



## ESTUDO DA OXIDAÇÃO FOTOQUÍMICA EM EFLUENTES LÍQUIDOS GERADOS EM SALÕES DE BELEZA

**Jaqueline Cavalheiro Rodrigues** (jcavalheior@gmail.com)  
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS)  
Av. Ipiranga 6681  
90619-900 - Porto Alegre- Rio Grande do Sul.

**Júlia Toffoli de Oliveira**  
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS)

**Marçal José Rodrigues Pires**  
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS)

**Andréa Moura Bernardes**  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)  
Av. Bento Gonçalves 9500  
91509-900 - Porto Alegre- Rio Grande do Sul

**Alan Heberle**  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

**Resumo:** A preocupação com questões ambientais principalmente a remoção incompleta de compostos orgânicos pelo tratamento de efluentes convencionais tem incentivado pesquisas no sentido de propor formas mais eficientes de tratar os efluentes líquidos. Dentre estes, os resíduos de tintas capilares destacam-se devido a presença de substâncias tóxicas e recalcitrantes. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a possibilidade de oxidação fotoquímica em efluentes gerados em salão de beleza. Amostras de dois tipos de tintura (marrom e vermelha) (duas de soluções sintéticas e duas de enxague após coloração, caracterizados como efluentes reais) foram submetidas à oxidação fotoquímica em dois reatores de capacidade diferentes, constituídos de tubo cilíndrico. A fonte de irradiação utilizada foi uma lâmpada de vapor de mercúrio (250 watts), cujos bulbos foram modificados por um tubo de quartzo para possibilitar a passagem da radiação UV. Parâmetros característicos do tratamento de efluentes como pH, condutividade, turbidez, sólidos totais, absorvância em 254 nm e DBO foram realizados com as amostras antes e após reação fotoquímica para avaliação do método empregado. Em função de verificar a mineralização dos compostos orgânicos presentes, a formação de CO<sub>2</sub> gerado foi monitorada. Os resultados preliminares indicaram que as amostras possuem alta complexidade com substâncias recalcitrantes, gerando a ruptura de compostos orgânicos que resultaram em aumento nos valores de DBO. Os valores de absorvância indicaram que a oxidação fotoquímica reduziu em maior proporção a coloração das amostras de solução sintética do que nas amostras de efluente real, indicando uma possível influência da reação da tintura com o couro cabeludo. O processo de fotólise mostrou-se eficaz na mineralização de compostos orgânicos comprovado pela formação de CO<sub>2</sub>.

**Palavras-chave:** tinturas capilares, efluentes e reação fotoquímica.



## OXIDATION PHOTOCHEMICAL STUDY IN EFFLUENTS GENERATED IN HAIRDRESSER SALONS

**Abstract:** Concern about environmental issues mainly incomplete removal of organic compounds for the treatment of conventional sewage has encouraged research to propose more efficient ways to treat wastewater. Among these, residues of hair dyes stand out due to the presence of toxic and recalcitrant substances. Thus, the objective of this study was to evaluate the possibility of photochemical oxidation of effluents generated in beauty salon. Samples of two types of dyed (brown and red) (two synthetic solutions and two rinse after dyeing, characterized as real effluent) were submitted to photooxidation in two different capacity reactors, consisting of a cylindrical tube. The radiation source used was a mercury vapor lamp (250 watts), the bulbs were modified by a quartz tube to allow the passage of UV radiation. characteristic of the effluent treatment parameters such as pH, conductivity, turbidity, total solids, absorbance at 254 nm and BOD were performed with the samples before and after photochemical reaction for evaluation of the method. Due to verify mineralization of organic compounds, the formation of CO<sub>2</sub> generated was monitored. Preliminary results indicated that the samples have a high complexity with recalcitrant substances causing rupture of organic compounds which result in an increase in BOD values. Absorbance values indicated that the photooxidation reduced in greater proportion of synthetic coloring solution samples than in real effluent sample, indicating a possible influence of the dye react with the scalp. The photolysis process was effective in mineralization of organic compounds evidenced by the formation of CO<sub>2</sub>.

**Keywords:** hair dyes, effluents and photochemical reaction.

### 1. INTRODUÇÃO

A indústria brasileira de cosméticos tem crescido mais de 10% ao ano na última década classificando o país como o terceiro maior do mundo, em relação ao consumo, atrás de EUA e Japão. Entre os cosméticos e produtos de cuidados pessoais estão as tinturas capilares que apresentam papel significativo nesta classificação.

