

II-061 – TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE EMBALAGENS UTILIZANDO PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO COMO PÓS TRATAMENTO E ANÁLISE DE CUSTO.

Antônio Herbert Quintino Rocha⁽¹⁾

Mestre em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará.

Giselle Santiago Cabral Raulino

Doutoranda em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará.

Carla Bastos Vidal

Doutoranda em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará.

Ronaldo Ferreira do Nascimento

Doutor em Química pela USP. Professor adjunto da Universidade Federal do Ceará.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Humberto Monte, S/N – Campus do Pici – Bloco 939 - Fortaleza - CE - CEP: 60455-760 - Brasil - Tel: (85) 3366 9042 - e-mail: herbert.rocha@ibest.com.br

RESUMO

O crescente desenvolvimento industrial traz consigo os benefícios do crescimento econômico, mas também potencial risco ao meio ambiente, tendo em vista os descartes inadequados de efluentes industriais em corpos hídricos receptores, sendo assim os mesmos necessitam de tratamento prévio antes de serem lançados. As indústrias de embalagens destacam-se por seu elevado potencial poluidor, pois utilizam diversas tintas durante o processo, gerando um efluente de cor muito intensa. A ineficiência de tratamentos convencionais de água e esgoto na remoção de corantes tem demandado novas alternativas, dentre as quais os processos oxidativos avançados (POAs). Este trabalho teve como objetivo avaliar a remoção de cor de efluente industrial de fábrica de embalagens utilizando POA (H_2O_2/UV) como pós-tratamento de processo físico-químico. Os parâmetros DQO, turbidez, amônia total, pH e peróxido residual foram avaliados. A dosagem ótima de H_2O_2 e a vazão ótima do efluente foram estimados. Avaliou-se também o uso de um sistema combinado POA (H_2O_2/UV)/coluna de carvão ativado como pós-tratamento e por fim análise de custo foi realizada. O processo oxidativo avançado (H_2O_2/UV) conseguiu remoção de cor visual de 77% e remoção de DQO de 99%, principalmente quando combinado com o processo de adsorção com carvão ativado granulado. Houve redução em 22% no custo de tratamento com o POA em relação ao CAP. Contudo, o custo de implantação do primeiro é muito elevado em especial devido aos custos das lâmpadas, o que parece ser o ponto de maior dificuldade para a disseminação dessa tecnologia.

PALAVRAS-CHAVE: Efluente de fábrica de embalagem, processo oxidativo avançado, peróxido de hidrogênio, ultravioleta, remoção de cor, DQO.

INTRODUÇÃO

Os despejos industriais, em sua maioria, são fontes poluidoras em grau elevado e devem, portanto, ter um tratamento prévio antes de serem lançados em algum corpo receptor.

A indústria de embalagens teve um crescimento de 7,9% em 2008 se comparada com o ano de 2007¹. A simples manufatura da embalagem em geral não gera muita poluição. Entretanto, quase todas elas possuem alguma etapa de impressão, que vem a ser a principal fonte poluidora devido às diversas tintas utilizadas. O impacto gerado é advindo da coloração intensa do efluente que, além de ocasionar a alteração de cor do corpo receptor, impede a penetração da luz no meio aquático, prejudicando os processos de fotossíntese. Além disso, substâncias presentes podem ser recalcitrantes e potencialmente cancerígenas².

Os tratamentos convencionais muitas vezes não conseguem remover os poluentes de forma a atingir os padrões de lançamento, principalmente quando se tem um material recalcitrante e com forte coloração. Portanto fazem-se necessárias novas tecnologias, a citar os processos oxidativos avançados (POA). Estes são capazes de gerar radicais hidroxil (OH^-), os quais são espécies altamente oxidantes, que quando em quantidade suficiente provocam a mineralização da matéria orgânica a dióxido de carbono, água e íons inorgânicos. Esses radicais

podem ser formados por vários processos como a fotólise, peroxidação assistida por luz ultravioleta, ozonização, fenton, foto-fenton, etc.³. O método mais utilizado para se gerar esses radicais é a irradiação com luz UV aliada ao uso de peróxido de hidrogênio (H_2O_2)⁴.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a remoção de cor e DQO de efluente industrial de fábrica de embalagens utilizando POA (H_2O_2/UV) como pós-tratamento de processo físico-químico.. Avaliou-se também o uso de um sistema combinado coluna de carvão ativado/POA (H_2O_2/UV) como pós-tratamento. Foi realizada análise de custo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Efluente da indústria de embalagens

