



## II-280 – PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS NA DEGRADAÇÃO DO CIPROFLOXACINO VISANDO O TRATAMENTO DE EFLUENTES HOSPITALARES

**Luciano Dornelles<sup>(1)</sup>**

Químico Industrial pela Universidade Federal de Santa Maria, RS (UFSM). Doutor em Química – Área de concentração: Química Orgânica pela Universidade Federal de Santa Maria, RS (UFSM/RS). Professor do Departamento de Química e Física e do Programa de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental - Mestrado da Universidade de Santa Cruz do Sul, RS (UNISC/RS).

**Ana Lúcia Becker Rohlfes<sup>(1)</sup>**

Doutora em Química

**Enio Leandro Machado<sup>(1)</sup>**

Doutor em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais

**Flávio Wanderlei Gomes da Silva<sup>(1)</sup>**

Mestrando do Programa de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado

**Gian Carlos Beskow<sup>(1)</sup>**

Acadêmico do Curso de Química Industrial – Bolsista de Iniciação Científica

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Universidade de Santa Cruz do Sul, Avenida Independência, 2293 – Santa Cruz do Sul – RS - CEP: 96815-900 - Brasil - Tel: (51) 3717-7390 - e-mail: [luciano@unisc.br](mailto:luciano@unisc.br)

### RESUMO

Este trabalho descreve o estudo da degradação do ciprofloxacino (CIP) sintético, um antibiótico amplamente empregado no tratamento de infecções respiratórias, genitais e gastrointestinais, que foram precedidos da avaliação das condições instrumentais de análise do referido fármaco, empregando-se a Espectrofotometria de Absorção Molecular na região UV. Na degradação do ciprofloxacino, foi empregado o uso do ozônio ( $O_3$ ) e da radiação ultravioleta (UV), com variação de produção de  $O_3$  em 20, 40, 60 e 100%, combinados ou não com UV. Avaliou-se também a influência da variação de pH do meio no processo de degradação. Os resultados demonstram que o processo de degradação mais eficiente é o com emprego de pH na faixa de 9-10, obtendo-se uma degradação de 100% da massa do CIP, em três casos de produção de  $O_3$  (100%, 60% e 40%) combinado com UV, com um tempo de reação 20, 30 e 40 minutos, respectivamente. Com a utilização do processo de degradação usando somente  $O_3$ , os resultados foram semelhantes nas mesmas concentrações de  $O_3$  e faixa de pH, mas com um tempo reacional superior.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ciprofloxacino, Degradação, POA's, Espectrofotometria de Absorção Molecular na Região UV, Efluente Hospitalar.

### INTRODUÇÃO

A busca crescente de tecnologias para fazer face às necessidades humanas produz resíduos em larga escala, que foram e são continuamente dispostos deliberadamente no meio ambiente. O atendimento das necessidades humanas, de um modo geral, culmina com ações envolvendo atividades industriais, agrícolas e da área da saúde, como estabelecimentos hospitalares e a indústria de medicamentos.

Neste sentido, toneladas de medicamentos são produzidas anualmente e aplicadas na medicina humana e veterinária. Uma das classes de medicamentos mais utilizada é a classe dos antibióticos, que são utilizados para o tratamento de diversas infecções. O uso desenfreado de antibióticos acarreta dois problemas ambientais: um, a contaminação dos recursos hídricos e o outro, o desenvolvimento de resistência de alguns microrganismos a esses fármacos. A ocorrência de fármacos residuais nos esgotos domésticos e hospitalares, bem como em águas naturais é um importante tópico internacional. Estes, não são totalmente metabolizados pelo organismo, sendo excretados e atingindo os esgotos. Muito destes fármacos são persistentes e não são removidos pelo tratamento de água convencional por apresentarem moléculas extremamente complexas (DEZOTTI e BILA, 2003). Segundo Mulroy (2001), 50% a 90% de uma dosagem ministrada de fármacos são excretados inalterados ao meio ambiente, onde persistem.



