4. 2009.

ANA. Agência Nacional das Águas. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Ministério do Desenvolvimento Regional. Brasília-DF. 2019.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - SMEWW**. American Public Health Association. American Water Works Association. Water Environmental Federation. 20th ed. Washington, 1998.

ARAÚJO, K. S de; ANTONELLI, R.; GAYDECZKA, B.; GRANATO, A. C.; MALPASS, G. R. P. **Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais**. Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science. Taubaté, vol. 11, n. 2. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT NBR 13969:1997**. De 30 de setembro de 1997.

AUCOTT, M.; MCLINDEN, M.; WINKA, M. **Release of mercury from broken fluorescent bulbs**. Journal of Air Waste Management Association, 53 (2). p. 143-51. 2003.

BALOGH, T. S.; VELASCO M. V. R.; PEDRIALI, C.A.; KANEKO, T.M.; BABY, A. R. **Proteção à radiação ultravioleta: recursos disponíveis na atualidade em fotoproteção**. An Bras Dermatol – 86. Vol. 4. p. 732-42. 2011.

BELALCÁZAR-SALDARRIAGA, A.; PRATO-GARCIA, D.; VASQUEZ-MEDRANO, R. **Photo-Fenton processes in raceway reactors: Technical, economic, and environmental implications during treatment of colored wastewaters**. Journal of Cleaner Production. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.02.058. 2018.

BORTOTI, A. A.; ROSA, M. F. DA; BARICCATTI, R. A.; LOBO, V. DA S. **Evaluation of the photo-Fenton process on discoloration of a commercial textile dye.** Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas. Londrina. v. 37, n. 1, p. 81-90, 2016.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil.** De 5 de outubro de 1988.

BRASIL. **Lei nº 9.433/1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.** De 8 de janeiro de 1997.

BRASIL. **Lei nº 9.984/2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA.** De 17 de julho de 2000.

CHAGAS, R. C.; MATOS, A. T. de; CECON, P. R.; MONACO, P. A. V. L.; FRANÇA, L. G. F. **Organic matter removal kinetics in constructed wetlands cultivated with yellow lily.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande - PB. Vol. 15, n. 11, p. 1186-1192. 2011.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNRH. **Resolução nº 54/2005.** De 28 de novembro de 2005.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNRH. **Resolução nº 91/2008.** De 05 de novembro de 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº 377/2008.** De 09 de outubro de 2006.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº 396/2008.** De 03 de abril de 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº 397/2008.** De 03 de abril de 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº 430/2011.** De 13 de maio de 2011.

COSTA, F. M. da; CAMPOS, J. C.; FONSECA, F. V. da; BILA, D. M. **Tratamento de lixiviados de aterros de resíduos sólidos utilizando Processos Fenton e Foto-Fenton Solar.** Revista Ambiente & Água. Taubaté. Vol. 10. N. 1. 2015.

DIAS, F. F.; SILVA, P. B. V.; SANTOS, A. F. DE M. S.; ANDRADE, J. G. P.; ALBUQUERQUE, I. L. T. **Treatment of textile effluent through advanced oxidative process (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>/UV).** Revista GEAMA – Ciências Ambientais e Biotecnologia. Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology. 2018.

DUARTE, E. T. F. M.; XAVIER, T. P.; SOUZA, D. R. de; MIRANDA, J. A. de; MACHADO, A. E. da H.; JUNG, C.; OLIVEIRA, L. de; SATTTLER, C. **Construction**

**and performance studies of a CPC type photochemical reactor.** Química Nova. vol.28. nº 5. São Paulo. 2005.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes.** Solar Energy Laboratory. University of Wisconsin-Madison. EUA. Fourth Edition. WILEY. 2013.

DURÁN, A.; MONTEAGUDO, J.M. ; AMORES, E. **Solar photo-Fenton degradation of Reactive Blue 4 in a CPC reactor.** Applied Catalysis B: Environmental 80. p. 42–50. 2008.

FIEPE - Federação das Indústrias de Estado de Pernambuco. **Polo de Confeções do Agreste de Pernambuco.** Caruaru. 2014.

FUJITA, R. M. L.; JORENTE, M. J. **A Indústria Têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural.** Revista ModaPalavra e-Periódico. vol.8, n.15. 2015.

GRCIC, I.; PAPIC, S.; MESEC, D.; KOPRIVANAC, N.; VUJEVIC, D. The kinetics and efficiency of UV assisted advanced oxidation of various types of commercial organic dyes in water. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 273, p. 49-58, 2014.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V.B. **Corantes têxteis.** Química Nova, vol. 23, n.1, p. 71-78, 2000.

HEIDARI, M. R.; VARMA, R. S.; AHMADIAN, M.; POURKHOSRAVANI, M.; ASADZADEH, S. N.; KARIMI, P.; KHATAMI, M. **Photo-Fenton like Catalyst System: Activated Carbon/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanocomposite for Reactive Dye Removal from Textile Wastewater.** Applied sciences 9, 963. 2019.

ICLEI, Brasil. **Manual para aproveitamento do biogás: volume dois, efluentes urbanos.** ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, 2010.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G.; DURÁN, N. **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis.** Química Nova, vol. 25, n.1, p. 78-82, 2002.

LIMA, L. R. de; SAMPAIO, Y. de S. B.; FREITAS, M. A. L. de; LAGIOIA, U. C. T. **Um Estudo Inferencial dos Custos Ambientais e das Estações de Tratamento de Água.** Sociedade, Contabilidade e Gestão. Rio de Janeiro. v. 11, n. 3. 2016.

LUCENA, L. G.; ROCHA, E. M. R.; SILVA, F. L. H. da; CAHINO, A. M. **Multivariate optimization of solar photo-Fenton process for chemical oxygen demand removal in landfill leachate treatment.** Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro. V. 23. N. 3. 2018.

MALAGUETA, D. C. **Coletores solares.** Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito – CRESESB. 2016.

MORALES, G. C. **Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas:** Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. 2004.

MARQUES, F. **Legislação para tratamento de efluentes: o que você precisa saber?** ACQUASOLUTION, 2017.

NASCIMENTO, G. E. ; D. C. NAPOLEÃO ; SANTANA, R. M. R. ; CHARAMBA, L. V. C. ; OLIVEIRA, J. G. C. ; MOURA, M. C. ; COELHO, L. C. B. B. ; DUARTE, M. M. M. B. **Degradation of textile dyes Remazol Yellow Gold and reactive Turquoise: optimization, toxicity and modeling by artificial neural networks.** WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY, v. 3, p. 812-823, 2018.

NETO, B. de B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos – pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria.** Campinas – SP. Editora da Unicamp. 4ª Ed. 2010.

NIDHEESH, P. V. **Heterogeneous Fenton catalysts for the abatement of organic pollutants from aqueous solution: a review.** RSC Advances, v. 5, n. 51, p. 40552–40577, 2015.

NOGUEIRA, R. F. P.; TROVÓ, A. G.; SILVA, M. R. A.; VILLA, R. D.; OLIVEIRA, M. C. **Fundamentos e aplicações ambientais dos processos fenton e foto-fenton.** Química Nova. vol.30. n.2. São Paulo. 2007.

OLIVEIRA, J. S. DE; DRUMM, F. C.; MAZUTTI, M. A.; FOLETTO, E. L.; JAHN, S. L. **Preparation of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZSM-5 system for use as catalyst in photo-Fenton reaction.** Cerâmica. vol.62. nº 363. São Paulo. 2016.

OLIVEIRA NETO, G. C.; SHIBAO, F. Y.; GODINHO FILHO, M. **O estado da pesquisa sobre produção mais limpa no Brasil.** Revista de Administração de Empresas - FGV/EAESP. São Paulo. V. 56, n. 5, P. 547-577. 2016.

PAULINO, T. R. S.; ARAÚJO, R. S.; SALGADO, B. C. B. Estudo de oxidação avançada de corantes básicos via reação Fenton (Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 347-352, 2015.

PIZATO, E.; LOPES, A. C.; ROCHA, R. D. C.; BARBOSA, A. de M.; CUNHA, M. A. A. **Caracterização de efluente têxtil e avaliação da capacidade de redução de cor utilizando o fungo Lasiodiplodia theobromae MMPI.** Revista Engenharia Sanitária. 2016.

SAGGIORO, E. M.; OLIVEIRA, A. S.; PAVESI, T.; TOTOTZINTLE, M. J.; IGNACIOMALDONADO, M.; CORREIA, F. V.; MOREIRA, J. C. **Degradação Fotocatalítica da Planta Piloto Solar CPC de Índigo Carmine Dye em Águas e Águas Residuais Usando TiO<sub>2</sub> Suportado: Influência dos Parâmetros de Fotodegradação.** Hindawi Publishing Corporation. International Journal of Photoenergy. Article ID 656153, 12 pages. 2015.

SALAZAR, R.; GALLARDO-ARRIAZA, J.; VIDALA, J.; RIVERA-VERA, C.; TOLEDO-NEIRA, C.; SANDOVALA, M. A.; CORNEJO-PONCE, L.; THIAM, A. **Treatment of industrial textile wastewater by the solar photoelectro-Fenton process: Influence of solar radiation and applied current.** Solar Energy 190. p. 82–91. 2019.

SILVA, A. L. E.; MORAES, J. A. R.; MACHADO, E. L. **Proposta de produção mais limpa voltada às práticas de ecodesign e logística reversa.** Engenharia Sanitaria e Ambiental. vol.20 no.1 Rio de Janeiro. 2015.

SILVA, L. P. da; SILVEIRA, F. R. da; KÜHL, G. L. de O.; MACHADO, T. P.; TAFFAREL, S. R. **Estudo da aplicação do processo oxidativo avançado tipo Fenton homogêneo em efluente têxtil sintético.** Universidade La Salle. Ciência e Tecnologia para a Redução das Desigualdades. SEFIC. 2018.

SILVA, M. V. A.; SILVA, A. L.; BRITO, D. J. M.; BRANCO, D. K. S.; FERREIRA, M. O. **A Questão Ambiental no Polo de Confecções de Caruaru: um Primeiro Ensaio à Luz dos Instrumentos Econômicos de Proteção Ambiental.** Revista Estudos do CEPE. Santa Cruz do Sul. n 35. p.108-132. 2012.

SOUZA, P. C. de; PEREIRA, N. C.; GONÇALVES, M. S.; FILHO, N. C.; RODRIGUES, P. H.; JAMARIM, V. M. **Estudo do tratamento de efluente têxtil através de processos de coagulação/floculação e eletrocoagulação.** E-xacta. Editora UniBH. Belo Horizonte. v. 9. n. 2. p. 123-132. 2016.

SPASIANO, D.; MAROTTA, R.; MALATO, S.; FERNANDEZ-IBÁÑEZ, P.; SOMMA, I. D. **Solar photocatalysis: Materials, reactors, some commercial, and pre-industrialized applications. A comprehensive approach.** Applied Catalysis B: Environmental 170-171. 90–123. 2015.

STROPARO, E. C.; KELY SOUZA, V. de; DOURADO, D. C.; TAVARES, E. L.; SCHIRMER, W. N. **Statistical study of the influence of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and Fe<sup>2+</sup> concentration on treatment by photo-Fenton process of wastewater resulting from biodiesel wash.** Revista Espacios. Nº 27. Vol. 38. Pág. 12. 2017.

TAPIA, S. S.; DEL RÍO P, J. A. **Concentrador parabólico compuesto: una descripción opto-geométrica.** Revista Mexicana De Física 55 (2). p. 141–153. 2009.

VIEIRA, S. M. M.; COSTA, T. B. da; NAVES, F. L. **Use of advanced oxidative process (foto-Fenton) in the treatment of effluent to the basis PF commercial gasoline.** The Journal of Engineering and Exact Sciences – JCEC, vol. 04, n. 01. 2018.

VILAR, V. J. P.; CAMPELO, S. M. S.; SILVA, T. F. C. V.; BOAVENTURA, R. A. R. **Solar photo-Fenton as a pre-oxidation step for biological treatment of landfill leachate in a pilot plant with CPCs.** Catalysis Today 161. Journal Elsevier, p. 228-234. 2011.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

WAYNE, R. P. **Principles and Applications of Photochemistry**. Oxford University Press. 1988.

WWAP. United Nations World Water Assessment Programme. **The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-based Solutions**. Paris, UNESCO. 2018.

YOUNG, B. J.; RIERA, N. I.; BEILY, M. E.; BRES, P. A.; CRESPO, D. C.; RONCO, A. E. **Toxicity of the effluent from an anaerobic bioreactor treating cereal residues on *Lactuca sativa***. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 76, n. 2, p. 182-186, 2012.

ZANONI, Maria V. B.; YAMANAKA, Hideko. **Corantes: caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento**. 1 ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, p. 341. 2016.

## APÊNDICE A – PLANEJAMENTO FATORIAL

Tabela A1 - Resultados dos parâmetros analisados em cada ensaio do planejamento fatorial para o efluente bruto.

| [Fe <sup>2+</sup> ] | [H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] | Replicata | Turbidez (NTU) | Cor (uH) | DQO (mg.L <sup>-1</sup> ) |
|---------------------|----------------------------------|-----------|----------------|----------|---------------------------|
| -                   | -                                | 1         | 62,40          | 215      | 760,354                   |
| +                   | -                                | 1         | 53,10          | 161      | 702,191                   |
| -                   | +                                | 1         | 45,00          | 170      | 686,643                   |
| +                   | +                                | 1         | 34,70          | 144      | 654,530                   |
| 0                   | 0                                | 1         | 42,90          | 158      | 684,990                   |
| 0                   | 0                                | 1         | 43,30          | 154      | 674,353                   |
| 0                   | 0                                | 1         | 41,50          | 159      | 658,241                   |
| -                   | -                                | 2         | 61,70          | 218      | 755,803                   |
| +                   | -                                | 2         | 54,00          | 176      | 699,856                   |
| -                   | +                                | 2         | 47,40          | 167      | 690,262                   |
| +                   | +                                | 2         | 35,60          | 141      | 656,277                   |

Tabela A2 - Resultados dos parâmetros analisados em cada ensaio do planejamento fatorial para o efluente de descarte.

| [Fe <sup>2+</sup> ] | [H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] | Replicata | Turbidez (NTU) | Cor (uH) | DQO (mg.L <sup>-1</sup> ) |
|---------------------|----------------------------------|-----------|----------------|----------|---------------------------|
| -                   | -                                | 1         | 65,20          | 270      | 466,213                   |
| +                   | -                                | 1         | 64,50          | 255      | 459,877                   |
| -                   | +                                | 1         | 62,80          | 251      | 439,876                   |
| +                   | +                                | 1         | 53,10          | 230      | 422,712                   |
| 0                   | 0                                | 1         | 61,65          | 253      | 448,142                   |
| 0                   | 0                                | 1         | 63,45          | 251      | 449,342                   |
| 0                   | 0                                | 1         | 62,51          | 252      | 448,986                   |
| -                   | -                                | 2         | 64,40          | 273      | 462,892                   |
| +                   | -                                | 2         | 64,80          | 254      | 457,342                   |
| -                   | +                                | 2         | 61,10          | 251      | 441,342                   |
| +                   | +                                | 2         | 51,70          | 232      | 420,981                   |

Tabela A3 - Resultados dos parâmetros analisados em cada ensaio do planejamento fatorial para o efluente de reuso.

| <b>[Fe<sup>2+</sup>]</b> | <b>[H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]</b> | <b>Replicata</b> | <b>Turbidez (NTU)</b> | <b>Cor (uH)</b> | <b>DQO (mg.L<sup>-1</sup>)</b> |
|--------------------------|-------------------------------------|------------------|-----------------------|-----------------|--------------------------------|
| -                        | -                                   | 1                | 38,80                 | 169             | 286,144                        |
| +                        | -                                   | 1                | 40,20                 | 143             | 279,293                        |
| -                        | +                                   | 1                | 39,00                 | 174             | 265,562                        |
| +                        | +                                   | 1                | 31,80                 | 105             | 252,066                        |
| 0                        | 0                                   | 1                | 33,00                 | 150             | 264,603                        |
| 0                        | 0                                   | 1                | 35,90                 | 154             | 261,840                        |
| 0                        | 0                                   | 1                | 32,20                 | 155             | 263,624                        |
| -                        | -                                   | 2                | 39,20                 | 170             | 289,869                        |
| +                        | -                                   | 2                | 39,30                 | 142             | 280,770                        |
| -                        | +                                   | 2                | 40,90                 | 172             | 266,638                        |
| +                        | +                                   | 2                | 30,90                 | 106             | 253,571                        |

## APÊNDICE B – ESPECTRO DE ABSORÇÃO NO PLANEJAMENTO FATORIAL

Tabela B1 - Média das absorbâncias no espectro UV-Vis para cada ensaio do planejamento fatorial do efluente bruto.