O efluente a ser tratado foi proveniente da lavagem das máquinas flexográficas da indústria de embalagens situada no interior do estado do Ceará. Primeiramente o efluente passa por um tratamento físico-químico consistindo da adição de agente coagulante a base de policloreto de alumínio, seguido da adição de cal e polieletrólito aniônico, tudo sob agitação por ar comprimido insuflado dentro dos reservatórios (Nesta fase também é adicionado carvão ativado em pó. Para este trabalho este item foi removido da etapa de tratamento físico químico). Após decantação o efluente clarificado passa por um filtro de areia e correção de pH, se necessário. O efluente, de cor rósea, resultante desse processo, foi então usado na etapa de tratamento no sistema H_2O_2/UV . A Figura 1 mostra um fluxograma com as etapas de tratamento descritas acima:

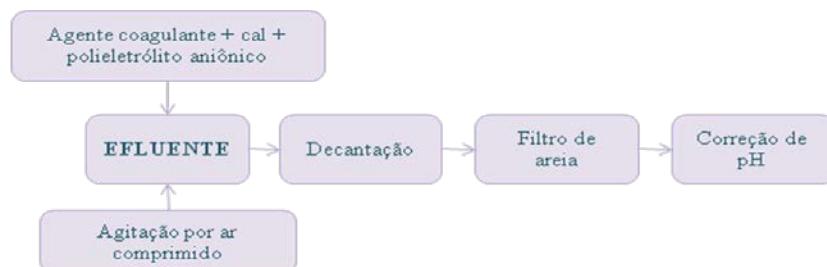
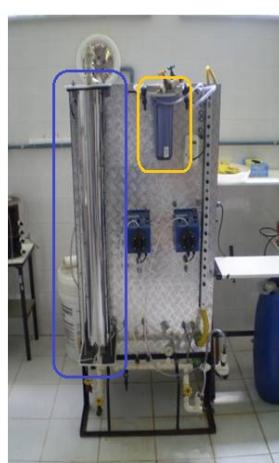


Figura 1 – Fluxograma das etapas de tratamento do efluente da indústria de embalagens.

Reator utilizado no pós-tratamento do efluente

O equipamento utilizado para os testes experimentais foi instalado no laboratório de saneamento (LABOSAN), localizado no departamento de engenharia hidráulica e ambiental (DEHA) da Universidade Federal do Ceará (UFC). As características e imagem do fotoreator podem ser vistas na Figura 2. Em azul pode ser visto o reator onde se encontravam as lâmpadas. Em amarelo está destacado o filtro de carvão que foi utilizado para o estudo POA-adsorção.



CARACTERÍSTICAS DO REATOR	
Geometria	Cilíndrica
Material da câmara de irradiação	Quartzo
Altura total do fotoreator	1.200 mm
Altura da câmara de irradiação	850 mm
Diâmetro externo do tubo de quartzo	31 mm
Diâmetro interno do tubo de quartzo	28 mm
Diâmetro externo da lâmpada germicida	26 mm
Número de lâmpadas	07
Potência de cada lâmpada	30 W
Marca da lâmpada	Philips
Modelo da lâmpada	TUV TL-D
Comprimento de onda	254 nm

Figura 2 – Reator utilizado no trabalho e suas características.

Na Figura 3 pode ser vista uma representação do sistema de tratamento e um esquema da secção transversal do fotoreator.