Desta forma, devido às atividades humanas voltadas a área da saúde, a contaminação dos recursos vitais como água, alimentos, solo e ar, vem crescendo desenfreadamente. Não havendo como substituir o uso destes produtos, vê-se a necessidade de combate à poluição dos mesmos, que exige o tratamento de efluentes hospitalares, bem como a redução dos efeitos já existentes.

Para o tratamento destes efluentes, são conhecidos vários métodos, empregados ao final de processos industriais. Dentre estes, os Processos Oxidativos Avançados (POA's) são alternativas tecnológicas extremamente eficientes para a destruição de substâncias orgânicas persistentes e em baixas concentrações. Consistem na produção de radicais livres hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ), espécies altamente oxidantes e com pequena seletividade que podem ser produzidas de diferentes formas (ANDREOZZI et al., 1999). A geração deste radical pode ocorrer de várias formas, como por exemplo, a partir da decomposição do ozônio ( $\text{O}_3$ ) em água, onde o ozônio é instável, tendo como principal produto de decomposição o radical  $\bullet\text{OH}$  (ALMEIDA, 2004), podendo ser empregado combinado ou não com irradiação UV. Os radicais formados ( $\bullet\text{OH}$ ) são capazes de mineralizar poluentes orgânicos a  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ .

Adicionalmente, um levantamento de consumo de medicamentos foi realizado em um hospital da cidade de Santa Cruz do Sul/RS e constatou-se o uso em larga escala de antibióticos e anti-inflamatórios. Desta forma, propôs-se avaliar a eficiência dos POA's na degradação do ciprofloxacino (CIP) sintético, um antibiótico amplamente empregado no tratamento de infecções respiratórias, genitais e gastrointestinais, tendo como objetivo parametrizar dados visando à aplicação em remediação em efluentes hospitalares. Deste modo, este artigo apresenta os resultados obtidos nos ensaios de degradação do fármaco ciprofloxacino, empregando soluções sintéticas do referido fármaco, submetidas a diferentes condições de degradação. Entre as condições avaliadas são citadas: emprego de ozônio, em diferentes níveis de produção de  $\text{O}_3$ , variação de pH do meio de levemente ácido para alcalino e como ou sem aplicação de radiação UV.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios de degradação, aos quais o fármaco CIP foi submetido, foram precedidos da avaliação das condições instrumentais de análise do referido fármaco, empregando-se a Espectrofotometria de Absorção Molecular na região UV. Após a avaliação das condições de análise e construção de curvas analíticas, visando à comparação da intensidade de radiação eletromagnética UV absorvida pelo CIP, antes e após os ensaios de degradação, soluções sintéticas padrão de CIP foram submetidas a diferentes condições, sendo estas descritas a seguir.

## APLICAÇÃO DA ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO MOLECULAR NA REGIÃO UV PARA A DETERMINAÇÃO DE CIPROFLOXACINO

A Espectrometria de Absorção Molecular na região Ultravioleta (UV) foi aplicada para a determinação de CIP nos ensaios de degradação. Este método analítico foi escolhido, pelo mesmo ser caracterizado por seu baixo custo, facilidade e rapidez analítica.

Deste modo, foi empregado um Espectrômetro UV/Vis GBC 918. Inicialmente, determinou-se o comprimento de onda máximo ( $\lambda_{\text{máximo}}$ ) da molécula do fármaco CIP. Para tanto, uma solução padrão aquosa do fármaco na concentração de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  foi submetida a varredura de radiação em comprimentos de onda entre 200 a 800 nm. Em seu espectro de absorção registrado pode-se observar o comprimento de onda em que a molécula absorve mais intensamente. Segundo Snyder, Kirkland e Glajch (1997) o  $\lambda_{\text{máximo}}$  indica a região do espectro eletromagnético onde a substância de interesse apresenta a maior absorção de radiação, isto é, maior absortividade molar, o que torna um método analítico mais sensível, originando limites de detecção mais baixos. A varredura para a obtenção do espectro de absorção do CIP foi obtida empregando-se cubeta de quartzo e água deionizada/destilada para a linha de base do intervalo estudado, eliminando deste modo a interferência de qualquer produto residual que pudesse estar presente na água.