| $\lambda$ (nm) | inicial | (-)(-) | (+)(-) | (-)(+) | (+)(+) | 0      |
|----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 200            | 3,5573  | 3,2592 | 3,1648 | 3,2276 | 3,1976 | 3,1786 |
| 205            | 3,5983  | 3,3487 | 3,2502 | 3,3013 | 3,2871 | 3,2769 |
| 210            | 3,6162  | 3,3445 | 3,2594 | 3,3123 | 3,2965 | 3,2756 |
| 215            | 3,6642  | 3,3611 | 3,2659 | 3,3289 | 3,3014 | 3,2903 |
| 220            | 3,7921  | 3,4257 | 3,3172 | 3,4193 | 3,3922 | 3,3676 |
| 225            | 3,7780  | 3,2278 | 2,9246 | 3,3965 | 3,3084 | 3,1499 |
| 230            | 3,5838  | 2,7718 | 2,4372 | 2,9910 | 2,8678 | 2,6824 |
| 235            | 3,0781  | 2,1431 | 1,8559 | 2,3267 | 2,2120 | 2,0589 |
| 240            | 2,7653  | 1,7749 | 1,5142 | 1,9050 | 1,7937 | 1,6784 |
| 245            | 2,5798  | 1,5883 | 1,3380 | 1,6673 | 1,5642 | 1,4746 |
| 250            | 2,3762  | 1,4345 | 1,1897 | 1,4768 | 1,3812 | 1,3048 |
| 255            | 2,1407  | 1,2623 | 1,0317 | 1,2681 | 1,1812 | 1,1202 |
| 260            | 2,0052  | 1,1590 | 0,9379 | 1,1420 | 1,0606 | 1,0134 |
| 265            | 1,8844  | 1,0718 | 0,8634 | 1,0361 | 0,9621 | 0,9271 |
| 270            | 1,8071  | 1,0027 | 0,8018 | 0,9514 | 0,8826 | 0,8572 |
| 275            | 1,8197  | 0,9540 | 0,7532 | 0,8885 | 0,8216 | 0,8036 |
| 280            | 1,8846  | 0,9153 | 0,7068 | 0,8338 | 0,7646 | 0,7541 |
| 285            | 1,9397  | 0,8743 | 0,6578 | 0,7792 | 0,7101 | 0,7048 |
| 290            | 1,9722  | 0,8341 | 0,6145 | 0,7313 | 0,6614 | 0,6602 |
| 295            | 1,9229  | 0,7933 | 0,5791 | 0,6877 | 0,6216 | 0,6195 |
| 300            | 1,8155  | 0,7505 | 0,5490 | 0,6471 | 0,5870 | 0,5815 |
| 305            | 1,6810  | 0,7004 | 0,5147 | 0,6019 | 0,5500 | 0,5396 |
| 310            | 1,5520  | 0,6551 | 0,4839 | 0,5616 | 0,5156 | 0,5036 |
| 315            | 1,4415  | 0,6143 | 0,4545 | 0,5241 | 0,4835 | 0,4714 |
| 320            | 1,3523  | 0,5755 | 0,4250 | 0,4890 | 0,4518 | 0,4403 |
| 325            | 1,2987  | 0,5457 | 0,4003 | 0,4611 | 0,4248 | 0,4141 |
| 330            | 1,2683  | 0,5206 | 0,3776 | 0,4375 | 0,4002 | 0,3902 |
| 335            | 1,2451  | 0,4990 | 0,3575 | 0,4172 | 0,3792 | 0,3691 |
| 340            | 1,2302  | 0,4810 | 0,3398 | 0,4002 | 0,3606 | 0,3506 |
| 345            | 1,2203  | 0,4666 | 0,3252 | 0,3862 | 0,3454 | 0,3356 |
| 350            | 1,1994  | 0,4521 | 0,3111 | 0,3729 | 0,3307 | 0,3217 |
| 355            | 1,1641  | 0,4377 | 0,2991 | 0,3601 | 0,3182 | 0,3094 |
| 360            | 1,1240  | 0,4251 | 0,2893 | 0,3490 | 0,3074 | 0,2997 |
| 365            | 1,0880  | 0,4123 | 0,2792 | 0,3378 | 0,2970 | 0,2897 |
| 370            | 1,0452  | 0,3918 | 0,2639 | 0,3197 | 0,2810 | 0,2743 |
| 375            | 0,9956  | 0,3709 | 0,2491 | 0,3017 | 0,2655 | 0,2594 |
| 380            | 0,9419  | 0,3523 | 0,2367 | 0,2858 | 0,2522 | 0,2470 |
| 385            | 0,8843  | 0,3342 | 0,2251 | 0,2706 | 0,2400 | 0,2356 |

Tabela B1 - Continuação.

| $\lambda$ (nm) | inicial | (-)(-) | (+)(-) | (-)(+) | (+)(+) | 0      |
|----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 390            | 0,8276  | 0,3181 | 0,2154 | 0,2575 | 0,2294 | 0,2259 |
| 395            | 0,7763  | 0,3044 | 0,2073 | 0,2463 | 0,2203 | 0,2176 |
| 400            | 0,7241  | 0,2907 | 0,1994 | 0,2356 | 0,2116 | 0,2096 |
| 405            | 0,6783  | 0,2785 | 0,1925 | 0,2260 | 0,2039 | 0,2024 |
| 410            | 0,6356  | 0,2673 | 0,1859 | 0,2173 | 0,1967 | 0,1959 |
| 415            | 0,5970  | 0,2568 | 0,1797 | 0,2092 | 0,1901 | 0,1897 |
| 420            | 0,5663  | 0,2481 | 0,1743 | 0,2019 | 0,1841 | 0,1841 |
| 425            | 0,5441  | 0,2415 | 0,1701 | 0,1963 | 0,1794 | 0,1797 |
| 430            | 0,5253  | 0,2346 | 0,1653 | 0,1906 | 0,1743 | 0,1749 |
| 435            | 0,5106  | 0,2287 | 0,1610 | 0,1855 | 0,1696 | 0,1704 |
| 440            | 0,4984  | 0,2236 | 0,1571 | 0,1810 | 0,1657 | 0,1666 |
| 445            | 0,4881  | 0,2179 | 0,1526 | 0,1759 | 0,1610 | 0,1619 |
| 450            | 0,4794  | 0,2135 | 0,1492 | 0,1721 | 0,1574 | 0,1586 |
| 455            | 0,4713  | 0,2085 | 0,1451 | 0,1677 | 0,1533 | 0,1544 |
| 460            | 0,4655  | 0,2041 | 0,1416 | 0,1635 | 0,1495 | 0,1509 |
| 465            | 0,4602  | 0,1999 | 0,1382 | 0,1597 | 0,1459 | 0,1473 |
| 470            | 0,4556  | 0,1962 | 0,1348 | 0,1560 | 0,1424 | 0,1440 |
| 475            | 0,4519  | 0,1920 | 0,1312 | 0,1522 | 0,1388 | 0,1402 |
| 480            | 0,4475  | 0,1879 | 0,1275 | 0,1485 | 0,1351 | 0,1364 |
| 485            | 0,4448  | 0,1854 | 0,1253 | 0,1458 | 0,1327 | 0,1343 |
| 490            | 0,4413  | 0,1821 | 0,1226 | 0,1427 | 0,1300 | 0,1316 |
| 495            | 0,4392  | 0,1788 | 0,1195 | 0,1395 | 0,1268 | 0,1284 |
| 500            | 0,4386  | 0,1762 | 0,1171 | 0,1370 | 0,1242 | 0,1258 |
| 505            | 0,4401  | 0,1737 | 0,1143 | 0,1346 | 0,1216 | 0,1231 |
| 510            | 0,4436  | 0,1721 | 0,1124 | 0,1328 | 0,1199 | 0,1209 |
| 515            | 0,4487  | 0,1703 | 0,1100 | 0,1309 | 0,1175 | 0,1187 |
| 520            | 0,4563  | 0,1700 | 0,1088 | 0,1299 | 0,1162 | 0,1171 |
| 525            | 0,4671  | 0,1694 | 0,1070 | 0,1289 | 0,1146 | 0,1154 |
| 530            | 0,4786  | 0,1699 | 0,1063 | 0,1285 | 0,1140 | 0,1148 |
| 535            | 0,4924  | 0,1701 | 0,1050 | 0,1279 | 0,1128 | 0,1135 |
| 540            | 0,5081  | 0,1706 | 0,1037 | 0,1277 | 0,1118 | 0,1125 |
| 545            | 0,5214  | 0,1712 | 0,1030 | 0,1275 | 0,1111 | 0,1121 |
| 550            | 0,5326  | 0,1714 | 0,1018 | 0,1268 | 0,1098 | 0,1113 |
| 555            | 0,5409  | 0,1713 | 0,1005 | 0,1260 | 0,1089 | 0,1106 |
| 560            | 0,5476  | 0,1705 | 0,0992 | 0,1248 | 0,1072 | 0,1097 |
| 565            | 0,5539  | 0,1705 | 0,0980 | 0,1241 | 0,1059 | 0,1093 |
| 570            | 0,5627  | 0,1702 | 0,0965 | 0,1230 | 0,1044 | 0,1087 |
| 575            | 0,5753  | 0,1708 | 0,0958 | 0,1229 | 0,1037 | 0,1088 |
| 580            | 0,5906  | 0,1723 | 0,0953 | 0,1228 | 0,1032 | 0,1094 |
| 585            | 0,6096  | 0,1740 | 0,0947 | 0,1231 | 0,1026 | 0,1102 |
| 590            | 0,6284  | 0,1762 | 0,0947 | 0,1241 | 0,1025 | 0,1117 |
| 595            | 0,6499  | 0,1788 | 0,0946 | 0,1246 | 0,1025 | 0,1138 |

Tabela B1 - Continuação.

| $\lambda$ (nm) | inicial | (-)(-) | (+)(-) | (-)(+) | (+)(+) | 0      |
|----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 600            | 0,6689  | 0,1804 | 0,0937 | 0,1249 | 0,1018 | 0,1148 |
| 605            | 0,6869  | 0,1825 | 0,0937 | 0,1256 | 0,1017 | 0,1165 |
| 610            | 0,7053  | 0,1851 | 0,0939 | 0,1267 | 0,1017 | 0,1181 |
| 615            | 0,7241  | 0,1865 | 0,0932 | 0,1269 | 0,1011 | 0,1185 |
| 620            | 0,7453  | 0,1899 | 0,0938 | 0,1286 | 0,1021 | 0,1197 |
| 625            | 0,7697  | 0,1926 | 0,0937 | 0,1305 | 0,1026 | 0,1210 |
| 630            | 0,7995  | 0,1970 | 0,0951 | 0,1333 | 0,1042 | 0,1236 |
| 635            | 0,8335  | 0,2027 | 0,0963 | 0,1364 | 0,1060 | 0,1269 |
| 640            | 0,8703  | 0,2078 | 0,0976 | 0,1391 | 0,1073 | 0,1312 |
| 645            | 0,9070  | 0,2128 | 0,0986 | 0,1416 | 0,1085 | 0,1349 |
| 650            | 0,9434  | 0,2187 | 0,1000 | 0,1448 | 0,1098 | 0,1399 |
| 655            | 0,9794  | 0,2240 | 0,1006 | 0,1471 | 0,1107 | 0,1435 |
| 660            | 1,0092  | 0,2283 | 0,1019 | 0,1496 | 0,1123 | 0,1464 |
| 665            | 1,0269  | 0,2304 | 0,1015 | 0,1505 | 0,1122 | 0,1461 |
| 670            | 1,0284  | 0,2294 | 0,1009 | 0,1498 | 0,1116 | 0,1425 |
| 675            | 1,0076  | 0,2246 | 0,0985 | 0,1473 | 0,1100 | 0,1347 |
| 680            | 0,9676  | 0,2162 | 0,0954 | 0,1426 | 0,1073 | 0,1239 |
| 685            | 0,9082  | 0,2058 | 0,0925 | 0,1373 | 0,1043 | 0,1136 |
| 690            | 0,8364  | 0,1932 | 0,0880 | 0,1289 | 0,0995 | 0,1036 |
| 695            | 0,7489  | 0,1784 | 0,0836 | 0,1198 | 0,0945 | 0,0952 |
| 700            | 0,6697  | 0,1656 | 0,0797 | 0,1118 | 0,0898 | 0,0890 |
| 705            | 0,5874  | 0,1523 | 0,0758 | 0,1032 | 0,0853 | 0,0830 |
| 710            | 0,5174  | 0,1404 | 0,0725 | 0,0957 | 0,0806 | 0,0787 |
| 715            | 0,4602  | 0,1309 | 0,0695 | 0,0898 | 0,0770 | 0,0750 |
| 720            | 0,4176  | 0,1243 | 0,0679 | 0,0852 | 0,0751 | 0,0732 |
| 725            | 0,3796  | 0,1175 | 0,0660 | 0,0813 | 0,0725 | 0,0708 |
| 730            | 0,3517  | 0,1120 | 0,0641 | 0,0775 | 0,0699 | 0,0690 |
| 735            | 0,3304  | 0,1084 | 0,0626 | 0,0753 | 0,0687 | 0,0673 |
| 740            | 0,3132  | 0,1043 | 0,0608 | 0,0723 | 0,0667 | 0,0657 |
| 745            | 0,2980  | 0,1013 | 0,0593 | 0,0697 | 0,0647 | 0,0638 |
| 750            | 0,2861  | 0,0986 | 0,0586 | 0,0681 | 0,0640 | 0,0631 |
| 755            | 0,2766  | 0,0960 | 0,0579 | 0,0666 | 0,0624 | 0,0617 |
| 760            | 0,2673  | 0,0946 | 0,0571 | 0,0659 | 0,0620 | 0,0618 |
| 765            | 0,2586  | 0,0929 | 0,0574 | 0,0645 | 0,0614 | 0,0613 |
| 770            | 0,2508  | 0,0915 | 0,0557 | 0,0634 | 0,0608 | 0,0600 |
| 775            | 0,2432  | 0,0889 | 0,0544 | 0,0613 | 0,0588 | 0,0589 |
| 780            | 0,2355  | 0,0881 | 0,0543 | 0,0607 | 0,0587 | 0,0582 |
| 785            | 0,2300  | 0,0865 | 0,0548 | 0,0598 | 0,0580 | 0,0577 |
| 790            | 0,2256  | 0,0871 | 0,0542 | 0,0596 | 0,0585 | 0,0582 |
| 795            | 0,2207  | 0,0839 | 0,0521 | 0,0583 | 0,0565 | 0,0566 |
| 800            | 0,2166  | 0,0837 | 0,0522 | 0,0582 | 0,0567 | 0,0565 |

Tabela B2 - Média das absorbâncias no espectro UV-Vis para cada ensaio do planejamento fatorial do efluente de descarte.

| $\lambda$ (nm) | inicial | (-)(-) | (+)(-) | (-)(+) | (+)(+) | 0      |
|----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 200            | 3,1671  | 3,2531 | 3,2586 | 3,2426 | 3,2319 | 3,2331 |
| 205            | 3,2119  | 3,3275 | 3,3433 | 3,3096 | 3,3105 | 3,3239 |
| 210            | 3,1968  | 3,3187 | 3,3260 | 3,3447 | 3,3230 | 3,3206 |
| 215            | 3,2365  | 3,3217 | 3,3387 | 3,3384 | 3,3396 | 3,3206 |
| 220            | 3,3244  | 3,2429 | 3,2595 | 3,3370 | 3,3148 | 3,2340 |
| 225            | 3,4146  | 2,9401 | 2,9765 | 3,1310 | 3,0435 | 2,8791 |
| 230            | 3,3026  | 2,6742 | 2,6970 | 2,8684 | 2,7432 | 2,5812 |
| 235            | 2,7804  | 2,2972 | 2,3049 | 2,4471 | 2,3175 | 2,1779 |
| 240            | 2,2951  | 2,0060 | 1,9862 | 2,1180 | 1,9726 | 1,8654 |
| 245            | 1,9871  | 1,8141 | 1,7836 | 1,9047 | 1,7572 | 1,6754 |
| 250            | 1,7562  | 1,6453 | 1,6215 | 1,7176 | 1,5895 | 1,5205 |
| 255            | 1,5314  | 1,4474 | 1,4352 | 1,5027 | 1,4037 | 1,3477 |
| 260            | 1,4043  | 1,3065 | 1,3049 | 1,3502 | 1,2737 | 1,2255 |
| 265            | 1,2625  | 1,1766 | 1,1897 | 1,2122 | 1,1580 | 1,1127 |
| 270            | 1,0645  | 1,0649 | 1,0971 | 1,0941 | 1,0644 | 1,0170 |
| 275            | 0,9168  | 0,9785 | 1,0282 | 1,0018 | 0,9931 | 0,9422 |
| 280            | 0,8151  | 0,8995 | 0,9660 | 0,9178 | 0,9277 | 0,8717 |
| 285            | 0,7455  | 0,8339 | 0,9163 | 0,8492 | 0,8756 | 0,8140 |
| 290            | 0,6952  | 0,7756 | 0,8707 | 0,7863 | 0,8277 | 0,7604 |
| 295            | 0,6570  | 0,7245 | 0,8293 | 0,7338 | 0,7862 | 0,7136 |
| 300            | 0,6307  | 0,6839 | 0,7941 | 0,6915 | 0,7510 | 0,6766 |
| 305            | 0,6047  | 0,6411 | 0,7536 | 0,6479 | 0,7113 | 0,6373 |
| 310            | 0,5791  | 0,6025 | 0,7146 | 0,6091 | 0,6736 | 0,6020 |
| 315            | 0,5531  | 0,5676 | 0,6754 | 0,5734 | 0,6361 | 0,5690 |
| 320            | 0,5223  | 0,5333 | 0,6336 | 0,5382 | 0,5965 | 0,5347 |
| 325            | 0,4968  | 0,5032 | 0,5937 | 0,5076 | 0,5591 | 0,5040 |
| 330            | 0,4732  | 0,4757 | 0,5544 | 0,4798 | 0,5226 | 0,4744 |
| 335            | 0,4526  | 0,4501 | 0,5163 | 0,4541 | 0,4874 | 0,4470 |
| 340            | 0,4359  | 0,4266 | 0,4799 | 0,4300 | 0,4542 | 0,4209 |
| 345            | 0,4226  | 0,4056 | 0,4471 | 0,4087 | 0,4237 | 0,3975 |
| 350            | 0,4101  | 0,3849 | 0,4156 | 0,3881 | 0,3949 | 0,3750 |
| 355            | 0,4010  | 0,3667 | 0,3871 | 0,3693 | 0,3688 | 0,3544 |
| 360            | 0,3934  | 0,3491 | 0,3607 | 0,3515 | 0,3445 | 0,3351 |
| 365            | 0,3855  | 0,3339 | 0,3387 | 0,3360 | 0,3244 | 0,3185 |
| 370            | 0,3748  | 0,3165 | 0,3151 | 0,3186 | 0,3024 | 0,3001 |
| 375            | 0,3612  | 0,3015 | 0,2951 | 0,3034 | 0,2837 | 0,2842 |
| 380            | 0,3443  | 0,2880 | 0,2781 | 0,2897 | 0,2678 | 0,2700 |
| 385            | 0,3223  | 0,2752 | 0,2616 | 0,2769 | 0,2524 | 0,2563 |
| 390            | 0,2971  | 0,2639 | 0,2475 | 0,2652 | 0,2390 | 0,2438 |
| 395            | 0,2729  | 0,2537 | 0,2352 | 0,2551 | 0,2271 | 0,2329 |
| 400            | 0,2490  | 0,2439 | 0,2234 | 0,2452 | 0,2161 | 0,2224 |

Tabela B2 - Continuação.

