

ESTUDO DE UM PROCESSO COMBINADO PARA TRATAMENTO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE

Alessandra Novaes de Moura Rodrigues*

Edson Roberto Rodrigues**

Rosângela Bergamasco***

RODRIGUES, A. N. M.; RODRIGUES, E. R.; BERGAMASCO, R. Estudo de um processo combinado para tratamento das águas residuárias da indústria de papel e celulose. *Arq. Ciênc. Saúde Unipar*, 4(3): 251-258, 2000.

RESUMO: O desenvolvimento de municípios e indústrias, sem um planejamento ambiental adequado, provoca alterações bruscas na natureza. Um efluente que não atenda às especificações impostas pela legislação deve ser alterado, ou seja, tratado. Para atender tais exigências, as fontes poluidoras devem dispor de sistemas de tratamento, estando estes diretamente relacionados às características do efluente. Neste trabalho, investiga-se a utilização de um processo biológico aeróbio (RBS) somado a um processo químico (Reagente Fenton) e a um processo físico (ultrafiltração), para o tratamento do efluente da indústria de papel e celulose. O RBS (reator batelada seqüencial) é um processo em semi-batelada, onde os processos de reação e separação tomam lugar em momentos diferentes. O Reagente Fenton resulta da reação do H_2O_2 com o ferro catalítico (Fe_2SO_4), gerando radicais hidroxil ($OH\bullet$), que são altamente oxidantes. Os polímeros de hidróxido de ferro resultantes possuem uma grande área superficial, estrutura amorfa e carga positiva; são hidrofóbicos e, devido à sua carga, causam a adsorção de partículas orgânicas aniônicas, tornando-se insolúveis. A neutralização destas cargas desestabiliza a matéria coloidal induzindo à floculação e, conseqüentemente, à precipitação dos produtos formados. A ultrafiltração surge como um tratamento terciário responsável pela remoção dos compostos recalcitrantes, originalmente, presentes no efluente ou parcialmente modificados no decorrer dos processos biológicos e químico, ou ainda, a produtos do metabolismo celular, que devido às suas características moleculares, resistem à degradação. A utilização dos diferentes processos tem obtido remoções de DQO, cor e turbidez superiores a 90%, mostrando ser um processo alternativo para o tratamento dos efluentes da indústria de papel e celulose.

PALAVRAS-CHAVE: efluente; indústria de papel e celulose; RBS; reagente Fenton; ultrafiltração.

STUDY OF A COMBINED PROCESS FOR TREATMENT OF THE WASTE WATERS FROM THE PULP AND PAPER INDUSTRY

RODRIGUES, A. N. M.; RODRIGUES, E. R.; BERGAMASCO, R. Study of a Combined Process for Treatment of the Waste Waters from the Pulp and Paper Industry. *Arq. Ciênc. Saúde Unipar*, 4(3): 251-258, 2000.

ABSTRACT: The development of cities and industries, without an appropriate environmental planning, provokes abrupt alterations in the nature. When a waste water doesn't present the specifications imposed by the legislation it is necessary that will be altered. For this, it is necessary the introduction of an appropriate treatment system to the characteristics of the waste water. In this work, the performance of the biological process (SBR) combined with the chemical process (Fenton's reagent oxidation) and the physical process (ultrafiltration) are studied for treatment of the waste waters from the pulp and paper industry. SBR (sequencing batch reactor) is a semi-batch process taking place in a single tank, where reaction and separation take place in different moments. Fenton's reagent is a mixture of hydrogen peroxide and ferrous iron. In this

* Professora de Química Geral e Inorgânica – Universidade Paranaense – Umuarama – PR

** Professor de Físico-química – Universidade Paranaense – Umuarama – PR

*** Professora do depto. de Engenharia Química. Universidade Estadual de Maringá - Maringá – PR

Endereço: Alessandra Novaes de Moura Rodrigues.

e-mail: alenmr@hotmail.com

reaction hydroxyl radicals are produced ($\text{OH}\bullet$), which are highly oxidant. The resulting metal hydroxide polymers have a large surface area, an amorphous structure and a positive charge. They are hydrophobic, causing the adsorption of organic anionic particles and becoming insoluble. Charge neutralization leads to colloid destabilization and precipitation occurs. The ultrafiltration appears as a tertiary treatment responsible for the removal of the recalcitrant compounds present in the waste water or partially modified during the biological and chemical processes, or still, products of the cellular metabolism, that due to their molecular characteristics are resistant to degradation. The obtained results indicate that the combined action of the chemical and physical processes COD, colour and turbidity removals up to 90% are reached, proving to be an efficient process for the treatment of the waste waters from the paper and pulp industry.