As tinturas e tratamentos capilares representam a maior atividade dos salões de beleza e existem atualmente na cidade de Porto Alegre, devidamente cadastrados, 8607 estabelecimentos deste tipo conforme a Secretaria Municipal da Indústria e Comércio (SMIC).

Estima-se que a cada lavagem de cabelo no lavatório dos salões de beleza sejam gastos em média 15 litros de água. Esta água, que constitui o efluente, muitas vezes contém resíduos de tintura que apresentam diferentes composições e grande quantidade de moléculas tóxicas e recalcitrantes que dificultam seu tratamento, e mesmo assim é considerado como efluente líquido doméstico.

Considerando a ineficiência dos processos físico-químicos e biológicos empregados no tratamento de efluentes e a persistência e toxicidade de muitos dos componentes destas tinturas que podem reduzir a qualidade da água de abastecimento e afetar organismos biológicos, torna-se necessário o estudo de novos sistemas de tratamento de efluentes não para substituir os existentes, mas para que estes efluentes mais complexos tenham um pré-tratamento facilitando assim a sua tratabilidade, o objetivo deste trabalho é avaliar a possibilidade de oxidação fotoquímica em efluentes líquidos gerados em salão de beleza.

### 2. TINTURAS CAPILARES

As tinturas capilares são classificadas de acordo com sua origem:

A) Vegetal (henna, camomila e quinquina): mudam a tonalidade, são atóxicas e permanecem um curto período de tempo no cabelo.

B) Mineral ou metálica (sais de nitrato de prata ou chumbo): são potencialmente tóxicas e incompatíveis com peróxido de hidrogênio. Exigem o uso diário, escurecerem ou claream o cabelo gradualmente. Podem durar semanas ou meses.

REALIZAÇÃO

CORREALIZAÇÃO

INFORMAÇÕES



Tinturas sintéticas: são classificadas de acordo com o tipo de corante, a resistência a lavagens e grau de permanência no cabelo em temporária, semipermanente e permanente.

I) Tintura temporária - Neste tipo de tintura utilizam-se corantes básicos, que são compostos solúveis em meio aquoso e capazes de reagir preferencialmente com fibras protéicas não protonadas. Esses produtos não se difundem na estrutura interna do cabelo, não requer amônia e não requer abertura da cutícula. É depositado temporariamente na estrutura externa do cabelo por forças iônicas envolvendo grupos do corante e das proteínas do cabelo. Eles produzem maior brilho e grande oferta de tonalidades por não permanecerem adsorvidos no folículo, sendo facilmente removidos por lavagem.

II) Tintura semipermanente – Neste tipo de tintura de cabelo, os corantes sintéticos interagem na haste capilar com grau moderado de resistência. Os corantes usados neste tipo de tintura são chamados de corantes ácidos e dispõem na sua estrutura química; grupos amino e fenóis, além do grupo cromóforo. A molécula é relativamente mais estável em relação aos corantes temporários e geralmente duram de 4 a 6 lavagens no cabelo. Neste tipo de coloração não ocorre reação de oxidação comumente vista com tinturas permanentes.

III) Tintura permanente - O método envolvendo tintura de cabelo permanente é o mais adotado e utiliza o processo químico oxidativo. Diferentes precursores e aditivos são misturados para desenvolvimento da cor, usando precursores ou acopladores, que reagem entre si gerando a cor.

Inicialmente o cabelo é tratado com um agente alcalino (amônia, monoetanolamina, aminometilpropanol) que facilita a difusão dos reagentes na estrutura interna do cabelo (córtex), onde propicia a formação do corante propriamente dito. Como espécies precursoras têm se usado diferentes compostos com diferentes substituintes (diaminas, fenóis e etc), tais como a para-fenilenodiamina (PPD) e para-toluenodiamina (PTD), resorcinol e etc. A oxidação destas substâncias na presença de outros agentes de acoplamento resulta em produtos que dão cor irreversível ao cabelo, uma vez que a reação ocorre no córtex e não na superfície. Esses processos são complexos e podem envolver múltiplos acopladores ou modificadores específicos, tais como derivados aromáticos substituídos de onde destacamos diversas aminas aromáticas e compostos fenólicos como metafenilenodiaminas, meta-aminofenóis, resorcinol, pirogalol e outros. Deste modo, pode-se observar que as tinturas capilares envolvem múltiplos componentes com diferentes funções, gerando um efluente bastante complexo, sendo a presença de corantes azo, que contém uma ou mais ligações azo ( $-N=N-$ ) considerada a mais preocupante.