| $\lambda$ (nm) | inicial | (-)(-) | (+)(-) | (-)(+) | (+)(+) | 0      |
|----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 405            | 0,2283  | 0,2352 | 0,2134 | 0,2364 | 0,2066 | 0,2131 |
| 410            | 0,2099  | 0,2266 | 0,2039 | 0,2278 | 0,1973 | 0,2042 |
| 415            | 0,1942  | 0,2185 | 0,1948 | 0,2196 | 0,1889 | 0,1958 |
| 420            | 0,1828  | 0,2108 | 0,1866 | 0,2118 | 0,1808 | 0,1878 |
| 425            | 0,1759  | 0,2040 | 0,1794 | 0,2050 | 0,1738 | 0,1809 |
| 430            | 0,1713  | 0,1973 | 0,1724 | 0,1983 | 0,1671 | 0,1743 |
| 435            | 0,1671  | 0,1909 | 0,1658 | 0,1918 | 0,1608 | 0,1679 |
| 440            | 0,1624  | 0,1852 | 0,1602 | 0,1860 | 0,1554 | 0,1623 |
| 445            | 0,1569  | 0,1797 | 0,1548 | 0,1805 | 0,1502 | 0,1570 |
| 450            | 0,1510  | 0,1742 | 0,1497 | 0,1751 | 0,1452 | 0,1520 |
| 455            | 0,1456  | 0,1690 | 0,1450 | 0,1698 | 0,1405 | 0,1471 |
| 460            | 0,1416  | 0,1647 | 0,1409 | 0,1654 | 0,1368 | 0,1434 |
| 465            | 0,1372  | 0,1599 | 0,1365 | 0,1605 | 0,1327 | 0,1392 |
| 470            | 0,1330  | 0,1554 | 0,1326 | 0,1561 | 0,1289 | 0,1352 |
| 475            | 0,1295  | 0,1512 | 0,1290 | 0,1517 | 0,1253 | 0,1314 |
| 480            | 0,1272  | 0,1473 | 0,1256 | 0,1478 | 0,1220 | 0,1279 |
| 485            | 0,1236  | 0,1437 | 0,1224 | 0,1444 | 0,1189 | 0,1248 |
| 490            | 0,1207  | 0,1401 | 0,1191 | 0,1405 | 0,1158 | 0,1215 |
| 495            | 0,1174  | 0,1363 | 0,1158 | 0,1370 | 0,1127 | 0,1183 |
| 500            | 0,1152  | 0,1330 | 0,1127 | 0,1337 | 0,1099 | 0,1153 |
| 505            | 0,1129  | 0,1296 | 0,1097 | 0,1302 | 0,1069 | 0,1121 |
| 510            | 0,1104  | 0,1265 | 0,1070 | 0,1270 | 0,1041 | 0,1093 |
| 515            | 0,1075  | 0,1238 | 0,1045 | 0,1243 | 0,1017 | 0,1067 |
| 520            | 0,1053  | 0,1208 | 0,1018 | 0,1214 | 0,0994 | 0,1041 |
| 525            | 0,1023  | 0,1182 | 0,0997 | 0,1187 | 0,0973 | 0,1017 |
| 530            | 0,1009  | 0,1155 | 0,0969 | 0,1157 | 0,0945 | 0,0992 |
| 535            | 0,1002  | 0,1129 | 0,0947 | 0,1134 | 0,0921 | 0,0967 |
| 540            | 0,1006  | 0,1104 | 0,0923 | 0,1107 | 0,0900 | 0,0944 |
| 545            | 0,1009  | 0,1083 | 0,0904 | 0,1085 | 0,0883 | 0,0925 |
| 550            | 0,1002  | 0,1060 | 0,0884 | 0,1062 | 0,0864 | 0,0904 |
| 555            | 0,0986  | 0,1037 | 0,0860 | 0,1038 | 0,0839 | 0,0880 |
| 560            | 0,0976  | 0,1017 | 0,0845 | 0,1014 | 0,0823 | 0,0862 |
| 565            | 0,0951  | 0,0995 | 0,0828 | 0,0995 | 0,0810 | 0,0844 |
| 570            | 0,0945  | 0,0975 | 0,0809 | 0,0972 | 0,0788 | 0,0825 |
| 575            | 0,0933  | 0,0956 | 0,0792 | 0,0952 | 0,0771 | 0,0805 |
| 580            | 0,0922  | 0,0936 | 0,0776 | 0,0931 | 0,0756 | 0,0791 |
| 585            | 0,0912  | 0,0919 | 0,0759 | 0,0911 | 0,0739 | 0,0772 |
| 590            | 0,0911  | 0,0905 | 0,0745 | 0,0896 | 0,0725 | 0,0759 |
| 595            | 0,0922  | 0,0888 | 0,0734 | 0,0881 | 0,0715 | 0,0746 |
| 600            | 0,0921  | 0,0872 | 0,0718 | 0,0864 | 0,0697 | 0,0730 |
| 605            | 0,0924  | 0,0859 | 0,0705 | 0,0847 | 0,0684 | 0,0716 |
| 610            | 0,0936  | 0,0846 | 0,0695 | 0,0836 | 0,0678 | 0,0708 |

Tabela B2 - Continuação.

| $\lambda$ (nm) | inicial | (-)(-) | (+)(-) | (-)(+) | (+)(+) | 0      |
|----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 615            | 0,0931  | 0,0829 | 0,0678 | 0,0815 | 0,0660 | 0,0689 |
| 620            | 0,0918  | 0,0816 | 0,0668 | 0,0805 | 0,0650 | 0,0680 |
| 625            | 0,0913  | 0,0802 | 0,0658 | 0,0789 | 0,0644 | 0,0665 |
| 630            | 0,0919  | 0,0786 | 0,0640 | 0,0772 | 0,0624 | 0,0652 |
| 635            | 0,0933  | 0,0778 | 0,0634 | 0,0766 | 0,0620 | 0,0648 |
| 640            | 0,0940  | 0,0766 | 0,0623 | 0,0753 | 0,0606 | 0,0635 |
| 645            | 0,0954  | 0,0765 | 0,0619 | 0,0742 | 0,0598 | 0,0631 |
| 650            | 0,0951  | 0,0743 | 0,0604 | 0,0727 | 0,0585 | 0,0613 |
| 655            | 0,0944  | 0,0743 | 0,0600 | 0,0722 | 0,0582 | 0,0611 |
| 660            | 0,0943  | 0,0733 | 0,0592 | 0,0712 | 0,0576 | 0,0601 |
| 665            | 0,0949  | 0,0721 | 0,0575 | 0,0697 | 0,0561 | 0,0587 |
| 670            | 0,0941  | 0,0707 | 0,0568 | 0,0686 | 0,0552 | 0,0577 |
| 675            | 0,0927  | 0,0692 | 0,0556 | 0,0673 | 0,0541 | 0,0565 |
| 680            | 0,0892  | 0,0677 | 0,0547 | 0,0662 | 0,0534 | 0,0557 |
| 685            | 0,0855  | 0,0664 | 0,0541 | 0,0652 | 0,0526 | 0,0551 |
| 690            | 0,0825  | 0,0637 | 0,0520 | 0,0631 | 0,0509 | 0,0531 |
| 695            | 0,0779  | 0,0631 | 0,0518 | 0,0628 | 0,0510 | 0,0532 |
| 700            | 0,0714  | 0,0606 | 0,0502 | 0,0601 | 0,0490 | 0,0511 |
| 705            | 0,0668  | 0,0603 | 0,0500 | 0,0602 | 0,0487 | 0,0508 |
| 710            | 0,0616  | 0,0583 | 0,0483 | 0,0577 | 0,0476 | 0,0493 |
| 715            | 0,0593  | 0,0575 | 0,0484 | 0,0574 | 0,0470 | 0,0494 |
| 720            | 0,0576  | 0,0569 | 0,0481 | 0,0569 | 0,0471 | 0,0489 |
| 725            | 0,0558  | 0,0552 | 0,0462 | 0,0548 | 0,0458 | 0,0476 |
| 730            | 0,0546  | 0,0538 | 0,0456 | 0,0538 | 0,0447 | 0,0470 |
| 735            | 0,0525  | 0,0531 | 0,0444 | 0,0534 | 0,0439 | 0,0461 |
| 740            | 0,0548  | 0,0521 | 0,0434 | 0,0517 | 0,0432 | 0,0451 |
| 745            | 0,0544  | 0,0506 | 0,0432 | 0,0511 | 0,0425 | 0,0444 |
| 750            | 0,0534  | 0,0498 | 0,0426 | 0,0499 | 0,0411 | 0,0431 |
| 755            | 0,0520  | 0,0492 | 0,0419 | 0,0492 | 0,0413 | 0,0430 |
| 760            | 0,0504  | 0,0486 | 0,0409 | 0,0484 | 0,0400 | 0,0421 |
| 765            | 0,0490  | 0,0479 | 0,0409 | 0,0479 | 0,0394 | 0,0417 |
| 770            | 0,0482  | 0,0472 | 0,0403 | 0,0472 | 0,0389 | 0,0412 |
| 775            | 0,0484  | 0,0462 | 0,0396 | 0,0468 | 0,0392 | 0,0414 |
| 780            | 0,0491  | 0,0462 | 0,0402 | 0,0466 | 0,0387 | 0,0410 |
| 785            | 0,0494  | 0,0448 | 0,0389 | 0,0446 | 0,0376 | 0,0397 |
| 790            | 0,0487  | 0,0442 | 0,0375 | 0,0443 | 0,0365 | 0,0392 |
| 795            | 0,0440  | 0,0435 | 0,0372 | 0,0433 | 0,0363 | 0,0382 |
| 800            | 0,0419  | 0,0429 | 0,0363 | 0,0431 | 0,0364 | 0,0382 |

Tabela B3 - Média das absorvâncias no espectro UV-Vis para cada ensaio do planejamento fatorial do efluente de reuso.

| $\lambda$ (nm) | inicial | (-)(-) | (+)(-) | (-)(+) | (+)(+) | 0      |
|----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 200            | 3,1102  | 3,2292 | 3,2247 | 3,2274 | 3,2158 | 3,1980 |
| 205            | 3,1667  | 3,2960 | 3,3039 | 3,3024 | 3,2747 | 3,2800 |
| 210            | 3,1641  | 3,2656 | 3,2970 | 3,2790 | 3,2654 | 3,2540 |
| 215            | 3,1814  | 3,1976 | 3,2165 | 3,2601 | 3,1929 | 3,1498 |
| 220            | 3,2495  | 3,0178 | 2,9622 | 3,1529 | 2,8956 | 2,8296 |
| 225            | 3,3591  | 2,7481 | 2,5627 | 2,9232 | 2,4640 | 2,4171 |
| 230            | 3,2436  | 2,5469 | 2,3208 | 2,7064 | 2,2049 | 2,1828 |
| 235            | 2,6750  | 2,2008 | 2,0059 | 2,3278 | 1,8769 | 1,8838 |
| 240            | 2,1465  | 1,9164 | 1,7486 | 2,0123 | 1,6067 | 1,6379 |
| 245            | 1,8385  | 1,7371 | 1,5890 | 1,8135 | 1,4472 | 1,4841 |
| 250            | 1,6395  | 1,5989 | 1,4678 | 1,6593 | 1,3338 | 1,3620 |
| 255            | 1,4540  | 1,4407 | 1,3323 | 1,4944 | 1,2131 | 1,2260 |
| 260            | 1,3489  | 1,3326 | 1,2385 | 1,3805 | 1,1292 | 1,1284 |
| 265            | 1,2288  | 1,2209 | 1,1489 | 1,2634 | 1,0493 | 1,0341 |
| 270            | 1,0582  | 1,1002 | 1,0727 | 1,1347 | 0,9802 | 0,9526 |
| 275            | 0,9231  | 1,0010 | 1,0117 | 1,0273 | 0,9247 | 0,8867 |
| 280            | 0,8223  | 0,9184 | 0,9558 | 0,9392 | 0,8731 | 0,8268 |
| 285            | 0,7480  | 0,8550 | 0,9107 | 0,8735 | 0,8317 | 0,7775 |
| 290            | 0,6905  | 0,8007 | 0,8678 | 0,8166 | 0,7938 | 0,7325 |
| 295            | 0,6444  | 0,7533 | 0,8281 | 0,7688 | 0,7578 | 0,6923 |
| 300            | 0,6151  | 0,7177 | 0,7936 | 0,7319 | 0,7275 | 0,6593 |
| 305            | 0,5882  | 0,6827 | 0,7540 | 0,6958 | 0,6918 | 0,6242 |
| 310            | 0,5644  | 0,6519 | 0,7164 | 0,6645 | 0,6574 | 0,5921 |
| 315            | 0,5395  | 0,6231 | 0,6784 | 0,6349 | 0,6230 | 0,5617 |
| 320            | 0,5120  | 0,5936 | 0,6387 | 0,6049 | 0,5868 | 0,5298 |
| 325            | 0,4847  | 0,5670 | 0,6019 | 0,5774 | 0,5536 | 0,5005 |
| 330            | 0,4588  | 0,5410 | 0,5650 | 0,5504 | 0,5200 | 0,4717 |
| 335            | 0,4359  | 0,5169 | 0,5297 | 0,5259 | 0,4880 | 0,4443 |
| 340            | 0,4174  | 0,4940 | 0,4946 | 0,5033 | 0,4565 | 0,4182 |
| 345            | 0,4016  | 0,4731 | 0,4624 | 0,4820 | 0,4271 | 0,3942 |
| 350            | 0,3863  | 0,4531 | 0,4309 | 0,4622 | 0,3992 | 0,3714 |
| 355            | 0,3743  | 0,4340 | 0,4014 | 0,4434 | 0,3721 | 0,3499 |
| 360            | 0,3638  | 0,4163 | 0,3740 | 0,4259 | 0,3473 | 0,3300 |
| 365            | 0,3538  | 0,3992 | 0,3500 | 0,4089 | 0,3258 | 0,3118 |
| 370            | 0,3420  | 0,3787 | 0,3248 | 0,3882 | 0,3030 | 0,2923 |
| 375            | 0,3273  | 0,3586 | 0,3032 | 0,3676 | 0,2829 | 0,2752 |
| 380            | 0,3098  | 0,3392 | 0,2842 | 0,3475 | 0,2652 | 0,2600 |
| 385            | 0,2885  | 0,3193 | 0,2668 | 0,3268 | 0,2489 | 0,2456 |
| 390            | 0,2644  | 0,2997 | 0,2508 | 0,3059 | 0,2339 | 0,2322 |
| 395            | 0,2418  | 0,2816 | 0,2369 | 0,2868 | 0,2207 | 0,2204 |
| 400            | 0,2194  | 0,2642 | 0,2242 | 0,2683 | 0,2086 | 0,2094 |

Tabela B3 - Continuação.

| $\lambda$ (nm) | inicial | (-)(-) | (+)(-) | (-)(+) | (+)(+) | 0      |
|----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 405            | 0,1999  | 0,2488 | 0,2128 | 0,2518 | 0,1979 | 0,1993 |
| 410            | 0,1834  | 0,2348 | 0,2025 | 0,2370 | 0,1880 | 0,1900 |
| 415            | 0,1693  | 0,2223 | 0,1930 | 0,2241 | 0,1789 | 0,1815 |
| 420            | 0,1574  | 0,2110 | 0,1836 | 0,2123 | 0,1699 | 0,1730 |
| 425            | 0,1489  | 0,2014 | 0,1757 | 0,2027 | 0,1625 | 0,1659 |
| 430            | 0,1409  | 0,1921 | 0,1677 | 0,1931 | 0,1551 | 0,1586 |
| 435            | 0,1345  | 0,1834 | 0,1604 | 0,1843 | 0,1481 | 0,1519 |
| 440            | 0,1296  | 0,1757 | 0,1540 | 0,1765 | 0,1420 | 0,1459 |
| 445            | 0,1244  | 0,1687 | 0,1483 | 0,1694 | 0,1367 | 0,1407 |
| 450            | 0,1197  | 0,1621 | 0,1432 | 0,1629 | 0,1319 | 0,1358 |
| 455            | 0,1149  | 0,1557 | 0,1381 | 0,1563 | 0,1271 | 0,1311 |
| 460            | 0,1110  | 0,1493 | 0,1332 | 0,1498 | 0,1226 | 0,1264 |
| 465            | 0,1065  | 0,1435 | 0,1289 | 0,1440 | 0,1185 | 0,1223 |
| 470            | 0,1030  | 0,1382 | 0,1248 | 0,1387 | 0,1146 | 0,1185 |
| 475            | 0,0997  | 0,1334 | 0,1211 | 0,1338 | 0,1112 | 0,1150 |
| 480            | 0,0971  | 0,1290 | 0,1179 | 0,1295 | 0,1082 | 0,1121 |
| 485            | 0,0942  | 0,1246 | 0,1139 | 0,1250 | 0,1047 | 0,1083 |
| 490            | 0,0922  | 0,1205 | 0,1103 | 0,1208 | 0,1015 | 0,1050 |
| 495            | 0,0900  | 0,1165 | 0,1070 | 0,1168 | 0,0984 | 0,1017 |
| 500            | 0,0880  | 0,1129 | 0,1039 | 0,1133 | 0,0957 | 0,0989 |
| 505            | 0,0853  | 0,1092 | 0,1009 | 0,1097 | 0,0928 | 0,0960 |
| 510            | 0,0834  | 0,1060 | 0,0978 | 0,1063 | 0,0900 | 0,0931 |
| 515            | 0,0817  | 0,1029 | 0,0952 | 0,1032 | 0,0876 | 0,0905 |
| 520            | 0,0801  | 0,0999 | 0,0925 | 0,1002 | 0,0854 | 0,0880 |
| 525            | 0,0785  | 0,0972 | 0,0903 | 0,0977 | 0,0834 | 0,0860 |
| 530            | 0,0773  | 0,0941 | 0,0873 | 0,0942 | 0,0807 | 0,0830 |
| 535            | 0,0757  | 0,0914 | 0,0850 | 0,0917 | 0,0787 | 0,0809 |
| 540            | 0,0740  | 0,0890 | 0,0830 | 0,0892 | 0,0767 | 0,0788 |
| 545            | 0,0726  | 0,0864 | 0,0808 | 0,0867 | 0,0747 | 0,0766 |
| 550            | 0,0716  | 0,0838 | 0,0786 | 0,0842 | 0,0729 | 0,0745 |
| 555            | 0,0706  | 0,0815 | 0,0765 | 0,0819 | 0,0708 | 0,0725 |
| 560            | 0,0701  | 0,0795 | 0,0749 | 0,0800 | 0,0697 | 0,0711 |
| 565            | 0,0691  | 0,0772 | 0,0729 | 0,0776 | 0,0676 | 0,0690 |
| 570            | 0,0680  | 0,0752 | 0,0714 | 0,0757 | 0,0664 | 0,0677 |
| 575            | 0,0669  | 0,0731 | 0,0693 | 0,0735 | 0,0645 | 0,0656 |
| 580            | 0,0658  | 0,0712 | 0,0681 | 0,0719 | 0,0635 | 0,0645 |
| 585            | 0,0646  | 0,0691 | 0,0661 | 0,0695 | 0,0615 | 0,0626 |
| 590            | 0,0632  | 0,0677 | 0,0651 | 0,0682 | 0,0609 | 0,0618 |
| 595            | 0,0627  | 0,0660 | 0,0637 | 0,0665 | 0,0594 | 0,0602 |
| 600            | 0,0615  | 0,0643 | 0,0626 | 0,0649 | 0,0585 | 0,0591 |
| 605            | 0,0601  | 0,0622 | 0,0607 | 0,0630 | 0,0568 | 0,0573 |
| 610            | 0,0593  | 0,0610 | 0,0597 | 0,0617 | 0,0557 | 0,0563 |