Em seguida, visando a aplicação da Espectrometria UV nos ensaios de degradação, curvas analíticas foram obtidas. Preparou-se soluções padrão, em balões volumétricos de 10 mL, formando duas curvas analíticas. A primeira com concentrações de 1; 5; 10; 15 e  $25 \text{ mg L}^{-1}$  e, a segunda de 0,5; 1; 1,5; 2 e  $2,5 \text{ mg L}^{-1}$ . Os pontos das curvas analíticas foram obtidos pela diluição de uma solução padrão estoque  $100 \text{ mg L}^{-1}$  em água suficiente para o volume do balão volumétrico. As soluções padrão foram levadas para leitura em

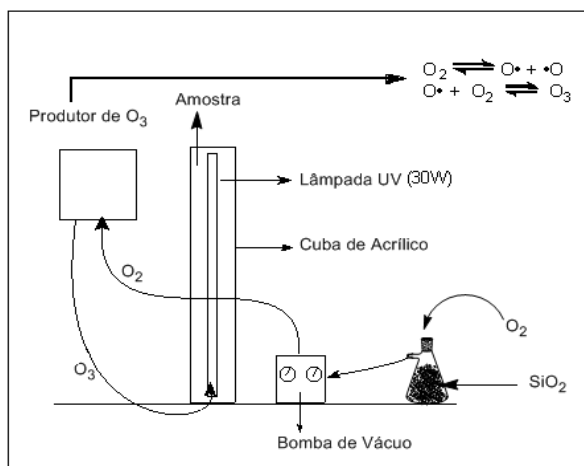


Espectrômetro UV/Vis GBC 918, empregando água para a leitura do branco. As absorvâncias obtidas foram plotadas em gráfico tipo XY, para a obtenção do coeficiente de correlação e equação da reta.

## ENSAIOS DE DEGRADAÇÃO

Para os ensaios de degradação, foram simulados dois diferentes meios de concentração de CIP. Assim, soluções padrão de CIP, na concentração de  $2 \text{ mg L}^{-1}$  foram empregadas, simulando teores residuais de CIP em baixas concentrações em efluentes hospitalares. Por outro lado, a presença de teores residuais em maior escala foi simulada com o emprego de solução padrão  $20 \text{ mg L}^{-1}$ .

A degradação do fármaco foi avaliada empregando-se  $\text{O}_3$ , associado ou não ao emprego de radiação UV, proveniente de uma lâmpada de UV de 30W de potência. Em todos os ensaios, foi empregado um volume de nove litros da solução padrão, buscando a simulação de Sistemas de Tratamento de Efluentes, onde o volume de efluente tratado é mais elevado, dispostos em um reator de fotoozonização (figura 1), sendo o ozônio produzido neste sistema.



**Figura 1: Reator de Degradação de fotoozonização**

A produção de ozônio no reator ocorre a partir do oxigênio do ar, que é aspirado a partir de uma bomba de vácuo. O gás oxigênio ( $\text{O}_2$ ) aspirado, após entrar em contato com a sílica, na entrada do sistema para eliminação da umidade do ar, vai direto ao produtor de  $\text{O}_3$ , onde ele é transformado em  $\text{O}_3$  a partir da cisão homolítica da molécula de  $\text{O}_2$  (Figura 1). Após a transformação, este é enviado para a cuba de acrílico onde a solução padrão está inserida. Uma lâmpada de UV de 30W de potência entra em contato com a solução padrão, quando o processo de degradação é avaliado com emprego de radiação UV.