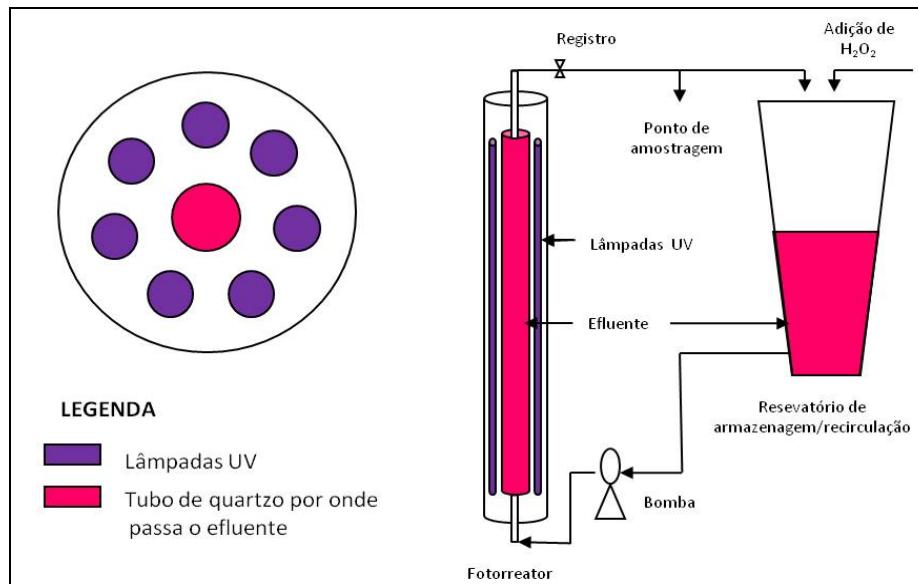


Figura 3 – Representação esquemática da secção transversal do fotoreator e esquema do sistema de tratamento $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$.

Análises

Todas as análises foram realizadas pelo laboratório da TECNOPLUS Especialidades Químicas e Meio Ambiente de acordo com as recomendações do “Standard Methods for Examination of water and wastewater 21^a Edição” (APHA-AWWA, 2005). A análise de residual de peróxido foi realizada no LABOSAN logo após coleta da amostra. Os parâmetros analisados foram pH (Potenciométrico), cor real e aparente (Espectrofotométrico), DQO (Espectrofotométrico), turbidez (Turbidimétrico), Amônia (Nessler) e Peróxido residual (Permanganimetria).

Procedimento Experimental

Foram realizados testes variando a vazão - 1,0 e 4,0 L/min sob recirculação e o percentual (v/v) do reagente aplicado (H_2O_2) - 1,0%, 0,5% e 0,25% sobre o volume total (10 L). As amostras foram coletadas nos intervalos de tempo de 1h, 2h, 3h, 4h e 8h.

Após otimização da vazão e da dosagem de H_2O_2 , foi realizado estudo com sistema combinado POA/adsorção. Após três horas de tratamento o efluente passou por coluna de carvão ativado granular e foi coletada amostra depois de 1 hora de recirculação. Na Figura 4 pode ser visto o esquema dos experimentos realizados.

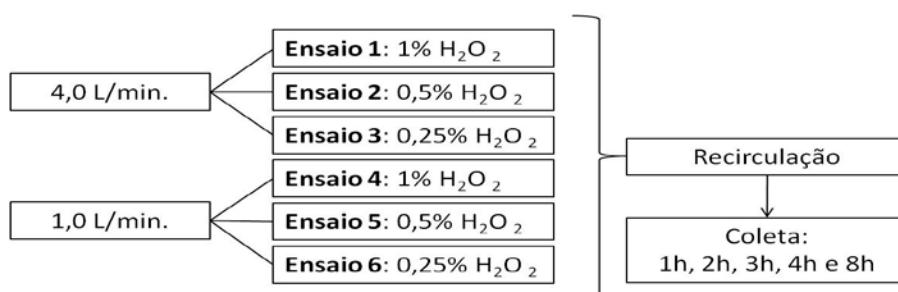


Figura 4 - Esquema dos experimentos realizados.