As tinturas possuem corantes sintéticos que poluem esteticamente devido à natureza de sua coloração, e também impedem a penetração da luz na água impedindo que organismos aquáticos realizem suas atividades biológicas.

Devido às taxas de fixação relativamente baixas, variando entre 60 e 90% e à baixa eficiência dos processos biológicos normalmente usados para o tratamento destes efluentes, cerca de 20% dos corantes não fixados são descartados no meio ambiente. Torna-se, portanto, necessário investigar novas alternativas adequadas ao tratamento deste tipo de poluentes.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Tinturas

O estudo foi realizado com duas tinturas semipermanentes de marcas conhecidas, nas tonalidades marrom (lote 60MD01) e vermelha (lote 60L903) compradas no comércio local (Abril/2016) e usadas tanto na tintura de cabelos (amostra denominada Enxague) quanto na produção de soluções sintéticas dessas tinturas. A tonalidade marrom foi escolhida por ser cor mais utilizada entre as consumidoras e a vermelha por ser uma tonalidade que apresenta maior durabilidade, conforme observações das profissionais do salão de beleza.

O Quadro 1 mostra a composição descrita nas embalagens das duas tinturas analisadas. Apesar de não descrever a concentração dos componentes, eles estão apresentados em ordem decrescente. Pode-



se observar que as duas tinturas apresentam algumas substâncias iguais, embora algumas vezes em ordem diferente e a tintura marrom apresenta uma quantidade maior de substâncias orgânicas.

**Quadro 1:** Composição das tinturas capilares Marrom e Vermelha, compreendendo os cremes colorantes e cremes reveladores.

<b>Tintura marrom</b>	<b>Tintura vermelha</b>
<p><u>Creme colorante:</u> Água, álcool cetearílico, proplilenoglicol, deceth-3, laureth-12, hidróxido de amônio, oleth-30, cloreto de hexadimetrina, ácido láurico, diestearato de glicol, poliuretano-22, etanolamina, silicato de dimetil sílica, dióxido de titânio (CI77891), cloridrato de 2,4-diaminofenóxi-etanol, p-aminofenol, 4-amino-2-hidroxitolueno, m-aminofenol, ácido ascórbico, metabissulfito de sódio, 6-hidroxi indol, tiolactato de amônio, 2-metil-5-hidroxietilaminofenol, dimeticone, pentetato de pentassódio, prolina, p-fenilenodiamina, carbômero, treonina, resorcinol, perfume (CODE FIL: C168598/1).</p> <p><u>Creme revelador 20 volumes:</u> Água, peróxido de hidrogênio, álcool cetearílico, estanato de sódio, trideceth-2-carboxamida monoetanolamina, pentetato de pentassódio, ácido fosfórico, cetearth-25, pirofosfato de tetrasódio, glicerina (CODE FIL: C13169/25).</p>	<p><u>Creme colorante:</u> Água, álcool cetearílico, deceth-3, proplilenoglicol, laureth-12, hidróxido de amônio, oleth-30, cloreto de hexadimetrina, ácido láurico, diestearato de glicol, poliuretano-22, etanolamina, silicato de dimetil sílica, dióxido de titânio (CI77891), 4-amino-2-hidroxitolueno, p-aminofenol, ácido ascórbico, 2-metil-5-hidroxietilaminofenol, tiolactato de amônio, dimeticone, pentetato de pentassódio, linalool, prolina, p-fenilenodiamina, carbômero, treonina, resorcinol, butilfenil propional, perfume (CODE FIL: C34005/1).</p> <p><u>Creme revelador 30 volumes:</u> Água, peróxido de hidrogênio, álcool cetearílico, estanato de sódio, trideceth-2-carboxamida monoetanolamina, pentetato de pentassódio, ácido fosfórico, cetearth-25, pirofosfato de tetrasódio, glicerina (CODE FIL: C12793/21).</p>

### 3.2. Coleta e preparação das amostras

O estudo foi realizado em quatro amostras: duas amostras de solução sintética de tintura antes da coloração e outras duas amostras obtidas do primeiro enxague dos cabelos após a aplicação da tintura. O volume de amostra utilizado no experimento foi de 5 litros, sendo que as amostras de solução sintética de tintura antes da coloração foram preparadas diluindo-se 10 g da tintura (creme colorante + revelador) em 5 litros de água deionizada resultando em uma concentração de 2 g L<sup>-1</sup> e permaneceram em repouso por 50 minutos para simular o tempo de reação de uma coloração. O tempo total da reação fotoquímica foi de 2 horas, sendo que a cada 15 minutos eram retiradas alíquotas de 10 mL para serem realizadas medidas de absorvância. Foram também coletadas amostras de água potável utilizada no salão de beleza em dois pontos diferentes: no lavatório e na torneira para comparar com as amostras.