Tabela B3 - Continuação.

| $\lambda$ (nm) | inicial | (-)(-) | (+)(-) | (-)(+) | (+)(+) | 0      |
|----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 615            | 0,0584  | 0,0589 | 0,0576 | 0,0594 | 0,0539 | 0,0545 |
| 620            | 0,0577  | 0,0580 | 0,0570 | 0,0586 | 0,0533 | 0,0536 |
| 625            | 0,0559  | 0,0568 | 0,0560 | 0,0571 | 0,0523 | 0,0529 |
| 630            | 0,0552  | 0,0557 | 0,0550 | 0,0560 | 0,0517 | 0,0519 |
| 635            | 0,0546  | 0,0544 | 0,0539 | 0,0550 | 0,0509 | 0,0511 |
| 640            | 0,0532  | 0,0529 | 0,0526 | 0,0535 | 0,0495 | 0,0495 |
| 645            | 0,0526  | 0,0517 | 0,0520 | 0,0526 | 0,0487 | 0,0485 |
| 650            | 0,0511  | 0,0510 | 0,0508 | 0,0512 | 0,0478 | 0,0480 |
| 655            | 0,0518  | 0,0495 | 0,0498 | 0,0503 | 0,0468 | 0,0469 |
| 660            | 0,0516  | 0,0487 | 0,0488 | 0,0491 | 0,0458 | 0,0459 |
| 665            | 0,0513  | 0,0477 | 0,0476 | 0,0480 | 0,0450 | 0,0450 |
| 670            | 0,0506  | 0,0467 | 0,0472 | 0,0474 | 0,0442 | 0,0442 |
| 675            | 0,0496  | 0,0457 | 0,0462 | 0,0464 | 0,0436 | 0,0435 |
| 680            | 0,0492  | 0,0448 | 0,0454 | 0,0454 | 0,0424 | 0,0423 |
| 685            | 0,0485  | 0,0438 | 0,0445 | 0,0448 | 0,0419 | 0,0417 |
| 690            | 0,0488  | 0,0427 | 0,0432 | 0,0434 | 0,0407 | 0,0403 |
| 695            | 0,0497  | 0,0422 | 0,0431 | 0,0432 | 0,0407 | 0,0406 |
| 700            | 0,0483  | 0,0406 | 0,0412 | 0,0411 | 0,0389 | 0,0386 |
| 705            | 0,0486  | 0,0394 | 0,0399 | 0,0403 | 0,0382 | 0,0379 |
| 710            | 0,0466  | 0,0386 | 0,0394 | 0,0394 | 0,0371 | 0,0374 |
| 715            | 0,0452  | 0,0379 | 0,0390 | 0,0388 | 0,0366 | 0,0367 |
| 720            | 0,0432  | 0,0379 | 0,0391 | 0,0385 | 0,0370 | 0,0362 |
| 725            | 0,0409  | 0,0367 | 0,0379 | 0,0373 | 0,0361 | 0,0352 |
| 730            | 0,0408  | 0,0356 | 0,0372 | 0,0367 | 0,0346 | 0,0347 |
| 735            | 0,0392  | 0,0354 | 0,0365 | 0,0361 | 0,0342 | 0,0338 |
| 740            | 0,0394  | 0,0338 | 0,0344 | 0,0346 | 0,0331 | 0,0328 |
| 745            | 0,0382  | 0,0327 | 0,0341 | 0,0332 | 0,0320 | 0,0314 |
| 750            | 0,0371  | 0,0326 | 0,0334 | 0,0337 | 0,0314 | 0,0317 |
| 755            | 0,0366  | 0,0317 | 0,0330 | 0,0325 | 0,0311 | 0,0310 |
| 760            | 0,0376  | 0,0320 | 0,0330 | 0,0325 | 0,0319 | 0,0308 |
| 765            | 0,0383  | 0,0311 | 0,0319 | 0,0318 | 0,0305 | 0,0301 |
| 770            | 0,0377  | 0,0299 | 0,0316 | 0,0306 | 0,0297 | 0,0294 |
| 775            | 0,0355  | 0,0299 | 0,0306 | 0,0302 | 0,0286 | 0,0291 |
| 780            | 0,0340  | 0,0299 | 0,0307 | 0,0300 | 0,0294 | 0,0290 |
| 785            | 0,0339  | 0,0288 | 0,0298 | 0,0293 | 0,0280 | 0,0278 |
| 790            | 0,0320  | 0,0273 | 0,0293 | 0,0283 | 0,0274 | 0,0268 |
| 795            | 0,0317  | 0,0283 | 0,0302 | 0,0297 | 0,0291 | 0,0278 |
| 800            | 0,0311  | 0,0267 | 0,0281 | 0,0278 | 0,0267 | 0,0264 |

## APÊNDICE C – PARÂMETROS ANALISADOS NO REATOR FOTOCATALÍTICO

Tabela C1 - Valores da cor, da turbidez e da DQO, na vazão 0,45 L.min<sup>-1</sup>, antes e após a reação no reator fotocatalítico.

| Tempo (h) | Turbidez (NTU) | Cor (uH) | DQO (mg.L <sup>-1</sup> ) |
|-----------|----------------|----------|---------------------------|
| 0         | 90,80          | 310      | 623,000                   |
| 1         | 50,80          | 288      | 494,133                   |
| 2         | 50,70          | 285      | 485,183                   |
| 3         | 50,30          | 272      | 476,677                   |
| 4         | 49,90          | 266      | 458,644                   |
| 5         | 49,80          | 248      | 453,200                   |
| 6         | 47,70          | 226      | 439,250                   |
| 7         | 47,50          | 218      | 399,102                   |
| 8         | 46,70          | 210      | 415,093                   |

Tabela C2 - Valores da cor, da turbidez e da DQO, na vazão 0,65 L.min<sup>-1</sup>, antes e após a reação no reator fotocatalítico.

| Tempo (h) | Turbidez (NTU) | Cor (uH) | DQO (mg.L <sup>-1</sup> ) |
|-----------|----------------|----------|---------------------------|
| 0         | 90,80          | 310      | 623,000                   |
| 1         | 43,90          | 261      | 473,274                   |
| 2         | 41,90          | 243      | 470,553                   |
| 3         | 40,80          | 229      | 437,889                   |
| 4         | 40,60          | 211      | 409,990                   |
| 5         | 40,10          | 201      | 369,161                   |
| 6         | 39,90          | 200      | 353,170                   |
| 7         | 39,90          | 176      | 337,859                   |
| 8         | 39,80          | 181      | 316,424                   |

Tabela C3 - Valores da cor, da turbidez e da DQO, na vazão 0,82 L.min<sup>-1</sup>, antes e após a reação no reator fotocatalítico.

| Tempo (h) | Turbidez (NTU) | Cor (uH) | DQO (mg.L <sup>-1</sup> ) |
|-----------|----------------|----------|---------------------------|
| 0         | 90,80          | 310      | 623,000                   |
| 1         | 39,70          | 222      | 468,851                   |
| 2         | 39,50          | 217      | 422,579                   |
| 3         | 39,10          | 201      | 411,591                   |
| 4         | 38,60          | 198      | 402,845                   |
| 5         | 37,10          | 191      | 324,543                   |
| 6         | 36,20          | 185      | 310,298                   |
| 7         | 36,10          | 172      | 299,765                   |
| 8         | 35,50          | 169      | 189,732                   |

## APÊNDICE D - ESPECTRO DE ABSORÇÃO NO REATOR FOTOCATALÍTICO

Tabela D1 - Valores da absorbância no espectro UV-Vis em função do comprimento de onda antes e após a reação no reator fotocatalítico a cada hora na vazão 0,48 L.min<sup>-1</sup>.

| $\lambda$ (nm) | Absorbância (uA) |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                | c0               | c1     | c2     | c3     | c4     | c5     | c6     | c7     | c8     |
| 200            | 3,2342           | 3,1699 | 3,1301 | 3,1285 | 3,0914 | 3,1172 | 3,0878 | 3,0736 | 3,0442 |
| 205            | 3,3522           | 3,2188 | 3,2289 | 3,1883 | 3,1593 | 3,1366 | 3,1297 | 3,0622 | 3,0319 |
| 210            | 3,3772           | 3,2276 | 3,2068 | 3,1808 | 3,1210 | 3,0587 | 3,0002 | 2,9288 | 2,8653 |
| 215            | 3,4311           | 3,2309 | 3,2031 | 3,1081 | 3,0226 | 2,9318 | 2,8413 | 2,7359 | 2,6522 |
| 220            | 3,5202           | 3,2616 | 3,1776 | 3,0138 | 2,8568 | 2,7301 | 2,6156 | 2,4801 | 2,3825 |
| 225            | 3,6544           | 3,1632 | 3,0008 | 2,7493 | 2,5586 | 2,4194 | 2,3111 | 2,1815 | 2,0799 |
| 230            | 3,5674           | 2,9411 | 2,7554 | 2,5119 | 2,3337 | 2,2047 | 2,1055 | 1,9971 | 1,9003 |
| 235            | 3,2022           | 2,5175 | 2,3772 | 2,1770 | 2,0306 | 1,9197 | 1,8382 | 1,7568 | 1,6598 |
| 240            | 2,9095           | 2,1906 | 2,0973 | 1,9301 | 1,8022 | 1,7016 | 1,6325 | 1,5705 | 1,4748 |
| 245            | 2,6814           | 1,9909 | 1,9262 | 1,7772 | 1,6616 | 1,5714 | 1,5069 | 1,4573 | 1,3608 |
| 250            | 2,4757           | 1,8376 | 1,7865 | 1,6513 | 1,5483 | 1,4637 | 1,4078 | 1,3659 | 1,2726 |
| 255            | 2,2448           | 1,6671 | 1,6258 | 1,5021 | 1,4133 | 1,3414 | 1,2960 | 1,2522 | 1,1767 |
| 260            | 2,1059           | 1,5439 | 1,5057 | 1,3925 | 1,3109 | 1,2492 | 1,2130 | 1,1664 | 1,1051 |
| 265            | 1,9729           | 1,4306 | 1,3979 | 1,2920 | 1,2176 | 1,1610 | 1,1311 | 1,0763 | 1,0314 |
| 270            | 1,8632           | 1,3099 | 1,2938 | 1,2001 | 1,1318 | 1,0801 | 1,0541 | 0,9955 | 0,9619 |
| 275            | 1,7822           | 1,2041 | 1,2009 | 1,1170 | 1,0552 | 1,0081 | 0,9854 | 0,9247 | 0,8997 |
| 280            | 1,7067           | 1,1093 | 1,1127 | 1,0350 | 0,9771 | 0,9328 | 0,9127 | 0,8575 | 0,8341 |
| 285            | 1,6406           | 1,0260 | 1,0331 | 0,9589 | 0,9055 | 0,8655 | 0,8486 | 0,7962 | 0,7759 |
| 290            | 1,5655           | 0,9550 | 0,9641 | 0,8938 | 0,8427 | 0,8040 | 0,7890 | 0,7368 | 0,7210 |
| 295            | 1,4863           | 0,9070 | 0,9162 | 0,8461 | 0,7965 | 0,7591 | 0,7450 | 0,6942 | 0,6798 |
| 300            | 1,4112           | 0,8740 | 0,8823 | 0,8142 | 0,7650 | 0,7286 | 0,7149 | 0,6628 | 0,6510 |
| 305            | 1,3291           | 0,8415 | 0,8518 | 0,7841 | 0,7346 | 0,6996 | 0,6869 | 0,6313 | 0,6232 |
| 310            | 1,2565           | 0,8127 | 0,8214 | 0,7542 | 0,7054 | 0,6704 | 0,6571 | 0,6015 | 0,5951 |
| 315            | 1,1897           | 0,7868 | 0,7923 | 0,7251 | 0,6755 | 0,6398 | 0,6270 | 0,5712 | 0,5656 |
| 320            | 1,1196           | 0,7589 | 0,7625 | 0,6928 | 0,6418 | 0,6065 | 0,5926 | 0,5377 | 0,5327 |
| 325            | 1,0562           | 0,7318 | 0,7312 | 0,6606 | 0,6097 | 0,5736 | 0,5606 | 0,5062 | 0,5014 |
| 330            | 0,9945           | 0,7032 | 0,6998 | 0,6278 | 0,5768 | 0,5410 | 0,5282 | 0,4758 | 0,4715 |
| 335            | 0,9326           | 0,6724 | 0,6670 | 0,5945 | 0,5444 | 0,5097 | 0,4979 | 0,4472 | 0,4436 |
| 340            | 0,8725           | 0,6411 | 0,6346 | 0,5617 | 0,5130 | 0,4794 | 0,4680 | 0,4200 | 0,4168 |
| 345            | 0,8163           | 0,6089 | 0,6003 | 0,5294 | 0,4826 | 0,4504 | 0,4402 | 0,3941 | 0,3922 |
| 350            | 0,7613           | 0,5750 | 0,5659 | 0,4963 | 0,4514 | 0,4209 | 0,4119 | 0,3678 | 0,3670 |
| 355            | 0,7088           | 0,5422 | 0,5326 | 0,4648 | 0,4215 | 0,3932 | 0,3851 | 0,3437 | 0,3431 |
| 360            | 0,6580           | 0,5101 | 0,5002 | 0,4344 | 0,3935 | 0,3671 | 0,3591 | 0,3202 | 0,3202 |
| 365            | 0,6169           | 0,4807 | 0,4729 | 0,4078 | 0,3688 | 0,3441 | 0,3370 | 0,3008 | 0,3010 |
| 370            | 0,5753           | 0,4496 | 0,4426 | 0,3806 | 0,3438 | 0,3202 | 0,3141 | 0,2804 | 0,2809 |
| 375            | 0,5413           | 0,4221 | 0,4178 | 0,3582 | 0,3233 | 0,3016 | 0,2962 | 0,2641 | 0,2651 |
| 380            | 0,5134           | 0,3975 | 0,3962 | 0,3386 | 0,3060 | 0,2852 | 0,2811 | 0,2500 | 0,2516 |

Tabela D1 - Continuação.

| $\lambda$ (nm) | Absorbância (uA) |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                | c0               | c1     | c2     | c3     | c4     | c5     | c6     | c7     | c8     |
| 385            | 0,4859           | 0,3742 | 0,3758 | 0,3210 | 0,2905 | 0,2712 | 0,2670 | 0,2376 | 0,2392 |
| 390            | 0,4608           | 0,3510 | 0,3565 | 0,3054 | 0,2762 | 0,2577 | 0,2543 | 0,2259 | 0,2277 |
| 395            | 0,4404           | 0,3318 | 0,3403 | 0,2917 | 0,2641 | 0,2470 | 0,2442 | 0,2168 | 0,2185 |
| 400            | 0,4199           | 0,3123 | 0,3244 | 0,2785 | 0,2525 | 0,2361 | 0,2336 | 0,2070 | 0,2093 |
| 405            | 0,4011           | 0,2953 | 0,3101 | 0,2669 | 0,2423 | 0,2264 | 0,2243 | 0,1988 | 0,2016 |
| 410            | 0,3842           | 0,2805 | 0,2970 | 0,2561 | 0,2329 | 0,2176 | 0,2160 | 0,1913 | 0,1938 |
| 415            | 0,3671           | 0,2657 | 0,2841 | 0,2447 | 0,2225 | 0,2083 | 0,2069 | 0,1824 | 0,1854 |
| 420            | 0,3530           | 0,2552 | 0,2745 | 0,2363 | 0,2146 | 0,2009 | 0,2000 | 0,1762 | 0,1790 |
| 425            | 0,3407           | 0,2455 | 0,2654 | 0,2278 | 0,2068 | 0,1935 | 0,1928 | 0,1699 | 0,1726 |
| 430            | 0,3281           | 0,2358 | 0,2554 | 0,2190 | 0,1986 | 0,1861 | 0,1856 | 0,1629 | 0,1662 |
| 435            | 0,3174           | 0,2277 | 0,2470 | 0,2113 | 0,1916 | 0,1795 | 0,1794 | 0,1572 | 0,1601 |
| 440            | 0,3077           | 0,2206 | 0,2398 | 0,2045 | 0,1853 | 0,1739 | 0,1739 | 0,1522 | 0,1555 |
| 445            | 0,2988           | 0,2123 | 0,2314 | 0,1970 | 0,1784 | 0,1667 | 0,1669 | 0,1459 | 0,1491 |
| 450            | 0,2904           | 0,2066 | 0,2255 | 0,1916 | 0,1733 | 0,1621 | 0,1623 | 0,1422 | 0,1452 |
| 455            | 0,2824           | 0,1998 | 0,2183 | 0,1849 | 0,1668 | 0,1561 | 0,1565 | 0,1365 | 0,1401 |
| 460            | 0,2757           | 0,1925 | 0,2104 | 0,1781 | 0,1606 | 0,1501 | 0,1507 | 0,1315 | 0,1348 |
| 465            | 0,2684           | 0,1864 | 0,2041 | 0,1724 | 0,1554 | 0,1451 | 0,1460 | 0,1270 | 0,1305 |
| 470            | 0,2627           | 0,1797 | 0,1976 | 0,1662 | 0,1498 | 0,1398 | 0,1406 | 0,1222 | 0,1258 |
| 475            | 0,2566           | 0,1738 | 0,1910 | 0,1606 | 0,1446 | 0,1348 | 0,1358 | 0,1179 | 0,1217 |
| 480            | 0,2504           | 0,1682 | 0,1855 | 0,1554 | 0,1397 | 0,1305 | 0,1314 | 0,1139 | 0,1178 |
| 485            | 0,2464           | 0,1635 | 0,1811 | 0,1509 | 0,1356 | 0,1265 | 0,1275 | 0,1109 | 0,1144 |
| 490            | 0,2414           | 0,1584 | 0,1759 | 0,1458 | 0,1312 | 0,1226 | 0,1235 | 0,1073 | 0,1110 |
| 495            | 0,2363           | 0,1540 | 0,1716 | 0,1416 | 0,1271 | 0,1189 | 0,1200 | 0,1043 | 0,1081 |
| 500            | 0,2321           | 0,1485 | 0,1650 | 0,1364 | 0,1223 | 0,1142 | 0,1155 | 0,1002 | 0,1039 |
| 505            | 0,2276           | 0,1436 | 0,1601 | 0,1317 | 0,1180 | 0,1101 | 0,1113 | 0,0968 | 0,1007 |
| 510            | 0,2238           | 0,1390 | 0,1558 | 0,1276 | 0,1140 | 0,1064 | 0,1079 | 0,0936 | 0,0976 |
| 515            | 0,2203           | 0,1345 | 0,1511 | 0,1234 | 0,1102 | 0,1030 | 0,1043 | 0,0905 | 0,0945 |
| 520            | 0,2175           | 0,1300 | 0,1468 | 0,1192 | 0,1062 | 0,0993 | 0,1006 | 0,0871 | 0,0913 |
| 525            | 0,2142           | 0,1254 | 0,1417 | 0,1151 | 0,1023 | 0,0955 | 0,0972 | 0,0839 | 0,0882 |
| 530            | 0,2122           | 0,1205 | 0,1373 | 0,1108 | 0,0983 | 0,0919 | 0,0934 | 0,0808 | 0,0850 |
| 535            | 0,2092           | 0,1150 | 0,1313 | 0,1055 | 0,0932 | 0,0873 | 0,0885 | 0,0766 | 0,0806 |
| 540            | 0,2067           | 0,1098 | 0,1256 | 0,1006 | 0,0887 | 0,0829 | 0,0841 | 0,0726 | 0,0768 |
| 545            | 0,2048           | 0,1047 | 0,1211 | 0,0959 | 0,0841 | 0,0787 | 0,0800 | 0,0687 | 0,0729 |
| 550            | 0,2023           | 0,0985 | 0,1142 | 0,0898 | 0,0782 | 0,0728 | 0,0740 | 0,0628 | 0,0669 |
| 555            | 0,1999           | 0,0920 | 0,1072 | 0,0835 | 0,0725 | 0,0673 | 0,0688 | 0,0580 | 0,0623 |
| 560            | 0,1974           | 0,0869 | 0,1016 | 0,0791 | 0,0678 | 0,0632 | 0,0646 | 0,0543 | 0,0585 |
| 565            | 0,1947           | 0,0801 | 0,0948 | 0,0728 | 0,0619 | 0,0574 | 0,0587 | 0,0488 | 0,0527 |
| 570            | 0,1925           | 0,0744 | 0,0893 | 0,0673 | 0,0568 | 0,0524 | 0,0540 | 0,0446 | 0,0486 |
| 575            | 0,1909           | 0,0686 | 0,0833 | 0,0622 | 0,0518 | 0,0478 | 0,0490 | 0,0400 | 0,0438 |
| 580            | 0,1904           | 0,0635 | 0,0778 | 0,0571 | 0,0476 | 0,0438 | 0,0451 | 0,0366 | 0,0411 |
| 585            | 0,1889           | 0,0567 | 0,0715 | 0,0513 | 0,0422 | 0,0385 | 0,0401 | 0,0315 | 0,0355 |