Após as etapas experimentais, os custos do tratamento atual da fábrica e de implantação do sistema POA ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$) em escala real foram analisados.

RESULTADOS

Variação do pH

Houve redução do pH ao longo do tratamento, em geral de 10 para 6, como pode ser visto na Figura 5. Esta redução pode estar associado à formação de ácidos orgânicos dentre os subprodutos de degradação. Pode-se perceber também que a redução de pH foi semelhante para quase todos os ensaios, mostrando pouca influência da vazão e da dosagem de peróxido para o parâmetro pH.

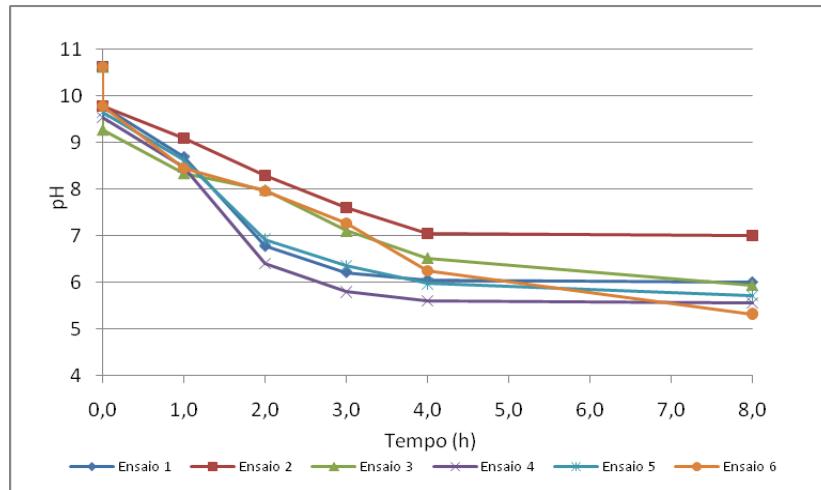


Figura 5 - Esquema dos experimentos realizados.

Remoção de DQO

Na Figura 6 encontram-se os resultados de DQO referentes aos ensaios 1 – 6. Logo após a adição de peróxido, há aumento no valor da DQO pelo fato do peróxido interferir nessa análise. Entretanto esse aumento não é proporcional à dosagem de peróxido. Esta inconsistência pode ser atribuída à diferença na homogeneização da amostra no tanque de armazenamento, visto que a agitação era feita de forma manual. Analisando os valores de DQO dos ensaios 1 e 4 após oito horas, foi possível notar que o valor final é o mesmo para ambos. Remoção de DQO de 99,4% e 97,2% respectivamente foi alcançada para os dois ensaios, respectivamente. O valor de DQO alcançado nestes ensaios permite o lançamento deste efluente em corpo receptor, atendendo ao artigo 4º da Portaria 154/02 da SEMACE.

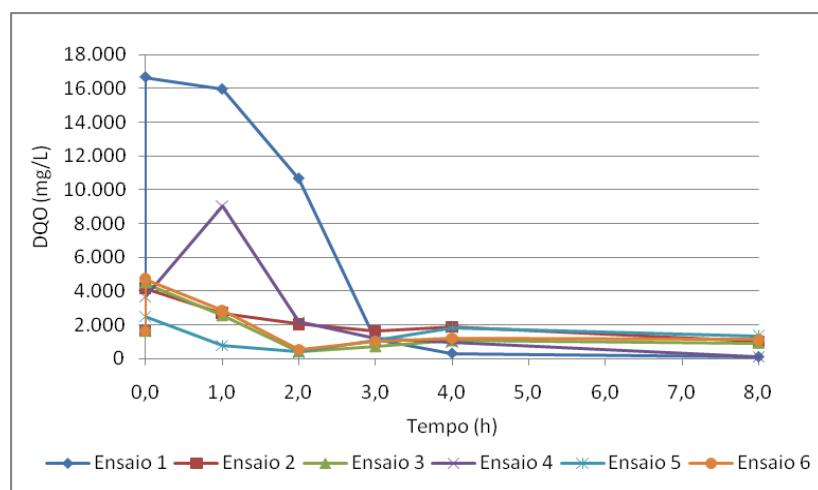


Figura 6 – Variação de DQO com o tempo.