### 3.3. Caracterização das amostras

As amostras foram caracterizadas antes e depois de serem submetidas à reação fotoquímica através de medida de: pH (Digimed modelo DM – 20), condutividade (Digimed modelo DM – 31), turbidez (método nefelométrico AP 2000 – IR), análise de determinação bioquímica de oxigênio (DBO, Método Winkler), absorvância no UV a 254 nm (característica da matéria orgânica) e sólidos totais. A determinação da absorvância UV<sub>254nm</sub> tem por base a capacidade da matéria orgânica de absorver luz UV. A determinação da absorvância de luz UV em 254 nm foi realizada por meio de espectrofotômetro utilizando cubeta de quartzo com caminho óptico de 1 cm, sendo as amostras foram previamente filtradas e diluídas. Todas as análises seguiram os procedimentos padrão (APHA, 1996). Amostras de águas da torneira e do lavatório foram coletadas no salão de Beleza e analisadas seguindo os mesmos procedimentos.



### 3.4 Testes de Fotólise

Para a realização do estudo de oxidação fotoquímica foi construído um reator no Laboratório de Química Analítica e Ambiental (LQAmb) da PUCRS, constituído de um tubo cilíndrico, de vidro, com volume útil de 600 mL envolvido por mangueiras de silicone com água de refrigeração mantida a 5°C oriunda de um banho termostático (Quasar TC 1000). A fonte de irradiação foi uma lâmpada de vapor de mercúrio, com 250 watts de potência, cujo bulbo foi modificado por um tubo de quartzo para possibilitar a passagem da radiação UV. A intensidade média da irradiância UV emitida pela lâmpada em 254nm foi de 0,894 mW cm<sup>-2</sup> e a vazão média do reator foi de 0,0978 Lmin<sup>-1</sup>.

Foi realizado um estudo preliminar para avaliar a eficiência do reator construído. Para isso, foram testados dois efluentes do mesmo tipo, no caso o enxague marrom, um no reator construído no LQAmb e outro em um reator construído no laboratório de corrosão (LACOR) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Este reator possui capacidade de armazenamento de 2L com vazão média de 4,5 Lmin<sup>-1</sup> e a lâmpada possui a mesma potência, 250 watts, porém a intensidade média da irradiância é de 0,585 mWcm<sup>-2</sup> (SILVA *et al*, 2015).

#### 3.4.1. Estimativa da mineralização do efluente pelo dióxido de carbono gerado

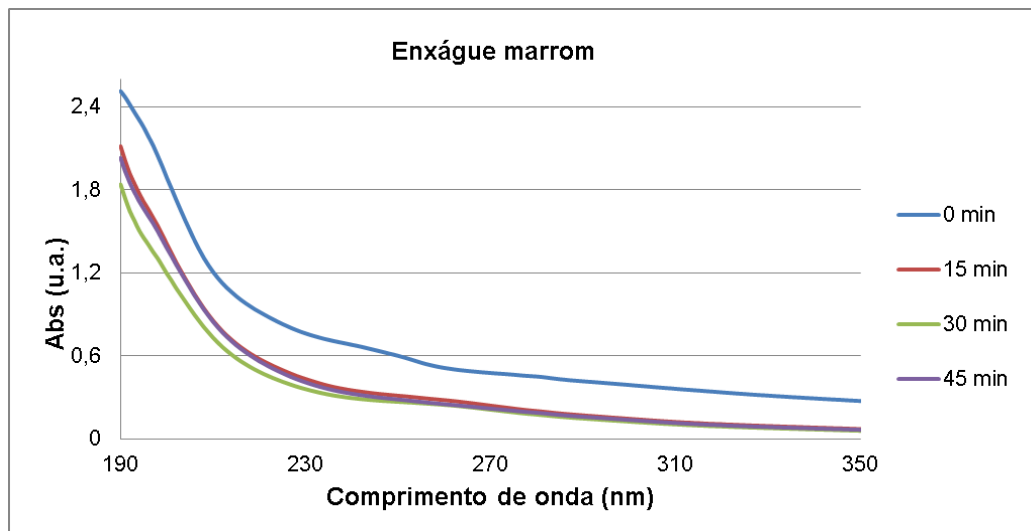
A determinação de carbono orgânico total (COT) é uma medida da quantidade de carbono orgânico que pode ser oxidado a CO<sub>2</sub> e serve para avaliar a taxa de mineralização do efluente, que é um importante indicador da efetividade do processo de degradação. Para quantificar a mineralização da amostra foi realizado o monitoramento da geração de CO<sub>2</sub> durante a reação fotoquímica. Para isso, o sistema onde ocorreu a reação fotoquímica foi fechado tanto no reator como no recipiente alimentador para evitar perdas do gás e a cada 15 minutos foram retiradas alíquotas de 300 µL do *headspace* do recipiente alimentador para serem analisadas no cromatógrafo gasoso segundo metodologia otimizada anteriormente (Abruzzi *et al*, 2015).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