KEY WORDS: Fenton's reagent; pulp and paper industry; SBR; ultrafiltration; waste waters.

Introdução

As indústrias de papel e celulose produzem, anualmente, grandes quantidades de efluentes coloridos, resultantes dos diferentes processos aplicados à madeira e à sua polpa. Estes efluentes apresentam vários compostos orgânicos, responsáveis pela sua coloração marrom e se originam da degradação da lignina residual durante o processo de branqueamento da polpa. A cor marrom dos efluentes, pode inibir as atividades biológicas na água, pois impedem a penetração da luz solar (Esposito, 1992).

Os efluentes líquidos da indústria de papel e celulose contém altas concentrações de compostos orgânicos que apresentam sérios problemas de tratamento. Muitos dos compostos presentes nos efluentes são pouco solúveis em água, resistem à degradação biológica e podem representar toxidez às comunidades microbianas (Stephenson, 1996).

As indústrias de papel e celulose, frequentemente, utilizam o processo de lodos ativados para tratamento de suas águas residuárias. Este tratamento consiste na degradação da matéria orgânica por meio de microrganismos, em condições ideais para a multiplicação dos mesmos. Entretanto, os resíduos provenientes deste tipo de processo possuem em sua constituição uma grande quantidade de microrganismos patogênicos e de compostos tóxicos que impossibilitam a reutilização do mesmo.

Os processos que envolvem lodos ativados operados em batelada, mais conhecidos como RBS (reator batelada seqüencial), têm sido propostos como alternativa aos processos contínuos convencionais. No reator batelada seqüencial (RBS), a biomassa encontra-se em suspensão, tal como ocorre no processo de lodos ativados, no entanto, o RBS é um processo em semi-batelada, que ocorre em geral em um único tanque, onde reação e separação tomam lugar em momentos diferentes. Desse modo, o RBS pode ser encarado como um processo peri-

ódico, isto é, as condições do meio variam com o tempo (Cybis, 1995). Em função disso, grandes economias de capital podem ser feitas, uma vez que não há necessidade das estruturas exigidas para a sedimentação e retorno do lodo, como no processo convencional de lodos ativados. A Figura 1 apresenta esquematicamente o ciclo de um RBS.

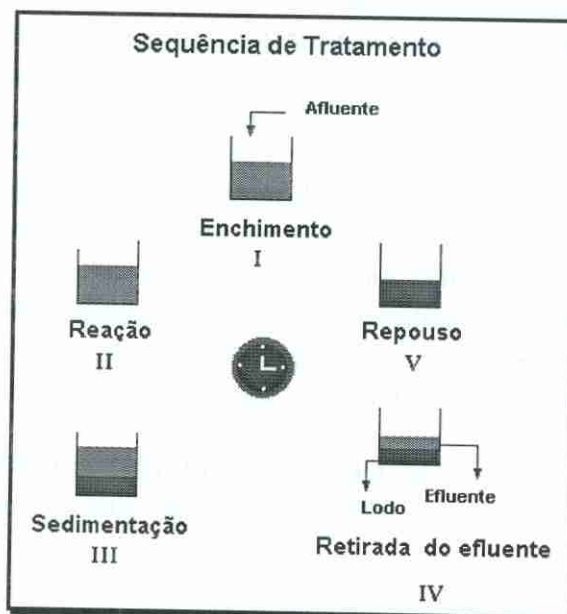
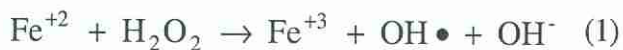


FIGURA 1- Operação esquemática de um RBS

Atualmente, as indústrias químicas têm usado coagulantes químicos como forma de promover a formação de agregados e conseqüentemente, reduzir a concentração de matéria orgânica. O mais conhecido processo de oxidação que vêm sendo utilizado é o que utiliza o reagente de Fenton. Resultante da reação do peróxido de hidrogênio com o Ferro catalítico, o reagente Fenton surge como uma nova alternativa de tratamento, por se tratar de um forte agente oxidante capaz de altas remoções de cor e turbidez. A reação abaixo indica seu mecanismo de atuação onde o íon ferro reage como o peróxido de hidrogênio, gerando radicais hidroxil ($\text{OH}\bullet$), que são altamente oxidantes.