Tabela D1 - Continuação.

| $\lambda$ (nm) | Absorbância (uA) |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                | c0               | c1     | c2     | c3     | c4     | c5     | c6     | c7     | c8     |
| 590            | 0,1880           | 0,0510 | 0,0659 | 0,0460 | 0,0368 | 0,0335 | 0,0350 | 0,0271 | 0,0311 |
| 595            | 0,1880           | 0,0457 | 0,0599 | 0,0404 | 0,0317 | 0,0282 | 0,0299 | 0,0222 | 0,0259 |
| 600            | 0,1875           | 0,0403 | 0,0547 | 0,0357 | 0,0275 | 0,0243 | 0,0265 | 0,0188 | 0,0221 |
| 605            | 0,1871           | 0,0352 | 0,0492 | 0,0305 | 0,0226 | 0,0193 | 0,0213 | 0,0140 | 0,0173 |
| 610            | 0,1875           | 0,0321 | 0,0462 | 0,0281 | 0,0205 | 0,0175 | 0,0192 | 0,0124 | 0,0160 |
| 615            | 0,1868           | 0,0290 | 0,0423 | 0,0251 | 0,0181 | 0,0149 | 0,0171 | 0,0104 | 0,0138 |
| 620            | 0,1871           | 0,0259 | 0,0382 | 0,0222 | 0,0154 | 0,0123 | 0,0149 | 0,0081 | 0,0114 |
| 625            | 0,1867           | 0,0254 | 0,0376 | 0,0218 | 0,0157 | 0,0123 | 0,0148 | 0,0084 | 0,0114 |
| 630            | 0,1886           | 0,0221 | 0,0342 | 0,0188 | 0,0126 | 0,0095 | 0,0120 | 0,0058 | 0,0089 |
| 635            | 0,1898           | 0,0185 | 0,0311 | 0,0154 | 0,0095 | 0,0068 | 0,0093 | 0,0032 | 0,0060 |
| 640            | 0,1908           | 0,0149 | 0,0269 | 0,0118 | 0,0062 | 0,0033 | 0,0056 | 0,0000 | 0,0030 |
| 645            | 0,1917           | 0,0106 | 0,0231 | 0,0078 | 0,0022 | 0,0000 | 0,0020 | 0,0000 | 0,0000 |
| 650            | 0,1923           | 0,0058 | 0,0174 | 0,0027 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 655            | 0,1931           | 0,0017 | 0,0132 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 660            | 0,1934           | 0,0000 | 0,0103 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 665            | 0,1931           | 0,0000 | 0,0081 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 670            | 0,1906           | 0,0007 | 0,0108 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 675            | 0,1869           | 0,0070 | 0,0177 | 0,0051 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 680            | 0,1809           | 0,0148 | 0,0253 | 0,0128 | 0,0075 | 0,0060 | 0,0082 | 0,0037 | 0,0064 |
| 685            | 0,1751           | 0,0223 | 0,0338 | 0,0207 | 0,0156 | 0,0142 | 0,0164 | 0,0120 | 0,0149 |
| 690            | 0,1664           | 0,0290 | 0,0402 | 0,0278 | 0,0226 | 0,0221 | 0,0242 | 0,0193 | 0,0228 |
| 695            | 0,1574           | 0,0329 | 0,0443 | 0,0327 | 0,0276 | 0,0267 | 0,0285 | 0,0249 | 0,0282 |
| 700            | 0,1487           | 0,0350 | 0,0461 | 0,0342 | 0,0293 | 0,0286 | 0,0307 | 0,0267 | 0,0297 |
| 705            | 0,1410           | 0,0360 | 0,0466 | 0,0358 | 0,0305 | 0,0301 | 0,0319 | 0,0287 | 0,0311 |
| 710            | 0,1339           | 0,0372 | 0,0477 | 0,0370 | 0,0322 | 0,0315 | 0,0341 | 0,0297 | 0,0327 |
| 715            | 0,1276           | 0,0376 | 0,0484 | 0,0380 | 0,0330 | 0,0323 | 0,0348 | 0,0300 | 0,0337 |
| 720            | 0,1240           | 0,0366 | 0,0483 | 0,0376 | 0,0328 | 0,0321 | 0,0344 | 0,0300 | 0,0330 |
| 725            | 0,1193           | 0,0371 | 0,0488 | 0,0377 | 0,0330 | 0,0322 | 0,0347 | 0,0301 | 0,0333 |
| 730            | 0,1162           | 0,0378 | 0,0493 | 0,0383 | 0,0333 | 0,0326 | 0,0355 | 0,0307 | 0,0342 |
| 735            | 0,1138           | 0,0374 | 0,0488 | 0,0377 | 0,0328 | 0,0325 | 0,0354 | 0,0305 | 0,0335 |
| 740            | 0,1104           | 0,0371 | 0,0488 | 0,0377 | 0,0330 | 0,0319 | 0,0354 | 0,0308 | 0,0333 |
| 745            | 0,1086           | 0,0380 | 0,0501 | 0,0388 | 0,0340 | 0,0333 | 0,0358 | 0,0316 | 0,0349 |
| 750            | 0,1064           | 0,0379 | 0,0490 | 0,0373 | 0,0329 | 0,0324 | 0,0349 | 0,0306 | 0,0332 |
| 755            | 0,1040           | 0,0365 | 0,0489 | 0,0367 | 0,0326 | 0,0321 | 0,0344 | 0,0303 | 0,0324 |
| 760            | 0,1023           | 0,0353 | 0,0483 | 0,0369 | 0,0319 | 0,0306 | 0,0343 | 0,0300 | 0,0329 |
| 765            | 0,1017           | 0,0352 | 0,0474 | 0,0356 | 0,0306 | 0,0300 | 0,0333 | 0,0292 | 0,0322 |
| 770            | 0,1006           | 0,0348 | 0,0477 | 0,0349 | 0,0303 | 0,0293 | 0,0330 | 0,0284 | 0,0315 |
| 775            | 0,0983           | 0,0340 | 0,0474 | 0,0344 | 0,0300 | 0,0289 | 0,0322 | 0,0282 | 0,0313 |
| 780            | 0,0968           | 0,0333 | 0,0461 | 0,0335 | 0,0298 | 0,0291 | 0,0324 | 0,0268 | 0,0304 |
| 785            | 0,0969           | 0,0322 | 0,0434 | 0,0330 | 0,0288 | 0,0275 | 0,0308 | 0,0258 | 0,0293 |
| 790            | 0,0948           | 0,0328 | 0,0426 | 0,0322 | 0,0290 | 0,0272 | 0,0307 | 0,0267 | 0,0292 |

Tabela D1 - Continuação.

| Absorbância (uA) |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\lambda$ (nm)   | c0     | c1     | c2     | c3     | c4     | c5     | c6     | c7     | c8     |
| 795              | 0,0927 | 0,0325 | 0,0413 | 0,0326 | 0,0284 | 0,0279 | 0,0309 | 0,0254 | 0,0288 |
| 800              | 0,0912 | 0,0319 | 0,0393 | 0,0337 | 0,0288 | 0,0285 | 0,0310 | 0,0253 | 0,0287 |

Tabela D2 - Valores da absorbância no espectro UV-Vis em função do comprimento de onda antes e após a reação no reator fotocatalítico a cada hora na vazão 0,72 L.min<sup>-1</sup>.

| Absorbância (uA) |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\lambda$ (nm)   | c0     | c1     | c2     | c3     | c4     | c5     | c6     | c7     | c8     |
| 200              | 3,2342 | 3,2179 | 3,2177 | 3,1924 | 3,1892 | 3,1791 | 3,1671 | 3,1557 | 3,1356 |
| 205              | 3,3522 | 3,2854 | 3,3234 | 3,3033 | 3,2853 | 3,2368 | 3,2119 | 3,2084 | 3,1881 |
| 210              | 3,3772 | 3,2878 | 3,2375 | 3,2695 | 3,2265 | 3,1816 | 3,1968 | 3,1320 | 3,0956 |
| 215              | 3,4311 | 3,2943 | 3,2537 | 3,2699 | 3,1997 | 3,0974 | 3,2365 | 3,0306 | 2,9488 |
| 220              | 3,5202 | 3,3531 | 3,2131 | 3,2934 | 3,0973 | 2,9421 | 3,3244 | 2,8355 | 2,7222 |
| 225              | 3,6544 | 3,3862 | 3,0116 | 3,1390 | 2,8317 | 2,6488 | 3,4146 | 2,5307 | 2,4058 |
| 230              | 3,5674 | 3,1937 | 2,7684 | 2,9015 | 2,6017 | 2,4261 | 3,3026 | 2,3153 | 2,2026 |
| 235              | 3,2022 | 2,7230 | 2,4013 | 2,5039 | 2,2603 | 2,1094 | 2,7804 | 2,0170 | 1,9212 |
| 240              | 2,9095 | 2,3987 | 2,1364 | 2,2195 | 2,0094 | 1,8744 | 2,2951 | 1,7948 | 1,7082 |
| 245              | 2,6814 | 2,1928 | 1,9729 | 2,0444 | 1,8539 | 1,7290 | 1,9871 | 1,6535 | 1,5750 |
| 250              | 2,4757 | 2,0163 | 1,8332 | 1,8987 | 1,7257 | 1,6099 | 1,7562 | 1,5417 | 1,4685 |
| 255              | 2,2448 | 1,7918 | 1,6536 | 1,6965 | 1,5605 | 1,4604 | 1,5314 | 1,4039 | 1,3425 |
| 260              | 2,1059 | 1,6437 | 1,5299 | 1,5670 | 1,4499 | 1,3569 | 1,4043 | 1,3090 | 1,2564 |
| 265              | 1,9729 | 1,5179 | 1,4151 | 1,4463 | 1,3424 | 1,2574 | 1,2625 | 1,2142 | 1,1680 |
| 270              | 1,8632 | 1,4130 | 1,3196 | 1,3496 | 1,2515 | 1,1711 | 1,0645 | 1,1337 | 1,0908 |
| 275              | 1,7822 | 1,3229 | 1,2393 | 1,2682 | 1,1751 | 1,0983 | 0,9168 | 1,0639 | 1,0256 |
| 280              | 1,7067 | 1,2316 | 1,1582 | 1,1833 | 1,0987 | 1,0272 | 0,8151 | 0,9969 | 0,9615 |
| 285              | 1,6406 | 1,1474 | 1,0858 | 1,1076 | 1,0309 | 0,9646 | 0,7455 | 0,9373 | 0,9045 |
| 290              | 1,5655 | 1,0739 | 1,0194 | 1,0387 | 0,9681 | 0,9066 | 0,6952 | 0,8790 | 0,8510 |
| 295              | 1,4863 | 1,0220 | 0,9691 | 0,9871 | 0,9195 | 0,8594 | 0,6570 | 0,8336 | 0,8051 |
| 300              | 1,4112 | 0,9818 | 0,9297 | 0,9489 | 0,8813 | 0,8215 | 0,6307 | 0,7957 | 0,7682 |
| 305              | 1,3291 | 0,9400 | 0,8890 | 0,9078 | 0,8413 | 0,7828 | 0,6047 | 0,7561 | 0,7290 |
| 310              | 1,2565 | 0,9083 | 0,8548 | 0,8746 | 0,8068 | 0,7484 | 0,5791 | 0,7216 | 0,6935 |
| 315              | 1,1897 | 0,8800 | 0,8219 | 0,8441 | 0,7728 | 0,7144 | 0,5531 | 0,6872 | 0,6600 |
| 320              | 1,1196 | 0,8495 | 0,7847 | 0,8085 | 0,7354 | 0,6772 | 0,5223 | 0,6492 | 0,6220 |
| 325              | 1,0562 | 0,8192 | 0,7501 | 0,7755 | 0,7003 | 0,6424 | 0,4968 | 0,6144 | 0,5875 |
| 330              | 0,9945 | 0,7836 | 0,7122 | 0,7380 | 0,6628 | 0,6056 | 0,4732 | 0,5781 | 0,5520 |
| 335              | 0,9326 | 0,7454 | 0,6735 | 0,6995 | 0,6257 | 0,5700 | 0,4526 | 0,5434 | 0,5177 |
| 340              | 0,8725 | 0,7050 | 0,6351 | 0,6599 | 0,5888 | 0,5353 | 0,4359 | 0,5096 | 0,4853 |
| 345              | 0,8163 | 0,6643 | 0,5983 | 0,6217 | 0,5539 | 0,5029 | 0,4226 | 0,4784 | 0,4552 |
| 350              | 0,7613 | 0,6203 | 0,5611 | 0,5817 | 0,5193 | 0,4706 | 0,4101 | 0,4473 | 0,4257 |
| 355              | 0,7088 | 0,5780 | 0,5246 | 0,5434 | 0,4860 | 0,4398 | 0,4010 | 0,4180 | 0,3968 |
| 360              | 0,6580 | 0,5362 | 0,4902 | 0,5071 | 0,4543 | 0,4108 | 0,3934 | 0,3907 | 0,3709 |

Tabela D2 - Continuação.