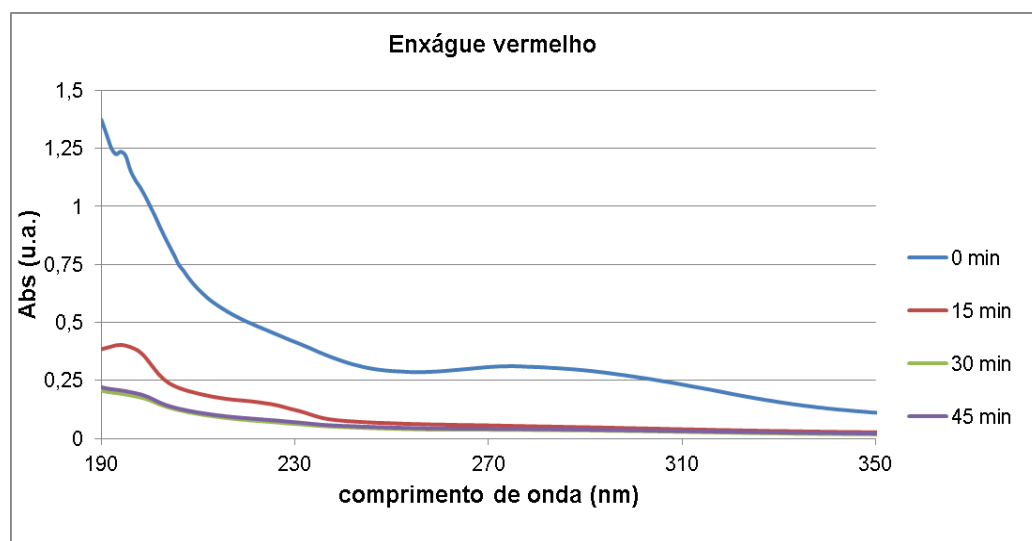
Nas figuras 1 e 2 estão apresentados os espectros UV-VIS das amostras de enxague marrom e vermelho, respectivamente, antes da reação fotoquímica e em intervalos de tempo inicial e após 15, 30 e 45 minutos de reação.

Para o enxague marrom observa-se uma diminuição nos valores de absorvância de forma uniforme ao longo da faixa de comprimento de onda monitorada. Observa-se que nos intervalos de tempo medidos: 15, 30 e 45 minutos, as curvas apresentam o mesmo comportamento, indicando que a eficiência da reação sobre a descoloração já nos 15 minutos iniciais não alterou muito após 45 minutos.

O enxague vermelho apresentou uma redução de absorvância de aproximadamente 5 vezes após 30 minutos de reação, mantendo-se constante após este período.