Avaliação da amônia

O estudo da amônia é de grande relevância, tendo em vista que as fontes de nitrogênio (nutrientes) na água são responsáveis pelo crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas, além da toxicidade mesma, principalmente para os peixes. De forma geral houve um aumento no valor da concentração da amônia,

possivelmente, devido a oxidação de algum composto orgânico nitrogenado existente no efluente bruto podendo resultar na formação de amônia que posteriormente poderá se oxidar a nitrito e nitrato. Após oito horas de tratamento, a concentração mínima de amônia encontrada foi de 10,5 mg/L no ensaio 4 e a máxima foi de 157,5 mg/L no ensaio 6. Os demais ensaios encontraram-se na faixa de 71 – 96 mg/L de amônia após oito horas de tratamento.

Avaliação da turbidez

Os ensaios 1 e 2 indicam elevada turbidez enquanto nos demais ensaios nota-se redução deste parâmetro. Esse fenômeno pode ser atribuído ao aumento da vazão (4,0 L/min), propiciando maior turbulência no reservatório de armazenagem/recirculação e revolta de mais material. Tal efeito combinado com dosagens mais elevadas de peróxido de hidrogênio (1,0% e 0,5%) pode ter contribuído para aumento na turbidez nos ensaios 1 e 2.

Remoção de cor e variação do peróxido residual

A análise gráfica da cor (Figura 7) mostra tendência na redução dos valores nas primeiras 4 horas de teste, havendo aumento deste valor em oito hora. Após oito horas de tratamento todas as amostras se apresentaram visualmente incolores.

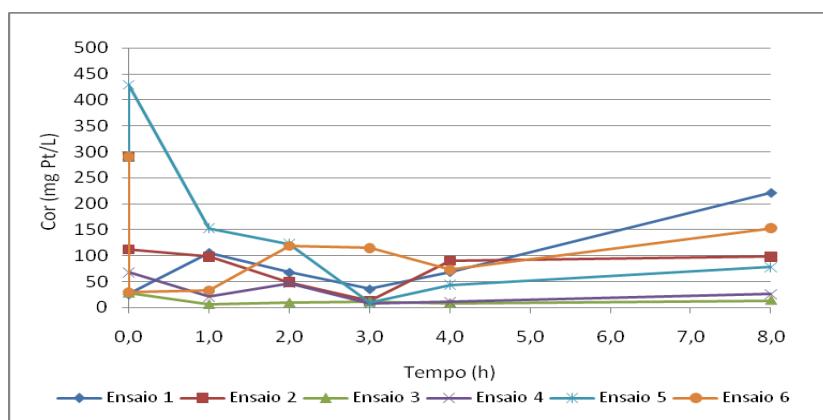


Figura 7 - Remoção de cor com o tempo.

Observando a Figura 8, é possível perceber que peróxido se decompõe ao longo do tempo, reduzindo então sua concentração no meio. Porém, após 8 horas de teste ainda foi encontrado um residual de peróxido. A dificuldade em decompô-lo por completo pode ser atribuída ao fato do peróxido de hidrogênio comercial possuir em sua formulação agentes estabilizadores, os quais dificultam a sua decomposição.