O Reagente de Fenton possui três características atrativas para sua utilização no tratamento de efluentes. O radical $\text{OH} \bullet$ produzido pela equação (1) reage rapidamente com substâncias orgânicas. Este radical tem provado ser efetivamente reativo com uma variedade de compostos como álcoois, éteres, fenóis clorados, pesticidas, etc., presentes em soluções aquosas de águas residuais (Casero, 1996); os componentes do reagente são seguros de manipulação e não agridem o meio ambiente, pois seus produtos finais são água, oxigênio e hidróxido de ferro; o peróxido de hidrogênio vem sendo utilizado por muitas indústrias para minimizar a demanda química de oxigênio (DQO) e o custo adicional do ferro é relativamente baixo o que torna o tratamento economicamente viável. Além disso, o íon ferro pode ser regenerado eletroliticamente (Hsiao and Nobe, 1993; Tzedakis *et al.*, 1989)

As técnicas de membranas aplicadas ao tratamento de águas residuárias constitui a seqüência dos processos clássicos de filtração com o objetivo de intensificar o processo de separação, promovendo assim reduções de cor, turbidez e DQO pela retenção de moléculas de um determinado peso molecular.

Neste sentido, este trabalho teve como objetivo principal acoplar estes três processos, em um processo combinado (reator batelada seqüencial + oxidação por Fenton + ultrafiltração), para o tratamento do resíduo gerado em uma indústria de papel e celulose, visando a recirculação da água residuária para o processo de fabricação.

Materiais e Métodos

Caracterização do efluente

Todos os experimentos foram realizados com efluentes obtidos da Klabin – Indústria de papel e celulose, situada em Telêmaco Borba – PR.

O efluente líquido utilizado neste ensaio foi obtido pela mistura de todas as correntes setoriais da fábrica, coletado no processo de tratamento do efluente, logo após o tratamento primário e sua neutralização. O efluente, após a coleta, era armazenado em galões plásticos de 20 L e congelado, para manutenção de suas propriedades, até a sua utilização. Durante os ensaios, o efluente era transferido para uma câmara fria onde permanecia armazenado a uma temperatura de 10 °C. A Tabela 1 apresenta a sua caracterização físico-química.

TABELA 1 - Características físico-químicas do efluente (valores médios)

Parâmetros	Valores
DQO (mg O ₂ /L)	550-850
pH	7,0-9,0
Turbidez (FAU)	126
Sulfetos (mg/L)	0,3
Fenol (mg/L)	49,3
Cor (Pt/Co)	1100

Inóculo

Como fonte bacteriana destinada ao uso do RBS (reator batelada seqüencial), utilizou-se o lodo aeróbio proveniente da Klabin - indústria de papel e celulose, previamente aclimatado. Após a coleta, o lodo sofreu decantação por 24 horas, para garantir uma melhor qualidade ao inóculo.

O tratamento do resíduo foi efetuado pelo processo combinado na seguinte seqüência: reator batelada seqüencial (RBS) + oxidação por Fenton + ultrafiltração (Figura 2).

Tratamento Biológico (RBS)

Os experimentos tiveram início com a realização do tratamento biológico do efluente através de um reator batelada seqüencial (RBS). O RBS foi operado com um ciclo total de 24 horas sendo de 22 horas o tempo de reação, 1½ hora o tempo de sedimentação e ½ hora o tempo necessário à retirada do efluente e à entrada de nova carga.

O volume total do reator foi de 1L, sendo 0,2 L o volume do inóculo e de 0,8 L o volume do efluente a ser tratado. O reator foi operado à temperatura ambiente e possuía um sistema de agitação e aeração a fim de melhor propiciar as condições requeridas ao tratamento biológico.

Tratamento Químico (Reagente Fenton)

Sendo o Reagente Fenton a mistura de peróxido de hidrogênio com o íon ferro, antes de se determinar a concentração do mesmo, era necessário que se conhecesse o tempo de reação entre a mistura (Reagente Fenton) e o efluente a ser tratado. O que determinou a escolha deste parâmetro foi a concentração de Fenol presente na amostra.

Determinado o tempo reacional, e, sabendo-se que a relação entre os reagente era de 1:5 m/m, fixou-se uma dada concentração para os reagentes e fez-se uma varredura de pH, tendo como parâmetro de acompanhamento, a DQO.