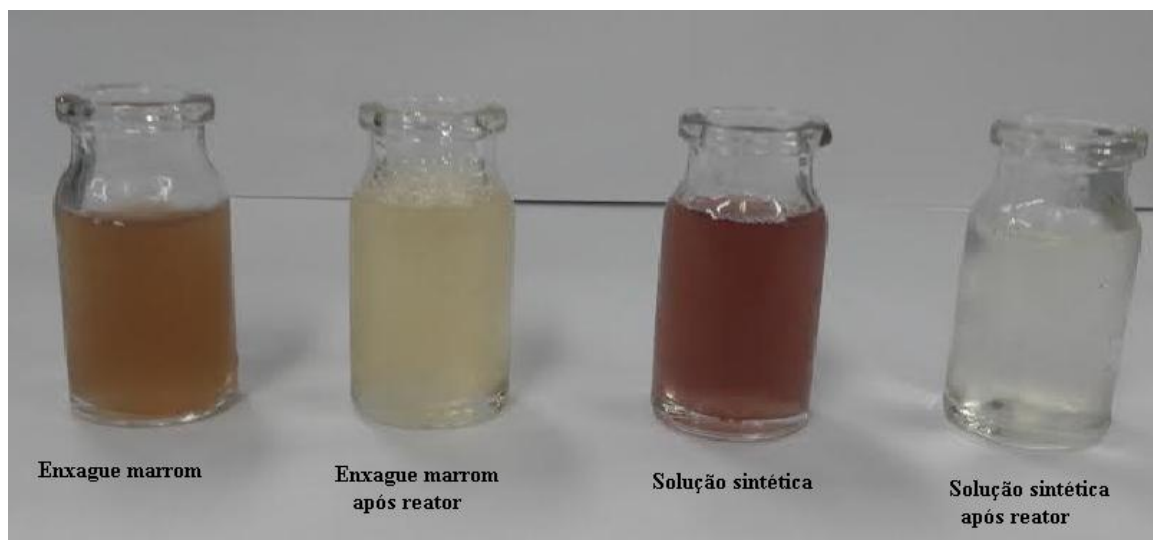


**Figura 1:** Espectro UV-VIS da amostra enxágue marrom durante fotólise.



**Figura 2:** Espectro UV-VIS da amostra enxágue vermelho durante fotólise.

Na figura 3, estão apresentadas as amostras de coloração marrom. Observa-se a diminuição na intensidade da coloração em todas as amostras após a reação fotoquímica, porém o enxágue mesmo tendo sua cor reduzida ainda apresentou elevada turbidez, o que pode ser atribuído à reação com o cabelo.



**Figura 3:** Imagens das amostras de enxágue e solução sintética da coloração marrom antes e após fotólise.

Na figura 4, observa-se a diminuição da coloração vermelha das amostras após a reação fotoquímica. As amostras de coloração vermelha mostram um efeito menor na diminuição da intensidade da coloração após fotólise, porém apresentam menor turbidez.



**Figura 4:** Imagens das amostras de enxágue e solução sintética da coloração vermelha antes e após fotólise.

Analisando as figuras 3 e 4 percebe-se visualmente que as amostras de enxague tanto da coloração marrom como da coloração vermelha apresentam maior turbidez que as soluções sintéticas de tinta preparadas. Isto pode ser explicado devido à reação da tinta com o cabelo, já que o enxague é resultado do produto que não fixou no cabelo e também da oleosidade do couro cabeludo.

Esse comportamento pode ser melhor compreendido por meio da variação de parâmetros físico-químicos monitorados no início e no término (2 h) do processo de fotólise. Na Tabela 1 são mostrados esses resultados da caracterização das soluções sintéticas e dos enxagues das duas tinturas estudadas, antes e após a reação fotoquímica, bem como das amostras de água potável utilizada no Salão de Beleza.



**Tabela 1:** Resultados da caracterização das amostras de enxágue e tintura antes e após o tratamento por fotólise, bem como da água potável utilizada no Salão de Beleza.

Amostra	Tempo (h)	pH	Cond. ( $\mu\text{S/cm}$ )	Turbidez (NTU)	DBO ( $\text{mg/L O}_2$ )	UV <sub>254 nm</sub>	ST (mg/L)
Solução sintética marrom	0	9,20	69	154	219	1,67	180
	2	7,81	80	119	396	1,33	257
Enxágue marrom	0	8,07	512	950	28	14,00	2.474
	2	7,05	408	268	668	5,28	1.618
Solução sintética vermelha	0	8,54	222	272	477	5,73	1.559
	2	7,25	134	450	421	0,72	1.208
Enxágue vermelha	0	9,08	60	216	645	1,54	378
	2	7,00	88	133	508	2,64	374
Água lavatório	-	6,25	52	3	0	0,11	131
Água torneira	-	6,12	50	3	0	0,05	109

Observa-se que todas as amostras tiveram uma diminuição nos valores de pH após o processo de fotólise. Esse resultado é esperado uma vez que, dentre os produtos de degradação, há a geração de ácidos carboxílicos.

A amostra de solução sintética marrom apresentou um aumento de 17% valor de condutividade, 42% no valor de sólidos totais, um aumento de 80% no valor de DBO e diminuição de 20% no valor de UV e 23% no valor de turbidez, o que pode indicar a ruptura de moléculas orgânicas maiores pela ação da luz ultravioleta durante a reação formando moléculas menores.

A amostra de enxágue marrom (efluente) apresentou diminuição nos valores de todos os parâmetros analisados, com exceção da análise de DBO que apresentou um valor bastante elevado confirmando a presença de substâncias recalcitrantes nessa tintura. O processo de fotólise provavelmente gerou subprodutos menos biodegradáveis o que pode explicar o aumento de DBO no efluente tratado.