As soluções padrão de CIP  $2 \text{ mg L}^{-1}$  foram submetidas às seguintes condições de degradação: a) emprego de ozônio ( $\text{O}_3$ ), isoladamente, com variação de  $\text{O}_3$  produzido em 20%, 40%, 60% e 100%. Este ensaio foi realizado com o pH original do fármaco (faixa de 5-6) e com pH do meio alterado para faixa de 9-10; b) emprego de radiação UV (254 nm) nas mesmas condições de pH citadas anteriormente; e, c) combinação do  $\text{O}_3$  com radiação UV. Nesta etapa, combinou-se a radiação UV com diferentes percentuais de  $\text{O}_3$  produzido, entre os quais, 20%, 40%, 60% e 100%. Além da variação do percentual de  $\text{O}_3$ , o pH do meio também foi variado, conforme citado no item (a).

Devido a probabilidade muito remota de encontrar-se o fármaco CIP em concentração mais elevadas em efluentes hospitalares, para os ensaios de degradação com as solução padrão a  $20 \text{ mg L}^{-1}$ , não foram realizadas todas as variações possíveis na produção de  $\text{O}_3$ , utilizando-se assim, apenas a produção de 100%.

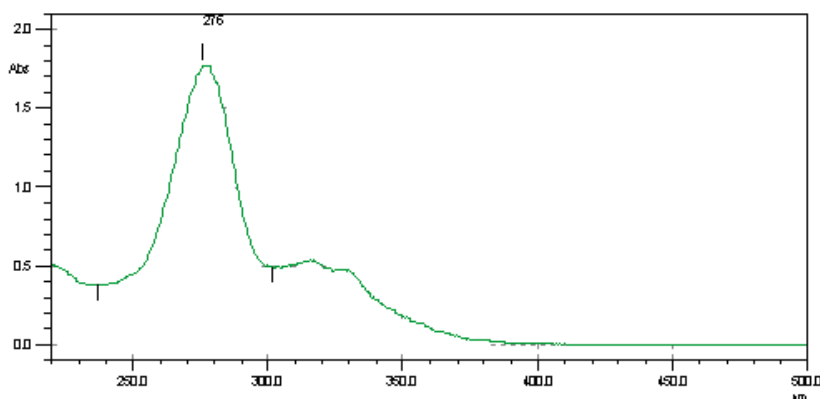
A ocorrência de degradação das moléculas de CIP presentes no meio foi avaliada a partir da sua quantificação, empregando-se as curvas analíticas traçadas conforme descrito anteriormente. As mesmas análises também permitiram o cálculo do percentual de massa degradada, considerando-se a concentração do CIP antes e após a degradação.

O acompanhamento da reação de degradação foi realizado a partir do recolhimento de alíquotas das soluções padrão, de 10 em 10 minutos, num tempo total de 2 horas. Todas as variáveis de degradação estudadas (a, b e c) foram avaliadas em triplicata para cada uma das concentrações (2 e 20 mg L<sup>-1</sup>)