As amostras foram acidificadas com H₂SO₄ –

50% e neutralizadas com NaOH – 50%.

Estabelecido, o pH operacional, fez-se uma varredura na concentração dos reagentes em função da eficiência de remoção de DQO.

Tratamento Físico (Ultrafiltração)

O módulo de ultrafiltração era constituído de aço inóx com volume de 0,606 L, diâmetro interno de 5,30 cm, altura de 27,5 cm, sendo a tampa e a base de latão (Figura 3). A entrada do efluente se dá na base superior e o fluxo permeado na parte inferior do reator. A medida da pressão interna do reator é realizada por um manômetro.

O módulo de ultrafiltração era mantido sob agitação por um agitador magnético, para uma melhor distribuição do fluxo dentro do módulo e para evitar a deposição de sólidos sobre a membrana.

Utilizou-se a membrana de poliétersulfona, abertura de 30.000 nm, superfície filtrante de 28,4 cm² e pressão operacional de 3 bar. A limpeza da membrana era feita com NaOH (0,5% - pH=12,9) e HNO₃ (0,5% - pH=1,3) à temperatura de 50°C, sendo de 20 minutos o tempo de contato de cada uma das soluções.

Métodos analíticos

A performance do processo foi monitorada por meio de análises de DQO, pH, cor, turbidez e CT.

As análises de DQO foram determinadas de acordo com o micro-método padrão, segundo os

procedimentos descritos no Standart Methods (APHA, 1992).

A leitura de cor foi feita em um espectrofotômetro HACH – modelo DR/2010 a 455 nm calibrado com padrões de platina/cobalto (método 8025 – manual HACH). A turbidez foi medida em um espectrofotômetro HACH – modelo DR/2010 a 860 nm calibrado com padrões de formazin (método 8237 – manual HACH). A concentração de carbono total foi determinada usando-se um analisador de carbono total SHIMADZU TOC-500. Para leitura de pH, utilizou-se um potenciômetro.

Resultados e Discussão

Testes Preliminares: Caracterização do Reagente Fenton

A concentração de fenol é parâmetro decisivo para determinação do tempo reacional do reagente Fenton. Segundo Bishop (1968), para baixas concentrações de fenol, isto é, concentrações até 250 mg/L, são necessários de 30-60 minutos.

Na Tabela 1, apresentada anteriormente, determinou-se que a concentração de fenol presente no efluente foi de 49,3 mg/L. Assim, optou-se por um tempo reacional de 60 minutos.

Na Tabela 2 encontram-se os resultados da remoção de carbono total (CT) para os diferentes pH. A amostra com pH=8 refere-se ao efluente que não recebeu o tratamento do Reagente Fenton.

TABELA 2 - Eficiência de remoção de carbono orgânico total para os diferentes pHs.

pH	CT (mg/L)	CI (mg/L)	CO (mg/L)	Remoção (%)
3	90,7	0	90,7	37,3
3,5	102	0	102	29,5
4	119,3	0	119,3	17,5
4,5	123,2	0	123,2	14,8
5	126,7	9,9	116,8	12,4
5,5	130,3	5,5	124,8	9,9
6	133,7	6,76	126,9	7,5
8	144,6	27,02	117,5	**

** Efluente bruto

Conforme análise dos resultados, a reatividade do reagente Fenton aumentou com o decréscimo do pH. De acordo com Bishop (1968), atribui-se a queda da eficiência à transição do íon ferro na molécula de ferro hidratado (FeSO₄.7H₂O) a espécies de ferro coloidais. Posteriormente, o ferro catalítico irá decompor a molécula de H₂O₂ a O₂ e H₂O

Pesquisas revelam que a maior reatividade do reagente Fenton ocorre na faixa de pH=3-6, sendo que para o efluente da indústria de papel e celulose este ocorreu no pH=3.

Para determinação da concentração operacional, utilizou-se a relação [Fe:H₂O₂] = 1:5 m/m citada por Bigda (1995).

Desta forma, ajustou-se o efluente ao pH=3,0

e acrescentou-se de 10 a 100 mg de H₂O₂ para determinação da concentração que apresentasse maior degradação da matéria orgânica presente.

Na Tabela 3, encontram-se os resultados da eficiência de remoção de DQO em função da concentração dos reagentes.