| $\lambda$ (nm) | Absorbância (uA) |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                | c0               | c1     | c2     | c3     | c4     | c5     | c6     | c7     | c8     |
| 365            | 0,6169           | 0,5005 | 0,4602 | 0,4748 | 0,4268 | 0,3858 | 0,3855 | 0,3667 | 0,3481 |
| 370            | 0,5753           | 0,4638 | 0,4298 | 0,4423 | 0,3998 | 0,3610 | 0,3748 | 0,3434 | 0,3261 |
| 375            | 0,5413           | 0,4327 | 0,4050 | 0,4156 | 0,3768 | 0,3404 | 0,3612 | 0,3241 | 0,3079 |
| 380            | 0,5134           | 0,4082 | 0,3849 | 0,3940 | 0,3578 | 0,3236 | 0,3443 | 0,3083 | 0,2926 |
| 385            | 0,4859           | 0,3858 | 0,3666 | 0,3744 | 0,3413 | 0,3085 | 0,3223 | 0,2939 | 0,2791 |
| 390            | 0,4608           | 0,3660 | 0,3497 | 0,3566 | 0,3257 | 0,2940 | 0,2971 | 0,2805 | 0,2664 |
| 395            | 0,4404           | 0,3491 | 0,3360 | 0,3422 | 0,3129 | 0,2823 | 0,2729 | 0,2693 | 0,2560 |
| 400            | 0,4199           | 0,3331 | 0,3227 | 0,3282 | 0,3005 | 0,2711 | 0,2490 | 0,2589 | 0,2461 |
| 405            | 0,4011           | 0,3188 | 0,3106 | 0,3155 | 0,2895 | 0,2609 | 0,2283 | 0,2492 | 0,2367 |
| 410            | 0,3842           | 0,3061 | 0,2996 | 0,3038 | 0,2791 | 0,2516 | 0,2099 | 0,2403 | 0,2285 |
| 415            | 0,3671           | 0,2942 | 0,2885 | 0,2920 | 0,2688 | 0,2425 | 0,1942 | 0,2317 | 0,2203 |
| 420            | 0,3530           | 0,2840 | 0,2790 | 0,2822 | 0,2595 | 0,2340 | 0,1828 | 0,2238 | 0,2127 |
| 425            | 0,3407           | 0,2751 | 0,2706 | 0,2737 | 0,2518 | 0,2268 | 0,1759 | 0,2169 | 0,2061 |
| 430            | 0,3281           | 0,2661 | 0,2618 | 0,2643 | 0,2432 | 0,2194 | 0,1713 | 0,2096 | 0,1993 |
| 435            | 0,3174           | 0,2582 | 0,2537 | 0,2561 | 0,2355 | 0,2123 | 0,1671 | 0,2030 | 0,1932 |
| 440            | 0,3077           | 0,2509 | 0,2464 | 0,2487 | 0,2288 | 0,2062 | 0,1624 | 0,1972 | 0,1875 |
| 445            | 0,2988           | 0,2442 | 0,2396 | 0,2418 | 0,2223 | 0,2003 | 0,1569 | 0,1914 | 0,1822 |
| 450            | 0,2904           | 0,2371 | 0,2326 | 0,2346 | 0,2157 | 0,1944 | 0,1510 | 0,1856 | 0,1767 |
| 455            | 0,2824           | 0,2301 | 0,2255 | 0,2275 | 0,2089 | 0,1883 | 0,1456 | 0,1799 | 0,1711 |
| 460            | 0,2757           | 0,2245 | 0,2199 | 0,2217 | 0,2035 | 0,1837 | 0,1416 | 0,1751 | 0,1670 |
| 465            | 0,2684           | 0,2177 | 0,2131 | 0,2147 | 0,1972 | 0,1778 | 0,1372 | 0,1698 | 0,1618 |
| 470            | 0,2627           | 0,2121 | 0,2071 | 0,2087 | 0,1917 | 0,1733 | 0,1330 | 0,1650 | 0,1574 |
| 475            | 0,2566           | 0,2057 | 0,2009 | 0,2024 | 0,1858 | 0,1678 | 0,1295 | 0,1599 | 0,1526 |
| 480            | 0,2504           | 0,1997 | 0,1946 | 0,1961 | 0,1799 | 0,1626 | 0,1272 | 0,1550 | 0,1479 |
| 485            | 0,2464           | 0,1956 | 0,1908 | 0,1922 | 0,1764 | 0,1590 | 0,1236 | 0,1517 | 0,1449 |
| 490            | 0,2414           | 0,1909 | 0,1859 | 0,1875 | 0,1721 | 0,1552 | 0,1207 | 0,1481 | 0,1413 |
| 495            | 0,2363           | 0,1860 | 0,1809 | 0,1824 | 0,1672 | 0,1509 | 0,1174 | 0,1441 | 0,1376 |
| 500            | 0,2321           | 0,1810 | 0,1758 | 0,1777 | 0,1628 | 0,1466 | 0,1152 | 0,1401 | 0,1338 |
| 505            | 0,2276           | 0,1762 | 0,1711 | 0,1727 | 0,1583 | 0,1427 | 0,1129 | 0,1362 | 0,1303 |
| 510            | 0,2238           | 0,1718 | 0,1666 | 0,1683 | 0,1543 | 0,1390 | 0,1104 | 0,1328 | 0,1271 |
| 515            | 0,2203           | 0,1671 | 0,1623 | 0,1639 | 0,1500 | 0,1353 | 0,1075 | 0,1293 | 0,1237 |
| 520            | 0,2175           | 0,1632 | 0,1585 | 0,1598 | 0,1467 | 0,1321 | 0,1053 | 0,1263 | 0,1211 |
| 525            | 0,2142           | 0,1590 | 0,1541 | 0,1556 | 0,1426 | 0,1286 | 0,1023 | 0,1231 | 0,1179 |
| 530            | 0,2122           | 0,1555 | 0,1512 | 0,1525 | 0,1399 | 0,1259 | 0,1009 | 0,1207 | 0,1155 |
| 535            | 0,2092           | 0,1514 | 0,1471 | 0,1485 | 0,1364 | 0,1227 | 0,1002 | 0,1176 | 0,1127 |
| 540            | 0,2067           | 0,1468 | 0,1433 | 0,1442 | 0,1325 | 0,1192 | 0,1006 | 0,1144 | 0,1096 |
| 545            | 0,2048           | 0,1434 | 0,1398 | 0,1407 | 0,1294 | 0,1166 | 0,1009 | 0,1121 | 0,1074 |
| 550            | 0,2023           | 0,1390 | 0,1356 | 0,1364 | 0,1256 | 0,1132 | 0,1002 | 0,1087 | 0,1040 |
| 555            | 0,1999           | 0,1351 | 0,1322 | 0,1327 | 0,1223 | 0,1101 | 0,0986 | 0,1059 | 0,1016 |
| 560            | 0,1974           | 0,1319 | 0,1294 | 0,1301 | 0,1197 | 0,1079 | 0,0976 | 0,1041 | 0,0993 |
| 565            | 0,1947           | 0,1274 | 0,1254 | 0,1256 | 0,1157 | 0,1043 | 0,0951 | 0,1004 | 0,0963 |

Tabela D2 - Continuação.

| $\lambda$ (nm) | Absorbância (uA) |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                | c0               | c1     | c2     | c3     | c4     | c5     | c6     | c7     | c8     |
| 570            | 0,1925           | 0,1238 | 0,1221 | 0,1223 | 0,1133 | 0,1020 | 0,0945 | 0,0984 | 0,0943 |
| 575            | 0,1909           | 0,1203 | 0,1195 | 0,1194 | 0,1108 | 0,0997 | 0,0933 | 0,0964 | 0,0925 |
| 580            | 0,1904           | 0,1177 | 0,1166 | 0,1167 | 0,1082 | 0,0979 | 0,0922 | 0,0945 | 0,0905 |
| 585            | 0,1889           | 0,1135 | 0,1134 | 0,1126 | 0,1048 | 0,0947 | 0,0912 | 0,0919 | 0,0882 |
| 590            | 0,1880           | 0,1101 | 0,1107 | 0,1101 | 0,1028 | 0,0925 | 0,0911 | 0,0900 | 0,0863 |
| 595            | 0,1880           | 0,1073 | 0,1085 | 0,1075 | 0,1003 | 0,0910 | 0,0922 | 0,0884 | 0,0847 |
| 600            | 0,1875           | 0,1036 | 0,1055 | 0,1039 | 0,0977 | 0,0885 | 0,0921 | 0,0856 | 0,0823 |
| 605            | 0,1871           | 0,1007 | 0,1032 | 0,1016 | 0,0954 | 0,0862 | 0,0924 | 0,0835 | 0,0807 |
| 610            | 0,1875           | 0,0982 | 0,1011 | 0,0991 | 0,0937 | 0,0845 | 0,0936 | 0,0823 | 0,0795 |
| 615            | 0,1868           | 0,0954 | 0,0992 | 0,0973 | 0,0921 | 0,0836 | 0,0931 | 0,0810 | 0,0783 |
| 620            | 0,1871           | 0,0924 | 0,0966 | 0,0939 | 0,0893 | 0,0811 | 0,0918 | 0,0788 | 0,0767 |
| 625            | 0,1867           | 0,0900 | 0,0941 | 0,0917 | 0,0873 | 0,0796 | 0,0913 | 0,0767 | 0,0748 |
| 630            | 0,1886           | 0,0872 | 0,0919 | 0,0890 | 0,0851 | 0,0770 | 0,0919 | 0,0751 | 0,0729 |
| 635            | 0,1898           | 0,0854 | 0,0906 | 0,0875 | 0,0839 | 0,0763 | 0,0933 | 0,0742 | 0,0727 |
| 640            | 0,1908           | 0,0832 | 0,0879 | 0,0848 | 0,0819 | 0,0745 | 0,0940 | 0,0725 | 0,0708 |
| 645            | 0,1917           | 0,0814 | 0,0867 | 0,0841 | 0,0807 | 0,0743 | 0,0954 | 0,0719 | 0,0702 |
| 650            | 0,1923           | 0,0792 | 0,0843 | 0,0818 | 0,0785 | 0,0715 | 0,0951 | 0,0694 | 0,0685 |
| 655            | 0,1931           | 0,0771 | 0,0824 | 0,0798 | 0,0773 | 0,0706 | 0,0944 | 0,0686 | 0,0669 |
| 660            | 0,1934           | 0,0764 | 0,0812 | 0,0782 | 0,0757 | 0,0691 | 0,0943 | 0,0673 | 0,0660 |
| 665            | 0,1931           | 0,0734 | 0,0782 | 0,0758 | 0,0731 | 0,0668 | 0,0949 | 0,0648 | 0,0639 |
| 670            | 0,1906           | 0,0716 | 0,0758 | 0,0734 | 0,0714 | 0,0652 | 0,0941 | 0,0634 | 0,0620 |
| 675            | 0,1869           | 0,0710 | 0,0750 | 0,0727 | 0,0708 | 0,0649 | 0,0927 | 0,0628 | 0,0617 |
| 680            | 0,1809           | 0,0692 | 0,0727 | 0,0713 | 0,0691 | 0,0629 | 0,0892 | 0,0613 | 0,0601 |
| 685            | 0,1751           | 0,0677 | 0,0723 | 0,0698 | 0,0684 | 0,0621 | 0,0855 | 0,0606 | 0,0594 |
| 690            | 0,1664           | 0,0660 | 0,0704 | 0,0684 | 0,0666 | 0,0607 | 0,0825 | 0,0586 | 0,0577 |
| 695            | 0,1574           | 0,0651 | 0,0696 | 0,0673 | 0,0662 | 0,0603 | 0,0779 | 0,0585 | 0,0579 |
| 700            | 0,1487           | 0,0637 | 0,0678 | 0,0659 | 0,0643 | 0,0588 | 0,0714 | 0,0571 | 0,0561 |
| 705            | 0,1410           | 0,0620 | 0,0669 | 0,0645 | 0,0633 | 0,0582 | 0,0668 | 0,0567 | 0,0554 |
| 710            | 0,1339           | 0,0615 | 0,0654 | 0,0633 | 0,0620 | 0,0574 | 0,0616 | 0,0555 | 0,0548 |
| 715            | 0,1276           | 0,0603 | 0,0638 | 0,0618 | 0,0615 | 0,0564 | 0,0593 | 0,0544 | 0,0536 |
| 720            | 0,1240           | 0,0580 | 0,0625 | 0,0600 | 0,0591 | 0,0553 | 0,0576 | 0,0531 | 0,0529 |
| 725            | 0,1193           | 0,0594 | 0,0631 | 0,0599 | 0,0590 | 0,0555 | 0,0558 | 0,0539 | 0,0529 |
| 730            | 0,1162           | 0,0577 | 0,0608 | 0,0582 | 0,0580 | 0,0537 | 0,0546 | 0,0531 | 0,0520 |
| 735            | 0,1138           | 0,0566 | 0,0610 | 0,0590 | 0,0575 | 0,0531 | 0,0525 | 0,0517 | 0,0514 |
| 740            | 0,1104           | 0,0549 | 0,0595 | 0,0565 | 0,0562 | 0,0519 | 0,0548 | 0,0507 | 0,0502 |
| 745            | 0,1086           | 0,0551 | 0,0582 | 0,0556 | 0,0556 | 0,0522 | 0,0544 | 0,0507 | 0,0501 |
| 750            | 0,1064           | 0,0538 | 0,0564 | 0,0543 | 0,0539 | 0,0503 | 0,0534 | 0,0489 | 0,0489 |
| 755            | 0,1040           | 0,0531 | 0,0567 | 0,0542 | 0,0536 | 0,0501 | 0,0520 | 0,0483 | 0,0482 |
| 760            | 0,1023           | 0,0519 | 0,0549 | 0,0528 | 0,0520 | 0,0479 | 0,0504 | 0,0472 | 0,0459 |
| 765            | 0,1017           | 0,0520 | 0,0542 | 0,0519 | 0,0514 | 0,0479 | 0,0490 | 0,0467 | 0,0464 |
| 770            | 0,1006           | 0,0510 | 0,0534 | 0,0514 | 0,0511 | 0,0483 | 0,0482 | 0,0465 | 0,0459 |

Tabela D2 - Continuação.

| Absorbância (uA) |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\lambda$ (nm)   | c0     | c1     | c2     | c3     | c4     | c5     | c6     | c7     | c8     |
| 775              | 0,0983 | 0,0496 | 0,0528 | 0,0497 | 0,0498 | 0,0469 | 0,0484 | 0,0457 | 0,0449 |
| 780              | 0,0968 | 0,0485 | 0,0528 | 0,0492 | 0,0484 | 0,0458 | 0,0491 | 0,0449 | 0,0433 |
| 785              | 0,0969 | 0,0478 | 0,0507 | 0,0491 | 0,0487 | 0,0454 | 0,0494 | 0,0452 | 0,0441 |
| 790              | 0,0948 | 0,0481 | 0,0502 | 0,0481 | 0,0482 | 0,0448 | 0,0487 | 0,0442 | 0,0423 |
| 795              | 0,0927 | 0,0462 | 0,0486 | 0,0459 | 0,0462 | 0,0437 | 0,0440 | 0,0431 | 0,0413 |
| 800              | 0,0912 | 0,0463 | 0,0488 | 0,0464 | 0,0457 | 0,0440 | 0,0419 | 0,0429 | 0,0415 |

Tabela D3 - Valores da absorbância no espectro UV-Vis em função do comprimento de onda antes e após a reação no reator fotocatalítico a cada hora na vazão 0,84 L.min<sup>-1</sup>.

| Absorbância (uA) |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\lambda$ (nm)   | c0     | c1     | c2     | c3     | c4     | c5     | c6     | c7     | c8     |
| 200              | 3,2342 | 3,1981 | 3,1960 | 3,1671 | 3,1717 | 3,1382 | 3,0526 | 3,0153 | 2,9768 |
| 205              | 3,3522 | 3,2718 | 3,2622 | 3,2119 | 3,3126 | 3,2510 | 3,1555 | 3,0838 | 3,0481 |
| 210              | 3,3772 | 3,2414 | 3,2611 | 3,1968 | 3,3339 | 3,2783 | 3,0593 | 2,9541 | 2,9078 |
| 215              | 3,4311 | 3,2654 | 3,2792 | 3,2365 | 3,3766 | 3,2238 | 2,8198 | 2,6735 | 2,6093 |
| 220              | 3,5202 | 3,3697 | 3,3642 | 3,3244 | 3,3574 | 3,0383 | 2,4066 | 2,2110 | 2,1372 |
| 225              | 3,6544 | 3,4927 | 3,5013 | 3,4146 | 3,1816 | 2,6767 | 1,9748 | 1,7856 | 1,7042 |
| 230              | 3,5674 | 3,3373 | 3,4437 | 3,3026 | 2,9707 | 2,4421 | 1,7574 | 1,5724 | 1,4981 |
| 235              | 3,2022 | 2,8540 | 2,9540 | 2,7804 | 2,6165 | 2,1331 | 1,5168 | 1,3447 | 1,2740 |
| 240              | 2,9095 | 2,4733 | 2,5077 | 2,2951 | 2,3192 | 1,8744 | 1,3337 | 1,1687 | 1,0990 |
| 245              | 2,6814 | 2,2372 | 2,2250 | 1,9871 | 2,1209 | 1,7081 | 1,2147 | 1,0579 | 0,9937 |
| 250              | 2,4757 | 2,0489 | 2,0292 | 1,7562 | 1,9608 | 1,5806 | 1,1216 | 0,9719 | 0,9132 |
| 255              | 2,2448 | 1,8190 | 1,8234 | 1,5314 | 1,7933 | 1,4470 | 1,0224 | 0,8833 | 0,8249 |
| 260              | 2,1059 | 1,6774 | 1,6982 | 1,4043 | 1,6893 | 1,3650 | 0,9531 | 0,8192 | 0,7660 |
| 265              | 1,9729 | 1,5500 | 1,5673 | 1,2625 | 1,5977 | 1,2938 | 0,8896 | 0,7626 | 0,7103 |
| 270              | 1,8632 | 1,4250 | 1,3992 | 1,0645 | 1,5249 | 1,2365 | 0,8358 | 0,7141 | 0,6640 |
| 275              | 1,7822 | 1,3197 | 1,2619 | 0,9168 | 1,4695 | 1,1931 | 0,7962 | 0,6768 | 0,6281 |
| 280              | 1,7067 | 1,2218 | 1,1534 | 0,8151 | 1,4125 | 1,1502 | 0,7588 | 0,6426 | 0,5934 |
| 285              | 1,6406 | 1,1329 | 1,0624 | 0,7455 | 1,3593 | 1,1097 | 0,7260 | 0,6115 | 0,5640 |
| 290              | 1,5655 | 1,0583 | 0,9881 | 0,6952 | 1,2983 | 1,0625 | 0,6885 | 0,5782 | 0,5311 |
| 295              | 1,4863 | 1,0073 | 0,9390 | 0,6570 | 1,2313 | 1,0098 | 0,6500 | 0,5432 | 0,4991 |
| 300              | 1,4112 | 0,9676 | 0,9022 | 0,6307 | 1,1690 | 0,9592 | 0,6124 | 0,5122 | 0,4712 |
| 305              | 1,3291 | 0,9260 | 0,8654 | 0,6047 | 1,0976 | 0,9019 | 0,5749 | 0,4796 | 0,4410 |
| 310              | 1,2565 | 0,8945 | 0,8395 | 0,5791 | 1,0350 | 0,8493 | 0,5415 | 0,4523 | 0,4158 |
| 315              | 1,1897 | 0,8693 | 0,8207 | 0,5531 | 0,9760 | 0,8002 | 0,5124 | 0,4284 | 0,3936 |
| 320              | 1,1196 | 0,8424 | 0,8009 | 0,5223 | 0,9150 | 0,7488 | 0,4823 | 0,4042 | 0,3708 |
| 325              | 1,0562 | 0,8151 | 0,7823 | 0,4968 | 0,8598 | 0,7025 | 0,4558 | 0,3830 | 0,3515 |
| 330              | 0,9945 | 0,7829 | 0,7579 | 0,4732 | 0,8064 | 0,6575 | 0,4308 | 0,3632 | 0,3330 |
| 335              | 0,9326 | 0,7474 | 0,7307 | 0,4526 | 0,7530 | 0,6126 | 0,4053 | 0,3422 | 0,3143 |
| 340              | 0,8725 | 0,7088 | 0,7007 | 0,4359 | 0,7020 | 0,5703 | 0,3811 | 0,3230 | 0,2963 |

Tabela D3 - Continuação.