## RESULTADOS

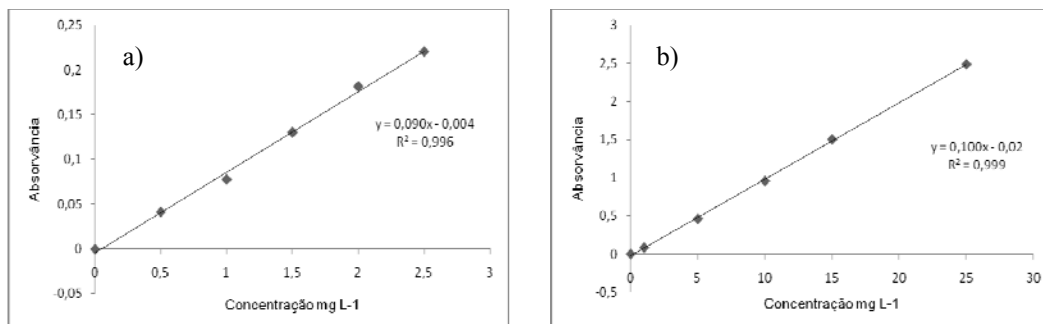
### DETERMINAÇÃO DE CIPROFLOXACINO POR ESPECTROFOTOMETRIA NA REGIÃO UV

A figura 2 apresenta o espectro de absorção da molécula do fármaco CIP, obtido a partir da varredura de uma solução padrão 10 mg L<sup>-1</sup> submetida aos comprimentos de onda entre 200 e 800 nm. A análise deste espectro demonstra um máximo de absorção de radiação em comprimento de onda de 276 nm, empregado, desta forma, em todas as análises.



**Figura 2: Espectro de Absorção Molecular na Região Ultravioleta do CIP.**

Adicionalmente, a figura 3 apresenta as curvas analíticas obtidas para a determinação de CIP em diferentes meios, sendo representadas em (a) a curva analítica para concentrações de 0,5 a 2,5 mg L<sup>-1</sup> e em (b), para concentrações de 1,0 a 25,0 mg L<sup>-1</sup>.



**Figura 3: Curvas analíticas para a determinação de CIP em intervalos de a) 0,5 a 2,5 mg L<sup>-1</sup> e b) 1,0 a 25,0 mg L<sup>-1</sup>.**

### RESULTADOS DOS ENSAIOS COM CIPROFLOXACINO SUBMETIDO A DIFERENTES CONDIÇÕES DE DEGRADAÇÃO

A partir das curvas analíticas obtidas através da análise por Espectrofotometria na região UV, pode-se analisar os resultados obtidos na degradação do CIP e verificar-se a porcentagem de degradação em relação à concentração inicial do mesmo em cada processo.

Foram realizados ensaios de degradação, com emprego de O<sub>3</sub>, alterando o pH das soluções padrão de CIP 2 mg L<sup>-1</sup>, que fica em torno de 4 a 5, para a faixa entre 9-10 com solução de Hidróxido de Sódio (NaOH) a 5%. Nesta faixa de pH o processo de degradação predominante é a reação indireta, ou seja, degradação via radicais



hidroxila devido a decomposição do ozônio ser favorecida na presença de íons  $\text{OH}^-$  (ALMEIDA, 2004). Fez-se, também, testes sem a mudança de pH para avaliar a eficácia de ambos os casos.

O resultados obtidos pelo uso do  $\text{O}_3$  sem e com alteração do pH para a faixa 9-10 sobre uma solução de ciprofloxacino  $2 \text{ mg L}^{-1}$  estão descritos nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. Em ambos os casos foi testada a variação na produção de  $\text{O}_3$ , que foi de 100, 60, 40 e 20 %.

**Tabela 1- Degradação das soluções de CIP  $2 \text{ mg L}^{-1}$  com aplicação de  $\text{O}_3$  sem mudança de pH.**

Produção de $\text{O}_3$	[ ] Inicial ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Tempo de Reação	[ ] ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Tempo de Reação	[ ] ( $\text{mg L}^{-1}$ )	% de massa degradada
100%	1.92	10 min.	0.31	120 min.	0.07	96,35%
60%	2.21	10 min.	0.19	120 min.	0.06	97,3%
40%	1.98	10 min.	0.28	120 min.	0.1	95%
20%	2.33	10 min.	2.03	120 min.	0.91	61%

**Tabela 2- Degradação das soluções de CIP  $2 \text{ mg L}^{-1}$  com a utilização de  $\text{O}_3$  e pH na faixa de 9-10.**