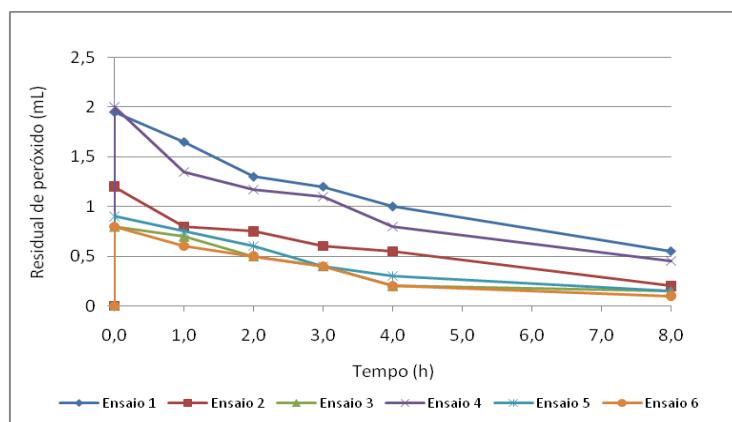


Figura 8 – Variação de residual de peróxido com o tempo.

Tratamento POA - Adsorção

Após a verificação dos resultados de otimização de vazão e concentração de peróxido, as condições do ensaio 4 foram escolhidas para realização do teste combinado POA-adsorção. Nesta etapa, a recirculação foi mantida por 3 horas no sistema UV/H₂O₂. Após este período, o efluente foi recirculado pela coluna de carvão ativado durante uma hora.

Na Tabela 1 podem ser verificados os resultados do tratamento POA-adsorção para os parâmetros estudados, onde pode ser observado que o pH decresceu ao longo do tempo, como observado anteriormente nos demais ensaios.

Avaliando o parâmetro cor, foi observada redução do mesmo em aproximadamente 70% para amostra bruta sem peróxido e de 77% para efluente bruto adicionado de peróxido, como pode ser visto na figura 9.

O peróxido residual apresentou um residual zero após passar pela coluna de carvão no sistema POA-adsorção.

A turbidez apresentou uma remoção de cerca de 70% após duas horas de recirculação, chegando a um máximo de 92 % de remoção no sistema POA-adsorção.

Houve aumento da DQO após a adição do peróxido, em todos os ensaios, seguido de redução da mesma com o tempo de tratamento. Após o efluente passar pela coluna de carvão houve redução significativa da DQO de aproximadamente 95% e 99% para o efluente bruto sem adição e com adição do peróxido, respectivamente (Figura 9). O valor final da DQO atendeu às exigências de lançamento de efluentes segundo o artigo 4º da portaria 154/02 da SEMACE. Este resultado representa ganho de quatro horas no tempo de tratamento em relação aos demais ensaios, fato relevante quando se considera sua aplicação em escala real.

Tabela 1: Características das águas estudadas na ETA-Morrinhos.

Parâmetro	Bruto	Bruto + H ₂ O ₂	1h	2h	3h	4h + Carvão
pH	8,26	8,08	7,96	6,23	5,92	6,02
Cor (mg Pt/L)	93,0	120,0	83,0	77,0	53,0	28,0
DQO (mg/L)	3.206,0	15.726,0	10.221,0	6.132,0	919,0	177,0
H ₂ O ₂ residual (mL)	-	1,94	1,70	1,40	1,10	0,00
Amônia (mg/L)	17,0	28,0	57,0	95,0	64,0	33,5
Turbidez (NTU)	18,0	26,0	11,0	7,0	4,0	2,0

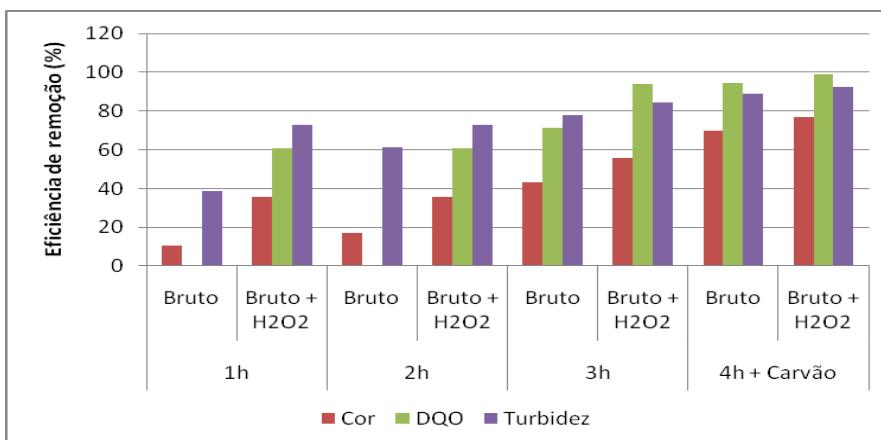


Figura 9 – Eficiência de remoção dos parâmetros cor, DQO e turbidez para 1h, 2h, 3h e 4h + carvão em relação ao esgoto bruto e bruto adicionado de peróxido.