A amostra de solução sintética da tintura vermelha apresentou uma discreta diminuição em todos os parâmetros analisados, com exceção do valor de absorvância em 254 nm que diminuiu 87% e o valor de turbidez que aumentou 65%.

Os resultados que mostram a eficiência do reator construído no LQAmb com relação ao reator construído no LACOR estão apresentados na tabela 2. A reação fotoquímica foi realizada com a amostra de efluente marrom por este ter apresentado um processo de degradação mais uniforme na faixa de comprimento de onda monitorada no intervalo de tempo de duas horas e também devido a maior quantidade de compostos orgânicos em sua composição.

Apesar de serem amostras da mesma coloração, as tinturas foram aplicadas em duas pessoas diferentes, o que pode justificar o valor elevado de medida de absorvância indicado na tabela 2 no tempo zero medido no reator do LQAmb. Os valores encontrados demonstram que o sistema construído no LQAmb teve maior êxito para este estudo do que o sistema do LACOR, o que era esperado devido a menor vazão, permanecendo o efluente por mais tempo em contato com a radiação ultravioleta.



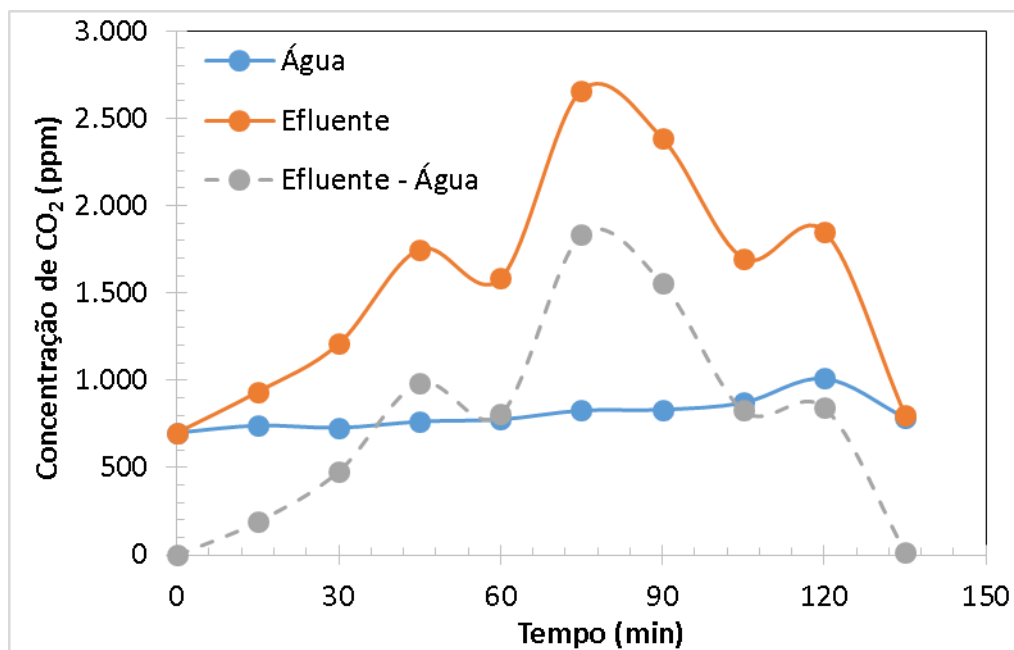


**Tabela 2:** Variação da absorvância (UV 254nm) de duas amostras de enxague marrom, tratadas em dois reatores de fotólise.

tempo de reação (min)	Amostra A	Amostra B
	Reator LACOR UV <sub>254nm</sub>	Reator LQAmb UV <sub>254nm</sub>
0	7,16	17,53
15	6,58	7,46
30	7,71	6,27
45	7,38	5,56
60	7,56	6,95
75	7,29	5,84
90	7,05	5,69
105	6,88	4,69
120	6,63	5,96

A técnica mais utilizada para avaliar a eficiência do processo de degradação de compostos orgânicos é a determinação de carbono orgânico total (COT), porém diante da dificuldade em eliminar a espuma presente nas amostras devido à presença de surfactantes, o que inviabiliza o uso desta técnica, foi realizado o monitoramento de formação de CO<sub>2</sub> durante a fotólise.