| $\lambda$ (nm) | Absorbância (uA) |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                | c0               | c1     | c2     | c3     | c4     | c5     | c6     | c7     | c8     |
| 345            | 0,8163           | 0,6692 | 0,6683 | 0,4226 | 0,6549 | 0,5314 | 0,3589 | 0,3051 | 0,2801 |
| 350            | 0,7613           | 0,6276 | 0,6337 | 0,4101 | 0,6085 | 0,4942 | 0,3373 | 0,2878 | 0,2644 |
| 355            | 0,7088           | 0,5865 | 0,5991 | 0,4010 | 0,5649 | 0,4580 | 0,3170 | 0,2709 | 0,2491 |
| 360            | 0,6580           | 0,5467 | 0,5656 | 0,3934 | 0,5237 | 0,4245 | 0,2965 | 0,2541 | 0,2341 |
| 365            | 0,6169           | 0,5106 | 0,5339 | 0,3855 | 0,4892 | 0,3974 | 0,2799 | 0,2407 | 0,2225 |
| 370            | 0,5753           | 0,4736 | 0,4986 | 0,3748 | 0,4561 | 0,3704 | 0,2644 | 0,2279 | 0,2105 |
| 375            | 0,5413           | 0,4413 | 0,4654 | 0,3612 | 0,4284 | 0,3481 | 0,2515 | 0,2178 | 0,2009 |
| 380            | 0,5134           | 0,4144 | 0,4347 | 0,3443 | 0,4052 | 0,3297 | 0,2409 | 0,2090 | 0,1931 |
| 385            | 0,4859           | 0,3891 | 0,4026 | 0,3223 | 0,3830 | 0,3122 | 0,2305 | 0,2003 | 0,1853 |
| 390            | 0,4608           | 0,3653 | 0,3711 | 0,2971 | 0,3629 | 0,2959 | 0,2207 | 0,1923 | 0,1775 |
| 395            | 0,4404           | 0,3447 | 0,3424 | 0,2729 | 0,3463 | 0,2832 | 0,2129 | 0,1859 | 0,1723 |
| 400            | 0,4199           | 0,3255 | 0,3151 | 0,2490 | 0,3298 | 0,2703 | 0,2053 | 0,1797 | 0,1665 |
| 405            | 0,4011           | 0,3081 | 0,2907 | 0,2283 | 0,3152 | 0,2587 | 0,1982 | 0,1735 | 0,1609 |
| 410            | 0,3842           | 0,2932 | 0,2702 | 0,2099 | 0,3017 | 0,2483 | 0,1917 | 0,1683 | 0,1559 |
| 415            | 0,3671           | 0,2796 | 0,2524 | 0,1942 | 0,2887 | 0,2381 | 0,1853 | 0,1629 | 0,1510 |
| 420            | 0,3530           | 0,2686 | 0,2393 | 0,1828 | 0,2778 | 0,2292 | 0,1800 | 0,1585 | 0,1467 |
| 425            | 0,3407           | 0,2595 | 0,2289 | 0,1759 | 0,2683 | 0,2219 | 0,1751 | 0,1544 | 0,1430 |
| 430            | 0,3281           | 0,2505 | 0,2195 | 0,1713 | 0,2588 | 0,2143 | 0,1704 | 0,1504 | 0,1390 |
| 435            | 0,3174           | 0,2427 | 0,2117 | 0,1671 | 0,2504 | 0,2079 | 0,1663 | 0,1468 | 0,1359 |
| 440            | 0,3077           | 0,2358 | 0,2051 | 0,1624 | 0,2430 | 0,2022 | 0,1625 | 0,1437 | 0,1332 |
| 445            | 0,2988           | 0,2293 | 0,1990 | 0,1569 | 0,2363 | 0,1969 | 0,1589 | 0,1408 | 0,1302 |
| 450            | 0,2904           | 0,2226 | 0,1929 | 0,1510 | 0,2300 | 0,1921 | 0,1557 | 0,1380 | 0,1276 |
| 455            | 0,2824           | 0,2160 | 0,1866 | 0,1456 | 0,2239 | 0,1871 | 0,1525 | 0,1351 | 0,1248 |
| 460            | 0,2757           | 0,2106 | 0,1817 | 0,1416 | 0,2190 | 0,1831 | 0,1499 | 0,1329 | 0,1227 |
| 465            | 0,2684           | 0,2043 | 0,1761 | 0,1372 | 0,2137 | 0,1788 | 0,1469 | 0,1302 | 0,1200 |
| 470            | 0,2627           | 0,1989 | 0,1716 | 0,1330 | 0,2097 | 0,1756 | 0,1446 | 0,1284 | 0,1182 |
| 475            | 0,2566           | 0,1930 | 0,1666 | 0,1295 | 0,2051 | 0,1718 | 0,1419 | 0,1263 | 0,1159 |
| 480            | 0,2504           | 0,1875 | 0,1618 | 0,1272 | 0,2008 | 0,1679 | 0,1393 | 0,1239 | 0,1135 |
| 485            | 0,2464           | 0,1837 | 0,1582 | 0,1236 | 0,1977 | 0,1656 | 0,1376 | 0,1222 | 0,1124 |
| 490            | 0,2414           | 0,1795 | 0,1546 | 0,1207 | 0,1942 | 0,1629 | 0,1356 | 0,1206 | 0,1107 |
| 495            | 0,2363           | 0,1749 | 0,1508 | 0,1174 | 0,1907 | 0,1600 | 0,1333 | 0,1185 | 0,1089 |
| 500            | 0,2321           | 0,1702 | 0,1468 | 0,1152 | 0,1877 | 0,1577 | 0,1315 | 0,1168 | 0,1076 |
| 505            | 0,2276           | 0,1658 | 0,1429 | 0,1129 | 0,1843 | 0,1550 | 0,1293 | 0,1151 | 0,1057 |
| 510            | 0,2238           | 0,1618 | 0,1394 | 0,1104 | 0,1817 | 0,1529 | 0,1277 | 0,1137 | 0,1047 |
| 515            | 0,2203           | 0,1576 | 0,1357 | 0,1075 | 0,1790 | 0,1509 | 0,1263 | 0,1122 | 0,1032 |
| 520            | 0,2175           | 0,1539 | 0,1326 | 0,1053 | 0,1770 | 0,1491 | 0,1250 | 0,1111 | 0,1022 |
| 525            | 0,2142           | 0,1499 | 0,1294 | 0,1023 | 0,1746 | 0,1469 | 0,1234 | 0,1099 | 0,1009 |
| 530            | 0,2122           | 0,1467 | 0,1263 | 0,1009 | 0,1733 | 0,1461 | 0,1226 | 0,1090 | 0,1002 |
| 535            | 0,2092           | 0,1428 | 0,1231 | 0,1002 | 0,1712 | 0,1442 | 0,1211 | 0,1075 | 0,0987 |
| 540            | 0,2067           | 0,1389 | 0,1193 | 0,1006 | 0,1692 | 0,1425 | 0,1198 | 0,1064 | 0,0977 |
| 545            | 0,2048           | 0,1356 | 0,1166 | 0,1009 | 0,1677 | 0,1415 | 0,1190 | 0,1058 | 0,0969 |

Tabela D3 - Continuação.

| $\lambda$ (nm) | Absorbância (uA) |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                | c0               | c1     | c2     | c3     | c4     | c5     | c6     | c7     | c8     |
| 550            | 0,2023           | 0,1316 | 0,1134 | 0,1002 | 0,1653 | 0,1393 | 0,1170 | 0,1038 | 0,0952 |
| 555            | 0,1999           | 0,1277 | 0,1103 | 0,0986 | 0,1637 | 0,1379 | 0,1156 | 0,1025 | 0,0940 |
| 560            | 0,1974           | 0,1248 | 0,1077 | 0,0976 | 0,1621 | 0,1366 | 0,1146 | 0,1017 | 0,0933 |
| 565            | 0,1947           | 0,1206 | 0,1037 | 0,0951 | 0,1601 | 0,1348 | 0,1128 | 0,1004 | 0,0919 |
| 570            | 0,1925           | 0,1172 | 0,1011 | 0,0945 | 0,1586 | 0,1335 | 0,1118 | 0,0993 | 0,0910 |
| 575            | 0,1909           | 0,1138 | 0,0986 | 0,0933 | 0,1573 | 0,1323 | 0,1105 | 0,0984 | 0,0900 |
| 580            | 0,1904           | 0,1109 | 0,0958 | 0,0922 | 0,1563 | 0,1317 | 0,1107 | 0,0981 | 0,0896 |
| 585            | 0,1889           | 0,1068 | 0,0928 | 0,0912 | 0,1555 | 0,1308 | 0,1101 | 0,0974 | 0,0890 |
| 590            | 0,1880           | 0,1040 | 0,0904 | 0,0911 | 0,1550 | 0,1304 | 0,1093 | 0,0970 | 0,0888 |
| 595            | 0,1880           | 0,1013 | 0,0884 | 0,0922 | 0,1543 | 0,1296 | 0,1090 | 0,0965 | 0,0882 |
| 600            | 0,1875           | 0,0977 | 0,0850 | 0,0921 | 0,1542 | 0,1291 | 0,1085 | 0,0963 | 0,0881 |
| 605            | 0,1871           | 0,0946 | 0,0826 | 0,0924 | 0,1537 | 0,1289 | 0,1079 | 0,0959 | 0,0878 |
| 610            | 0,1875           | 0,0928 | 0,0807 | 0,0936 | 0,1540 | 0,1292 | 0,1082 | 0,0963 | 0,0879 |
| 615            | 0,1868           | 0,0900 | 0,0781 | 0,0931 | 0,1533 | 0,1283 | 0,1073 | 0,0956 | 0,0873 |
| 620            | 0,1871           | 0,0868 | 0,0755 | 0,0918 | 0,1538 | 0,1291 | 0,1084 | 0,0966 | 0,0886 |
| 625            | 0,1867           | 0,0844 | 0,0741 | 0,0913 | 0,1531 | 0,1276 | 0,1074 | 0,0954 | 0,0873 |
| 630            | 0,1886           | 0,0818 | 0,0717 | 0,0919 | 0,1551 | 0,1296 | 0,1089 | 0,0971 | 0,0888 |
| 635            | 0,1898           | 0,0801 | 0,0701 | 0,0933 | 0,1556 | 0,1299 | 0,1094 | 0,0973 | 0,0889 |
| 640            | 0,1908           | 0,0777 | 0,0685 | 0,0940 | 0,1561 | 0,1298 | 0,1095 | 0,0972 | 0,0882 |
| 645            | 0,1917           | 0,0765 | 0,0672 | 0,0954 | 0,1567 | 0,1304 | 0,1096 | 0,0972 | 0,0887 |
| 650            | 0,1923           | 0,0742 | 0,0653 | 0,0951 | 0,1572 | 0,1303 | 0,1099 | 0,0978 | 0,0888 |
| 655            | 0,1931           | 0,0727 | 0,0638 | 0,0944 | 0,1574 | 0,1310 | 0,1099 | 0,0980 | 0,0892 |
| 660            | 0,1934           | 0,0714 | 0,0631 | 0,0943 | 0,1574 | 0,1308 | 0,1104 | 0,0984 | 0,0888 |
| 665            | 0,1931           | 0,0688 | 0,0612 | 0,0949 | 0,1569 | 0,1300 | 0,1092 | 0,0967 | 0,0882 |
| 670            | 0,1906           | 0,0674 | 0,0597 | 0,0941 | 0,1548 | 0,1281 | 0,1080 | 0,0954 | 0,0867 |
| 675            | 0,1869           | 0,0668 | 0,0590 | 0,0927 | 0,1520 | 0,1261 | 0,1060 | 0,0941 | 0,0852 |
| 680            | 0,1809           | 0,0651 | 0,0575 | 0,0892 | 0,1481 | 0,1228 | 0,1033 | 0,0916 | 0,0833 |
| 685            | 0,1751           | 0,0635 | 0,0564 | 0,0855 | 0,1434 | 0,1197 | 0,1007 | 0,0892 | 0,0816 |
| 690            | 0,1664           | 0,0620 | 0,0545 | 0,0825 | 0,1369 | 0,1141 | 0,0960 | 0,0853 | 0,0780 |
| 695            | 0,1574           | 0,0607 | 0,0539 | 0,0779 | 0,1320 | 0,1100 | 0,0928 | 0,0826 | 0,0754 |
| 700            | 0,1487           | 0,0597 | 0,0528 | 0,0714 | 0,1251 | 0,1046 | 0,0875 | 0,0777 | 0,0712 |
| 705            | 0,1410           | 0,0572 | 0,0517 | 0,0668 | 0,1197 | 0,0998 | 0,0844 | 0,0751 | 0,0690 |
| 710            | 0,1339           | 0,0573 | 0,0501 | 0,0616 | 0,1138 | 0,0954 | 0,0810 | 0,0720 | 0,0657 |
| 715            | 0,1276           | 0,0561 | 0,0490 | 0,0593 | 0,1093 | 0,0924 | 0,0776 | 0,0690 | 0,0629 |
| 720            | 0,1240           | 0,0545 | 0,0476 | 0,0576 | 0,1066 | 0,0895 | 0,0759 | 0,0677 | 0,0615 |
| 725            | 0,1193           | 0,0556 | 0,0486 | 0,0558 | 0,1032 | 0,0869 | 0,0738 | 0,0654 | 0,0596 |
| 730            | 0,1162           | 0,0538 | 0,0469 | 0,0546 | 0,1011 | 0,0853 | 0,0724 | 0,0646 | 0,0584 |
| 735            | 0,1138           | 0,0522 | 0,0465 | 0,0525 | 0,0996 | 0,0829 | 0,0705 | 0,0631 | 0,0576 |
| 740            | 0,1104           | 0,0509 | 0,0456 | 0,0548 | 0,0966 | 0,0810 | 0,0690 | 0,0608 | 0,0555 |
| 745            | 0,1086           | 0,0508 | 0,0449 | 0,0544 | 0,0955 | 0,0796 | 0,0678 | 0,0600 | 0,0547 |
| 750            | 0,1064           | 0,0492 | 0,0435 | 0,0534 | 0,0938 | 0,0791 | 0,0668 | 0,0588 | 0,0540 |

Tabela D3 - Continuação.

| Absorbância (uA) |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\lambda$ (nm)   | c0     | c1     | c2     | c3     | c4     | c5     | c6     | c7     | c8     |
| 755              | 0,1040 | 0,0495 | 0,0426 | 0,0520 | 0,0915 | 0,0781 | 0,0653 | 0,0579 | 0,0528 |
| 760              | 0,1023 | 0,0480 | 0,0429 | 0,0504 | 0,0893 | 0,0759 | 0,0636 | 0,0572 | 0,0511 |
| 765              | 0,1017 | 0,0479 | 0,0425 | 0,0490 | 0,0887 | 0,0762 | 0,0642 | 0,0568 | 0,0519 |
| 770              | 0,1006 | 0,0473 | 0,0424 | 0,0482 | 0,0888 | 0,0747 | 0,0631 | 0,0561 | 0,0503 |
| 775              | 0,0983 | 0,0461 | 0,0420 | 0,0484 | 0,0867 | 0,0740 | 0,0616 | 0,0552 | 0,0499 |
| 780              | 0,0968 | 0,0457 | 0,0396 | 0,0491 | 0,0846 | 0,0731 | 0,0615 | 0,0549 | 0,0489 |
| 785              | 0,0969 | 0,0458 | 0,0397 | 0,0494 | 0,0859 | 0,0729 | 0,0610 | 0,0549 | 0,0489 |
| 790              | 0,0948 | 0,0439 | 0,0395 | 0,0487 | 0,0837 | 0,0715 | 0,0605 | 0,0541 | 0,0486 |
| 795              | 0,0927 | 0,0432 | 0,0386 | 0,0440 | 0,0834 | 0,0704 | 0,0586 | 0,0532 | 0,0462 |
| 800              | 0,0912 | 0,0433 | 0,0389 | 0,0419 | 0,0813 | 0,0681 | 0,0573 | 0,0507 | 0,0454 |

Tabela D4 - Valores da absorbância no espectro UV-Vis em função do comprimento de onda antes e após a reação no reator fotocatalítico com concentrador parabólico composto a cada hora, nas melhores condições estudadas.

| Absorbância (uA) |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\lambda$ (nm)   | c0     | c1     | c2     | c3     | c4     | c5     | c6     | c7     | c8     |
| 200              | 3,4151 | 3,4016 | 3,2342 | 3,2808 | 3,3521 | 3,3430 | 3,2638 | 3,1851 | 3,0864 |
| 205              | 3,5166 | 3,4779 | 3,3522 | 3,3692 | 3,4372 | 3,4139 | 3,3249 | 3,1803 | 2,9924 |
| 210              | 3,5230 | 3,5033 | 3,3772 | 3,3801 | 3,4998 | 3,4037 | 3,2549 | 2,9599 | 2,6559 |
| 215              | 3,5616 | 3,5088 | 3,4311 | 3,3948 | 3,4714 | 3,3121 | 3,0183 | 2,6223 | 2,2513 |
| 220              | 3,6861 | 3,5893 | 3,5202 | 3,4674 | 3,3967 | 3,0960 | 2,6810 | 2,2237 | 1,8322 |
| 225              | 3,8258 | 3,6438 | 3,6544 | 3,6473 | 3,2292 | 2,7696 | 2,3158 | 1,8637 | 1,4926 |
| 230              | 3,7735 | 3,5134 | 3,5674 | 3,6507 | 3,0258 | 2,5604 | 2,1203 | 1,6858 | 1,3319 |
| 235              | 3,4636 | 3,1799 | 3,2022 | 3,2555 | 2,7078 | 2,2803 | 1,8824 | 1,4803 | 1,1544 |
| 240              | 3,2107 | 2,9295 | 2,9095 | 2,8297 | 2,4573 | 2,0601 | 1,6950 | 1,3236 | 1,0224 |
| 245              | 3,0163 | 2,7360 | 2,6814 | 2,5373 | 2,2818 | 1,9122 | 1,5773 | 1,2278 | 0,9434 |
| 250              | 2,8340 | 2,5595 | 2,4757 | 2,3458 | 2,1344 | 1,7957 | 1,4871 | 1,1566 | 0,8835 |
| 255              | 2,6284 | 2,3611 | 2,2448 | 2,1807 | 1,9810 | 1,6703 | 1,3928 | 1,0816 | 0,8183 |
| 260              | 2,5011 | 2,2395 | 2,1059 | 2,0640 | 1,8853 | 1,5974 | 1,3350 | 1,0372 | 0,7795 |
| 265              | 2,3506 | 2,1126 | 1,9729 | 1,8724 | 1,7905 | 1,5226 | 1,2786 | 0,9910 | 0,7374 |
| 270              | 2,2176 | 2,0076 | 1,8632 | 1,5841 | 1,7144 | 1,4620 | 1,2288 | 0,9498 | 0,6979 |
| 275              | 2,1157 | 1,9259 | 1,7822 | 1,4096 | 1,6505 | 1,4118 | 1,1896 | 0,9162 | 0,6652 |
| 280              | 2,0328 | 1,8501 | 1,7067 | 1,3279 | 1,5914 | 1,3646 | 1,1515 | 0,8841 | 0,6351 |
| 285              | 1,9626 | 1,7822 | 1,6406 | 1,2717 | 1,5373 | 1,3214 | 1,1162 | 0,8569 | 0,6104 |
| 290              | 1,8857 | 1,7080 | 1,5655 | 1,2168 | 1,4762 | 1,2713 | 1,0771 | 0,8252 | 0,5850 |
| 295              | 1,8009 | 1,6294 | 1,4863 | 1,1577 | 1,4093 | 1,2155 | 1,0322 | 0,7906 | 0,5591 |
| 300              | 1,7198 | 1,5540 | 1,4112 | 1,1015 | 1,3440 | 1,1606 | 0,9863 | 0,7563 | 0,5341 |
| 305              | 1,6286 | 1,4696 | 1,3291 | 1,0448 | 1,2684 | 1,0976 | 0,9343 | 0,7161 | 0,5048 |
| 310              | 1,5494 | 1,3965 | 1,2565 | 0,9984 | 1,2009 | 1,0378 | 0,8847 | 0,6776 | 0,4777 |
| 315              | 1,4783 | 1,3276 | 1,1897 | 0,9594 | 1,1359 | 0,9805 | 0,8361 | 0,6400 | 0,4513 |
| 320              | 1,4070 | 1,2581 | 1,1196 | 0,9226 | 1,0700 | 0,9227 | 0,7865 | 0,6020 | 0,4244 |
| 325              | 1,3451 | 1,1980 | 1,0562 | 0,8926 | 1,0126 | 0,8724 | 0,7447 | 0,5695 | 0,4017 |