Avaliação dos custos

A ETE da empresa que forneceu o efluente, objeto deste estudo, recebe em torno de 4.000 L/dia a serem tratados em batelada. Grande quantidade de carvão ativo em pó (CAP) é utilizado nesta etapa de tratamento no efluente real. Assim, para este estudo o CAP foi removido da etapa de tratamento físico-químico. Foi então realizado uma estimativa de cálculo comparativo entre as duas metodologias: apenas tratamento físico-químico com CAP e tratamento físico-químico sem CAP seguido de POA-adsorção.

Foram considerados os parâmetros: volume do fotoreator, potência, número de lâmpadas, volume de peróxido, consumo de energia e volume de carvão ativado granulado para fins de cálculo de custo de implantação e insumos. Como os demais produtos químicos continuariam a ser utilizado na alternativa com POA, o cálculo dos custos atuais foram baseados somente no item a ser substituído que foi o carvão ativado em pó utilizado na fase do tratamento físico-químico.

Segundo a empresa geradora de efluente, o consumo mensal de carvão é de 3.000 kg/ mês. Chegando a custo mensal de R\$ 6.950,00 com o valor do frete já incluso, pois o material vem de São Paulo. Estimando um volume total de efluente mensal em torno de 120 m³, considerando apenas o CAP, é possível obter custo de R\$ 57,92/ m³.

Já os custos mensais utilizando o sistema POA-adsorção chegam a R\$ 5.382,46 por mês resultando em R\$ 44,94/m³ representando uma redução de 22% nos custos mensais. Assim, após implantado, o sistema POA-adsorção apresenta vantagens em relação ao uso do CAP em termos de custo levando em consideração apenas os insumos. Contudo, os custos de implantação dessa tecnologia constituem uma limitação a aplicação dessa técnica, pois podem chegar a R\$ 103.200,00 para o caso estudado, necessitando de 5 anos e meio para se ter retorno do investimento realizado.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

É viável a utilização do sistema POA para remoção de cor no efluente estudado.

A adição de uma coluna de carvão ativado granulado no processo propiciou uma redução no tempo de operação, visto que foram necessárias apenas quatro horas de tratamento para remoção de cor e redução de DQO superior a 95%.

A oxidação da amônia precisa ser estudada para que sejam alcançados os limites de lançamento exigido pelo órgão ambiental estadual (SEMACE).

Notou-se também que apesar do custo do efluente tratado ser menor com o POA do que utilizando o CAP, o custo de implantação do primeiro é muito elevado em especial devido aos custos das lâmpadas, o que parece ser o ponto de maior dificuldade para a disseminação dessa tecnologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. Relatório Anual 2008/2009, 2010. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br>>. Acesso em: julho de. 2010.
2. PETERNEL, I; KOPRIVANAC, N; KUSIC, H. UV-based processes for reactive azo dye mineralization. Water research, v. 40, n. 3, pp. 525-532, 2006.
3. TEIXEIRA, C. P. A. B.; JARDIM, W. F. Processos oxidativos avançados: conceitos teóricos. Caderno Temático, Campinas, v. 3, 2004.
4. HINTERHOLZ, C. L.; FORNARI, A. C.; DA ROSA, M. F. Avaliação da aplicabilidade dos processos oxidativos avançados no tratamento do herbicida basagran. Anais do I ENDICT – Encontro de Divulgação Científica e Tecnológica, Paraná, RS, Brasil, 2009.