Produção de $\text{O}_3$	[ ] Inicial ( $\text{mg L}^{-1}$ )	[ ] ( $\text{mg L}^{-1}$ ) após NaOH	Reação	[ ] ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Reação	[ ] ( $\text{mg L}^{-1}$ )	% de massa degradada
100%	2.12	1.68	10 min.	0.30	50 min.	0	100%
60%	2.04	1.74	10 min.	0.35	50 min.	0	100%
40%	2.23	1.86	10 min.	0.49	40 min.	0	100%
20%	2.28	1.66	10 min.	1.53	120 min.	0.31	86,4%

Os resultados apresentados nas Tabelas 1 e 2 demonstram que o processo de degradação mais eficiente é o com emprego de pH na faixa de 9-10, obtendo-se uma degradação de 100% da massa do CIP em três casos de produção de  $\text{O}_3$ : 100%, 60% e 40%. Conforme Mahmoud e Freire (2007), a reação indireta (via radicais hidroxila) é de melhor eficiência devido ao fato dos radicais hidroxilas não serem seletivos e de possuírem um alto poder oxidante ( $E^\circ=2,07 \text{ V}$ ).

Almeida e colaboradores (2004) fizeram uma comparação da biodegradação e ozonização indireta em efluente farmacêutico. Os resultados obtidos por eles foram que após a biodegradação a absorvância, nos comprimentos de onda de 254 nm e 280 nm característica de compostos aromáticos, teve uma redução muito pequena, mostrando que estes compostos aromáticos ainda estavam presentes no efluente. Já na ozonização deste efluente em pH 8 (caracterizando a reação indireta), a absorvância diminuiu em 57% para o comprimento de onda de 254 nm e em 71% para o comprimento de onda de 280 nm.

O  $\text{O}_3$  foi utilizado por Giménez e colaboradores (2002) na tentativa de degradação do fenol em concentrações de 0,99 à  $1,11 \text{ mmol L}^{-1}$ . O grupo obteve uma degradação de 100% do composto na condição onde o pH foi alterado para 9,4. Já em meio ácido (5,7-3,0) a porcentagem de degradação caiu drasticamente para 85,4 %. O tempo de tratamento da amostra foi de 80 minutos para os dois casos.

Fez-se, também, o estudo de degradação do ciprofloxacino utilizando  $\text{O}_3$  combinado com radiação UV, com e sem a mudança de pH para a faixa de 9-10, cujos resultados são apresentados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente. Ainda, nesta combinação, variou-se a produção de  $\text{O}_3$  em 100, 60, 40 e 20 %.

**Tabela 3- Degradação das soluções de CIP 2 mg L<sup>-1</sup> utilizando O<sub>3</sub>/UV com mudança de pH para faixa de 9-10.**

Produção de O <sub>3</sub>	Massa Inicial (mg L <sup>-1</sup> )	Massa após adição de NaOH	Tempo de Reação	Massa (mg L <sup>-1</sup> )	Tempo de Reação	Massa (mg L <sup>-1</sup> )	% de massa degradada
100%	2	1.55	10 min.	0.07	20 min.	0	100%
60%	1.92	1.6	10 min.	0.3	30 min.	0	100%
40%	2.1	1.8	10 min.	0.26	40 min.	0	100%
20%	2.23	1.78	10 min.	1.52	120 min.	0.05	97,8%

**Tabela 4- Degradação das soluções de CIP 2 mg L<sup>-1</sup> com aplicação de O<sub>3</sub>/UV sem mudança de pH.**

Produção de O <sub>3</sub>	Massa Inicial (mg L <sup>-1</sup> )	Tempo de Reação	Massa (mg L <sup>-1</sup> )	Tempo de Reação	Massa (mg L <sup>-1</sup> )	% de massa degradada
100%	2.5	10 min.	0.14	20 min.	0	100%
60%	1.72	10 min.	0.13	100 min.	0	100%
40%	2.17	10 min.	0.56	120 min.	0.11	95%
20%	2.11	10 min.	1.23	100 min.	0	100%