Tabela D4 - Continuação.

| Absorbância (uA) |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\lambda$ (nm)   | c0     | c1     | c2     | c3     | c4     | c5     | c6     | c7     | c8     |
| 330              | 1,2838 | 1,1394 | 0,9945 | 0,8616 | 0,9584 | 0,8264 | 0,7048 | 0,5389 | 0,3804 |
| 335              | 1,2235 | 1,0802 | 0,9326 | 0,8281 | 0,9059 | 0,7816 | 0,6667 | 0,5094 | 0,3592 |
| 340              | 1,1614 | 1,0211 | 0,8725 | 0,7983 | 0,8536 | 0,7374 | 0,6290 | 0,4808 | 0,3393 |
| 345              | 1,1041 | 0,9659 | 0,8163 | 0,7723 | 0,8079 | 0,6989 | 0,5965 | 0,4549 | 0,3217 |
| 350              | 1,0453 | 0,9116 | 0,7613 | 0,7454 | 0,7620 | 0,6603 | 0,5634 | 0,4296 | 0,3043 |
| 355              | 0,9873 | 0,8570 | 0,7088 | 0,7180 | 0,7175 | 0,6224 | 0,5319 | 0,4045 | 0,2874 |
| 360              | 0,9308 | 0,8061 | 0,6580 | 0,6914 | 0,6769 | 0,5884 | 0,5023 | 0,3825 | 0,2720 |
| 365              | 0,8803 | 0,7608 | 0,6169 | 0,6635 | 0,6395 | 0,5581 | 0,4759 | 0,3624 | 0,2584 |
| 370              | 0,8270 | 0,7123 | 0,5753 | 0,6267 | 0,6003 | 0,5243 | 0,4470 | 0,3400 | 0,2427 |
| 375              | 0,7797 | 0,6707 | 0,5413 | 0,5879 | 0,5654 | 0,4948 | 0,4217 | 0,3211 | 0,2303 |
| 380              | 0,7379 | 0,6348 | 0,5134 | 0,5470 | 0,5355 | 0,4689 | 0,3996 | 0,3042 | 0,2188 |
| 385              | 0,6971 | 0,5995 | 0,4859 | 0,5018 | 0,5063 | 0,4439 | 0,3784 | 0,2877 | 0,2079 |
| 390              | 0,6594 | 0,5680 | 0,4608 | 0,4566 | 0,4800 | 0,4214 | 0,3587 | 0,2731 | 0,1978 |
| 395              | 0,6260 | 0,5403 | 0,4404 | 0,4141 | 0,4573 | 0,4016 | 0,3424 | 0,2604 | 0,1892 |
| 400              | 0,5932 | 0,5136 | 0,4199 | 0,3737 | 0,4356 | 0,3828 | 0,3259 | 0,2486 | 0,1808 |
| 405              | 0,5644 | 0,4898 | 0,4011 | 0,3389 | 0,4164 | 0,3664 | 0,3120 | 0,2379 | 0,1739 |
| 410              | 0,5371 | 0,4672 | 0,3842 | 0,3085 | 0,3984 | 0,3507 | 0,2987 | 0,2279 | 0,1669 |
| 415              | 0,5103 | 0,4448 | 0,3671 | 0,2831 | 0,3805 | 0,3354 | 0,2856 | 0,2180 | 0,1597 |
| 420              | 0,4886 | 0,4260 | 0,3530 | 0,2653 | 0,3659 | 0,3228 | 0,2748 | 0,2098 | 0,1543 |
| 425              | 0,4700 | 0,4102 | 0,3407 | 0,2525 | 0,3535 | 0,3122 | 0,2661 | 0,2028 | 0,1495 |
| 430              | 0,4514 | 0,3939 | 0,3281 | 0,2417 | 0,3411 | 0,3015 | 0,2571 | 0,1957 | 0,1446 |
| 435              | 0,4357 | 0,3802 | 0,3174 | 0,2338 | 0,3306 | 0,2927 | 0,2496 | 0,1899 | 0,1406 |
| 440              | 0,4217 | 0,3681 | 0,3077 | 0,2271 | 0,3213 | 0,2845 | 0,2428 | 0,1846 | 0,1368 |
| 445              | 0,4096 | 0,3574 | 0,2988 | 0,2217 | 0,3130 | 0,2774 | 0,2367 | 0,1798 | 0,1336 |
| 450              | 0,3987 | 0,3478 | 0,2904 | 0,2174 | 0,3057 | 0,2713 | 0,2316 | 0,1759 | 0,1308 |
| 455              | 0,3875 | 0,3380 | 0,2824 | 0,2130 | 0,2979 | 0,2649 | 0,2260 | 0,1714 | 0,1274 |
| 460              | 0,3785 | 0,3299 | 0,2757 | 0,2096 | 0,2918 | 0,2595 | 0,2214 | 0,1678 | 0,1249 |
| 465              | 0,3692 | 0,3217 | 0,2684 | 0,2065 | 0,2854 | 0,2544 | 0,2167 | 0,1640 | 0,1223 |
| 470              | 0,3605 | 0,3141 | 0,2627 | 0,2040 | 0,2795 | 0,2493 | 0,2121 | 0,1605 | 0,1197 |
| 475              | 0,3522 | 0,3069 | 0,2566 | 0,2015 | 0,2740 | 0,2445 | 0,2081 | 0,1573 | 0,1174 |
| 480              | 0,3434 | 0,2996 | 0,2504 | 0,1995 | 0,2684 | 0,2398 | 0,2036 | 0,1539 | 0,1147 |
| 485              | 0,3380 | 0,2944 | 0,2464 | 0,1985 | 0,2644 | 0,2365 | 0,2009 | 0,1514 | 0,1136 |
| 490              | 0,3310 | 0,2883 | 0,2414 | 0,1971 | 0,2597 | 0,2326 | 0,1975 | 0,1486 | 0,1116 |
| 495              | 0,3238 | 0,2823 | 0,2363 | 0,1957 | 0,2549 | 0,2284 | 0,1939 | 0,1457 | 0,1093 |
| 500              | 0,3175 | 0,2772 | 0,2321 | 0,1949 | 0,2510 | 0,2253 | 0,1910 | 0,1432 | 0,1078 |
| 505              | 0,3111 | 0,2719 | 0,2276 | 0,1940 | 0,2471 | 0,2218 | 0,1884 | 0,1410 | 0,1060 |
| 510              | 0,3055 | 0,2670 | 0,2238 | 0,1928 | 0,2433 | 0,2189 | 0,1853 | 0,1383 | 0,1042 |
| 515              | 0,3003 | 0,2628 | 0,2203 | 0,1929 | 0,2401 | 0,2159 | 0,1832 | 0,1362 | 0,1028 |
| 520              | 0,2960 | 0,2593 | 0,2175 | 0,1928 | 0,2374 | 0,2139 | 0,1812 | 0,1348 | 0,1017 |
| 525              | 0,2916 | 0,2557 | 0,2142 | 0,1933 | 0,2348 | 0,2119 | 0,1791 | 0,1330 | 0,1002 |
| 530              | 0,2882 | 0,2528 | 0,2122 | 0,1933 | 0,2323 | 0,2100 | 0,1777 | 0,1314 | 0,0990 |
| 535              | 0,2848 | 0,2500 | 0,2092 | 0,1941 | 0,2303 | 0,2081 | 0,1761 | 0,1298 | 0,0978 |
| 540              | 0,2818 | 0,2478 | 0,2067 | 0,1950 | 0,2284 | 0,2066 | 0,1747 | 0,1288 | 0,0967 |

Tabela D4 - Continuação.

| Absorbância (uA) |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\lambda$ (nm)   | c0     | c1     | c2     | c3     | c4     | c5     | c6     | c7     | c8     |
| 545              | 0,2789 | 0,2454 | 0,2048 | 0,1954 | 0,2268 | 0,2052 | 0,1733 | 0,1275 | 0,0956 |
| 550              | 0,2759 | 0,2428 | 0,2023 | 0,1955 | 0,2245 | 0,2027 | 0,1714 | 0,1257 | 0,0943 |
| 555              | 0,2721 | 0,2390 | 0,1999 | 0,1947 | 0,2216 | 0,2003 | 0,1693 | 0,1241 | 0,0928 |
| 560              | 0,2685 | 0,2365 | 0,1974 | 0,1944 | 0,2196 | 0,1984 | 0,1679 | 0,1232 | 0,0918 |
| 565              | 0,2653 | 0,2337 | 0,1947 | 0,1936 | 0,2175 | 0,1956 | 0,1658 | 0,1218 | 0,0907 |
| 570              | 0,2623 | 0,2311 | 0,1925 | 0,1932 | 0,2154 | 0,1943 | 0,1646 | 0,1206 | 0,0895 |
| 575              | 0,2606 | 0,2290 | 0,1909 | 0,1936 | 0,2143 | 0,1926 | 0,1636 | 0,1198 | 0,0887 |
| 580              | 0,2593 | 0,2278 | 0,1904 | 0,1946 | 0,2134 | 0,1917 | 0,1623 | 0,1191 | 0,0883 |
| 585              | 0,2578 | 0,2265 | 0,1889 | 0,1959 | 0,2125 | 0,1911 | 0,1619 | 0,1186 | 0,0875 |
| 590              | 0,2577 | 0,2263 | 0,1880 | 0,1976 | 0,2123 | 0,1903 | 0,1615 | 0,1187 | 0,0870 |
| 595              | 0,2567 | 0,2257 | 0,1880 | 0,1996 | 0,2123 | 0,1903 | 0,1610 | 0,1180 | 0,0866 |
| 600              | 0,2566 | 0,2258 | 0,1875 | 0,2021 | 0,2122 | 0,1909 | 0,1611 | 0,1181 | 0,0868 |
| 605              | 0,2561 | 0,2254 | 0,1871 | 0,2038 | 0,2120 | 0,1903 | 0,1609 | 0,1174 | 0,0859 |
| 610              | 0,2563 | 0,2254 | 0,1875 | 0,2061 | 0,2127 | 0,1909 | 0,1610 | 0,1179 | 0,0863 |
| 615              | 0,2560 | 0,2259 | 0,1868 | 0,2077 | 0,2128 | 0,1906 | 0,1608 | 0,1171 | 0,0857 |
| 620              | 0,2560 | 0,2264 | 0,1871 | 0,2103 | 0,2134 | 0,1915 | 0,1610 | 0,1170 | 0,0853 |
| 625              | 0,2566 | 0,2270 | 0,1867 | 0,2136 | 0,2140 | 0,1924 | 0,1619 | 0,1175 | 0,0853 |
| 630              | 0,2580 | 0,2282 | 0,1886 | 0,2164 | 0,2148 | 0,1927 | 0,1614 | 0,1166 | 0,0845 |
| 635              | 0,2598 | 0,2293 | 0,1898 | 0,2207 | 0,2168 | 0,1946 | 0,1628 | 0,1169 | 0,0846 |
| 640              | 0,2628 | 0,2325 | 0,1908 | 0,2256 | 0,2199 | 0,1972 | 0,1651 | 0,1188 | 0,0858 |
| 645              | 0,2647 | 0,2343 | 0,1917 | 0,2289 | 0,2211 | 0,1981 | 0,1653 | 0,1186 | 0,0853 |
| 650              | 0,2666 | 0,2362 | 0,1923 | 0,2320 | 0,2225 | 0,1990 | 0,1663 | 0,1183 | 0,0855 |
| 655              | 0,2685 | 0,2376 | 0,1931 | 0,2355 | 0,2244 | 0,2010 | 0,1675 | 0,1190 | 0,0861 |
| 660              | 0,2696 | 0,2381 | 0,1934 | 0,2373 | 0,2248 | 0,2010 | 0,1677 | 0,1188 | 0,0855 |
| 665              | 0,2678 | 0,2364 | 0,1931 | 0,2362 | 0,2230 | 0,1987 | 0,1656 | 0,1167 | 0,0836 |
| 670              | 0,2655 | 0,2346 | 0,1906 | 0,2332 | 0,2215 | 0,1972 | 0,1643 | 0,1158 | 0,0827 |
| 675              | 0,2605 | 0,2301 | 0,1869 | 0,2278 | 0,2176 | 0,1938 | 0,1613 | 0,1138 | 0,0819 |
| 680              | 0,2534 | 0,2244 | 0,1809 | 0,2200 | 0,2118 | 0,1887 | 0,1579 | 0,1119 | 0,0805 |
| 685              | 0,2445 | 0,2166 | 0,1751 | 0,2088 | 0,2049 | 0,1825 | 0,1536 | 0,1097 | 0,0786 |
| 690              | 0,2331 | 0,2064 | 0,1664 | 0,1967 | 0,1954 | 0,1744 | 0,1468 | 0,1051 | 0,0757 |
| 695              | 0,2195 | 0,1948 | 0,1574 | 0,1818 | 0,1850 | 0,1650 | 0,1399 | 0,1003 | 0,0726 |
| 700              | 0,2079 | 0,1843 | 0,1487 | 0,1689 | 0,1756 | 0,1575 | 0,1335 | 0,0965 | 0,0695 |
| 705              | 0,1954 | 0,1739 | 0,1410 | 0,1558 | 0,1660 | 0,1488 | 0,1271 | 0,0917 | 0,0669 |
| 710              | 0,1853 | 0,1655 | 0,1339 | 0,1452 | 0,1581 | 0,1425 | 0,1216 | 0,0891 | 0,0650 |
| 715              | 0,1766 | 0,1576 | 0,1276 | 0,1357 | 0,1508 | 0,1362 | 0,1165 | 0,0851 | 0,0624 |
| 720              | 0,1695 | 0,1506 | 0,1240 | 0,1289 | 0,1455 | 0,1311 | 0,1123 | 0,0830 | 0,0602 |
| 725              | 0,1631 | 0,1459 | 0,1193 | 0,1230 | 0,1405 | 0,1276 | 0,1094 | 0,0798 | 0,0585 |
| 730              | 0,1589 | 0,1410 | 0,1162 | 0,1187 | 0,1365 | 0,1242 | 0,1077 | 0,0788 | 0,0578 |
| 735              | 0,1550 | 0,1384 | 0,1138 | 0,1153 | 0,1341 | 0,1221 | 0,1044 | 0,0777 | 0,0574 |
| 740              | 0,1511 | 0,1349 | 0,1104 | 0,1125 | 0,1310 | 0,1191 | 0,1033 | 0,0756 | 0,0560 |
| 745              | 0,1488 | 0,1331 | 0,1086 | 0,1097 | 0,1281 | 0,1171 | 0,1010 | 0,0752 | 0,0551 |
| 750              | 0,1465 | 0,1304 | 0,1064 | 0,1086 | 0,1264 | 0,1151 | 0,0995 | 0,0735 | 0,0547 |
| 755              | 0,1434 | 0,1277 | 0,1040 | 0,1045 | 0,1229 | 0,1126 | 0,0972 | 0,0720 | 0,0530 |

Tabela D4 - Continuação.

| <b>Absorbância (uA)</b> |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>λ (nm)</b>           | <b>c0</b> | <b>c1</b> | <b>c2</b> | <b>c3</b> | <b>c4</b> | <b>c5</b> | <b>c6</b> | <b>c7</b> | <b>c8</b> |
| 760                     | 0,1398    | 0,1248    | 0,1023    | 0,1028    | 0,1207    | 0,1103    | 0,0950    | 0,0707    | 0,0515    |
| 765                     | 0,1382    | 0,1228    | 0,1017    | 0,1017    | 0,1184    | 0,1087    | 0,0941    | 0,0691    | 0,0508    |
| 770                     | 0,1360    | 0,1210    | 0,1006    | 0,0994    | 0,1173    | 0,1068    | 0,0927    | 0,0675    | 0,0489    |
| 775                     | 0,1339    | 0,1190    | 0,0983    | 0,0980    | 0,1154    | 0,1053    | 0,0904    | 0,0673    | 0,0495    |
| 780                     | 0,1331    | 0,1178    | 0,0968    | 0,0972    | 0,1145    | 0,1044    | 0,0909    | 0,0661    | 0,0484    |
| 785                     | 0,1305    | 0,1158    | 0,0969    | 0,0960    | 0,1138    | 0,1022    | 0,0895    | 0,0657    | 0,0476    |
| 790                     | 0,1289    | 0,1150    | 0,0948    | 0,0952    | 0,1112    | 0,1017    | 0,0883    | 0,0645    | 0,0469    |
| 795                     | 0,1282    | 0,1139    | 0,0927    | 0,0947    | 0,1104    | 0,1006    | 0,0873    | 0,0636    | 0,0472    |
| 800                     | 0,1262    | 0,1122    | 0,0912    | 0,0944    | 0,1082    | 0,0998    | 0,0847    | 0,0634    | 0,0466    |