A figura 5 mostra os resultados de formação de CO<sub>2</sub> em uma amostra de água deionizada, em uma amostra do efluente marrom e a diferença entre as duas amostras, indicando o valor de CO<sub>2</sub> formado apenas pelo efluente durante a reação fotoquímica. Observa-se que houve formação de CO<sub>2</sub> com a concentração máxima no tempo de 75 minutos. Esse resultado é importante, pois indica que parte dos compostos orgânicos presentes na amostra de enxague marrom foram mineralizados durante a reação fotoquímica.



**Figura 5:** Monitoramento do perfil temporal da concentração de CO<sub>2</sub> no enxague marrom durante reação fotoquímica, coletadas no *headspace* do frasco alimentador e medidas por cromatografia gasosa.



O aumento na formação de CO<sub>2</sub> pode ser explicado pela quebra de moléculas orgânicas produzindo novas substâncias e também pela passagem de CO<sub>2</sub>, que antes estava na solução aquosa e que depois do processo fotoquímico é deslocado para a fase gasosa, em função de variações no meio reacional (pH, temperatura, força iônica). Outras amostras de enxague de diferentes tinturas estão sendo analisadas para quantificar a concentração de CO<sub>2</sub> gerado e estimar o grau de mineralização do efluente.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através das análises realizadas foi possível comprovar que não se podem considerar os resultados obtidos da degradação fotoquímica da solução de tintura preparada no laboratório como sendo os mesmos de um efluente real formado após a aplicação da tintura nos cabelos, pois os mesmos diferem inclusive na aparência do efluente. Também foi possível perceber a diferença de comportamento entre as composições das tinturas, sendo que a tintura vermelha se mostrou mais resistente ao tratamento, ou seja, não alterando significativamente os parâmetros avaliados após a reação fotoquímica e pode ser considerada um efluente mais recalcitrante.

O aumento da DBO observado, principalmente na amostra de enxágue marrom, indica a possibilidade de rompimento de ligações de compostos recalcitrantes tornando suas moléculas menores e com maior biodegradabilidade. Esse comportamento é corroborado pela formação de CO<sub>2</sub> durante o processo fotoquímico e a diminuição da concentração de carbono, estimada pela diminuição da absorvância (254 nm) do efluente tratado.

Portanto, a reação fotoquímica mostrou-se eficiente como um pré-tratamento dos efluentes contendo tinturas capilares, sendo observado que a vazão de recirculação do efluente apresenta influencia importante na velocidade no processo fotooxidativo do enxague marrom.

## Agradecimentos

*Os autores agradecem à FAPERGS e à CAPES pelo apoio recebido.*

## REFERÊNCIAS

ABRUZZI, R. C. *et al.* Analysis of Alternative Materials for Collection and Storage of Greenhouse Gases. In: XIV BRAZIL MRS MEETING, Rio de Janeiro. p. 1641, 2015.

AKYUZ, M.; ATA, S. Determination of aromatic amines in hair dye and henna samples by ion-pair extraction and gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, v. 47, p. 68-80, 2008.

AOUDJ, S.; *et al.* Eletrocoagulation process applied to wastewater containing dyes from textile industry. *Chemical Engineering Processing*. v. 49. p. 1176 – 1182. 2010.

EVGENIDOU, E. N.; KONSTANTINOU, I. K.; LAMBROPOULOU, D. A. Occurrence and removal of transformation products of PPCPs and illicit drugs in wastewaters: A review. *Science of the Total Environment*. V. 505, p. 905 – 926, 2015.

GOLKA, K.; KOPPS, S.; MYSLAK, Z. W. Carcinogenicity of azo colorants: influence of solubility and bioavailability. *Toxicology Letters*, v. 151, p. 203-210, 2004.

OLIVEIRA, A. G. R. *et al.* Química e toxicidade dos corantes de cabelo. *Química Nova*, v. 37, n. 6, p. 1037 – 1046, 2014.



SILVA, S.W. *et al.* Degradation of the commercial surfactant nonylphenol ethoxylate by advanced oxidation processes. *Journal of Hazardous Materials*. 282, p.241-248, 2015.

SMIC. Consulta de alvarás cadastrados. Disponível em <<https://alvaraweb.procempa.com.br/alvara/alvaraListaPorAtividade.seam?cid=79>>. Acesso em: 23 jul. 2016.

ZANGENEH, H.; *et al.* Photocatalytic oxidation of organic dyes and pollutants in wastewater using different modified titanium dioxides: A comparative review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. V. 26, p. 1- 36, 2015.

REALIZAÇÃO

CORREALIZAÇÃO

INFORMAÇÕES