Comparando as Tabelas 3 e 4, pode-se observar que a mudança de pH não afetou consideravelmente a degradação, se for levada em consideração a porcentagem degradada em ambos os casos, isso porque a combinação do O<sub>3</sub> com radiação UV por si só proporciona a geração do radicais hidroxila (DEZOTTI, 2008). No entanto, é importante salientar que com o uso do pH na faixa de 9-10 o tempo de degradação foi menor, o que pode ser visualizado com a produção de O<sub>3</sub> em 40%, onde o tempo necessário de reação diminuiu de 120 minutos (sem alteração do pH) para 40 minutos (com alteração no pH).

Giménez e colaboradores (2002) estudaram a degradação de diferentes formas de degradação do Fenol. Dentre estas formas utilizadas, está a aplicação do O<sub>3</sub> juntamente com irradiação UV em um período de 80 minutos. Os resultados obtidos na degradação do fenol na faixa de concentração de 0,99 – 1,11 mmol L<sup>-1</sup> foi de 80,9% de degradação com o pH livre (5.2-3.2), 92,6% de degradação com pH em 6,9 e 91,9% de degradação para um pH de 9,4.

Em outra etapa dos ensaios de degradação, empregou-se ainda apenas a radiação UV em soluções de 2 mg L<sup>-1</sup>, com e sem a mudança de pH para a faixa 9-10, na tentativa de degradar o composto (Tabela 5 e 6). A aplicação de radiação UV nas amostras com a mudança de pH, representou uma degradação em relação a massa inicial de 81%. Sendo assim passou de 2,1 mg L<sup>-1</sup> para 0,4 mg L<sup>-1</sup> em um tempo de reação de 120 minutos.

Por outro lado, a utilização do mesmo processo sem a alteração de pH resultou em uma degradação de 88%, provocando uma redução de CIP de 2,13 mg L<sup>-1</sup> para 0,26 mg L<sup>-1</sup>. Neste caso a mudança de pH não apresentou melhoramento nos resultados.

Segundo estudo de Giménez e colaboradores (2002), a alteração do pH com a radiação UV na tentativa de degradação do fenol, também mostrou-se ineficiente. O grupo analisou o fenol numa faixa de concentração de 0,98 a 1,21 mmol L<sup>-1</sup> e apresentou resultados de degradação de 24,2% para o pH livre (4,4-3,9), 14% para pH de 6,8 e 5% para pH de 11,5. O tempo de tratamento empregado nas amostras foi de um período de 30 minutos.

Matioli e colaboradores (2001) empregaram o processo de fotólise direta na degradação do fármaco Nabumetona que apresentou resultados de degradação de 67% do fármaco após 47 dias, 88,5% após 73 dias e 88,9% após 111 dias de fotólise. As soluções empregadas possuíam concentração inicial de 20 mg mL<sup>-1</sup>.





Realizaram-se também ensaios de degradação com soluções padrão em concentração de 20 mg L<sup>-1</sup> de CIP, aplicando radiação UV, O<sub>3</sub> e radiação UV e O<sub>3</sub> isolado sem mudança de pH (Tabela 5). Aplicou-se as mesmas condições com a mudança de pH para faixa de 9-10 (Tabela 6).

**Tabela 5- Degradação de solução de CIP 20 mg L<sup>-1</sup> a partir de três processos: radiação UV, O<sub>3</sub>/UV, e O<sub>3</sub> sem mudança de pH.**

	Massa Inicial (mg L <sup>-1</sup> )	Tempo de Reação	Massa (mg L <sup>-1</sup> )	Tempo de Reação	Massa (mg L <sup>-1</sup> )	% de massa degradada
Radiação UV	20.56	10 min.	20.13	120 min.	15.35	25,34%
O <sub>3</sub> /UV	21.19	10 min.	7.86	120 min.	0.22	98,96%
O <sub>3</sub>	20.72	10 min.	7.27	120 min.	0.54	97.4%

**Tabela 6- Degradação de solução de CIP 20 mg L<sup>-1</sup> a partir de três processos com a mudança de pH para a faixa 9-10: radiação UV, O<sub>3</sub>/UV e O<sub>3</sub>.**

	Massa Inicial (mg L <sup>-1</sup> )	Massa após adição de NaOH	Tempo de Reação	Massa (mg L <sup>-1</sup> )	Tempo de Reação	Massa (mg L <sup>-1</sup> )	% de massa degradada
Radiação UV	20.61	15.83	10 min.	15.91	120 min.	12.44	39,64%
O <sub>3</sub> /UV	20.12	15.67	10 min.	6.30	120 min.	0.23	98.86%
O <sub>3</sub>	20.88	15.66	10 min.	7.32	120 min.	0.44	97.9%

## CONCLUSÕES

Pode-se constatar que os resultados obtidos nos ensaios de degradação do fármaco ciprofloxacino, realizados com o emprego de Processos Oxidativos Avançados, apresentam uma eficiência muito grande no sentido de degradar o fármaco. Dentre as condições estudadas, as que viabilizaram a degradação praticamente total do CIP foram as que utilizaram a combinação do O<sub>3</sub> com irradiação UV e mudança de pH para a faixa de 9-10, onde atingiram 100 % de degradação do composto em relação a sua massa inicial, com a exceção da produção de 20 % de O<sub>3</sub> que atingiu 97.8 % de degradação. Tempos de reação de 20 min para 100 % de produção de O<sub>3</sub>, 30 min para 60 % e 40 min para produção de 40 % foram observados.

Os resultados obtidos no processo de degradação com O<sub>3</sub>, quando aplicados nas concentrações de 100%, 60% e 40% e com o emprego de pH na faixa de 9-10, foram eficientes, com tempos de reação de 50 min, 50min e 40 min, respectivamente. No entanto, os demais resultados obtidos não podem ser descartados e devem ser estudados de modo mais abrangente, uma vez que percentuais elevados de degradação foram obtidos em todos os ensaios realizados.

Estas análises preliminares servem como base para posterior aplicação em um efluente hospitalar ao qual é necessário um método de extrema reprodutibilidade e confiabilidade. Tendo em vista isto, este método deve ser aprimorado ainda mais para obtenção de melhores resultados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, E. et al. Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. Química Nova, 27, 5, 818-824, 2004.
2. ANDREOZZI, R.; CAPRIO, V.; INSOLA, A.; MAROTTA, R. Advanced oxidation processes (AOP) for water purification and recovery. Catalysis Today, 53, 51-59. 1999.
3. DEZOTTI, M.; BILA, D. M. Fármacos no meio ambiente. Química Nova, vol. 26, nº 4, 523-530, 2003.
4. GIMÉNEZ, J. et al. Comparison of different advanced oxidation processes for phenol degradation. Water Research, 36, 1034-1042, 2002.
5. HIMABINDU, V.; SARITHA, P.; APARNA, C.; ANJANEYULU, Y. Comparison of various advanced oxidation processes for the degradation of 4-chloro-2 nitrophenol. Journal of Hazardous Materials, 149, 609-614, 2007.
6. MAHMOUD, A.; FREIRE, R. S.. Métodos emergentes para aumentar a eficiência do ozônio no tratamento de águas contaminadas. Química Nova, 30, 1, 198-205, 2007.



7. MATIOLI, G. et al. Estudo da degradação do fármaco Nabumetona por fotólise direta. *Acta Scientiarum*, 23, 3, 651-654, 2001.
8. MULROY, A. When the Cure Is the Problem. *Water Environ. Technol.*, 13, 32, 2001.
9. SNYDER, L.; KIRKLAND, J.; GLAJCH, J. *Practical HPLC Method Development*. 2. ed New York: J. Wiley, 1997, 765p.