TABELA 3 - Eficiência de remoção em função da concentração dos reagentes

[H ₂ O ₂] mg/L	[Fe ⁺⁺] (mg/L)	DQO (mgO ₂ /L)	Eficiência de remoção (%)
0	0	610,9	-
10	2	395,5	35,3
20	4	393,8	35,5
30	6	365,9	40,1
40	8	349,95	42,7
50	10	328,6	46,2
60	12	319,37	47,7
70	14	303,5	50,3
80	16	264,6	56,7
90	18	380,27	37,7
100	20	439,33	28,1

Os resultados indicam que a maior remoção de matéria orgânica ocorreu a uma concentração de H₂O₂ de 80 mg/L e de Fe⁺² de 16 mg/L.

De acordo com a OxyPure (1999), a evolução da taxa de reação pode variar de minutos a anos, dependendo de uma série de fatores, entre eles a concentração do Reagente Fenton. Assim, para concentrações de H₂O₂ superiores a 80 mg/L, serão necessários tempos superiores a 1 hora para que a reação se complete.

Estabelecidas as condições operacionais do Reagente Fenton, partiu-se para a realização conjunta dos processos químico, biológico e físico. O

sistema operou com as etapas em série onde o efluente foi oxidado pelo Reagente Fenton e, posteriormente, o sobrenadante alimentou o processo biológico em um RBS e, na seqüência foi conduzido à ultrafiltração de oxidação por Fenton.

Os resultados da performance do processo combinado, para tratamento do efluente da indústria de papel e celulose, encontram-se nas Figuras 3 a 6.

É interessante ressaltar que o sistema operou com as etapas em série. Após o efluente passar pelo processo de tratamento biológico no RBS, o sobrenadante alimentava o processo de oxidação por Fenton e posteriormente, a célula de ultrafiltração.

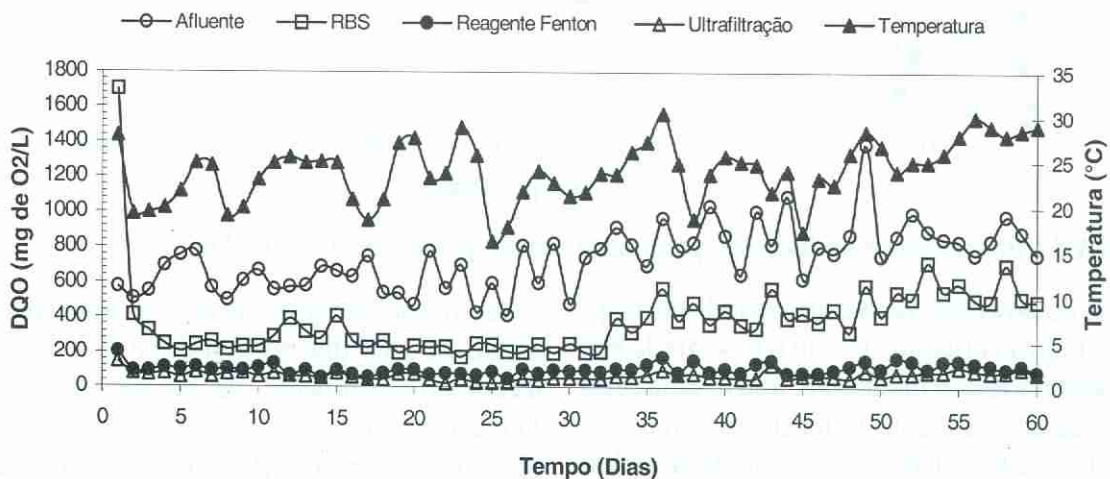


FIGURA 3 - DQO em cada uma das etapas de tratamento

Através da análise da Figura 3, observa-se que a concentração de DQO diminuiu com o tempo, mostrando estar o inóculo completamente adaptado ao efluente em estudo.

Para o RBS, percebe-se ainda, a sua dependência direta deste com a temperatura. Assim, as maiores degradações ocorreram em dias com temperaturas superiores a 25°C.

A oxidação do Reagente Fenton mostrou-se

determinante para a eficiência global do processo. Isto, porque há uma série de compostos de difícil degradação biológica e a oxidação do Reagente Fenton permite a quebra das mesmas, tornando-as menores, além de formar produtos como a H₂O e O₂.

A água formada acaba por diluir a amostra em estudo, contribuindo para a redução da carga orgânica. A figura 4 apresenta a remoção cumulativa dos processos combinados.

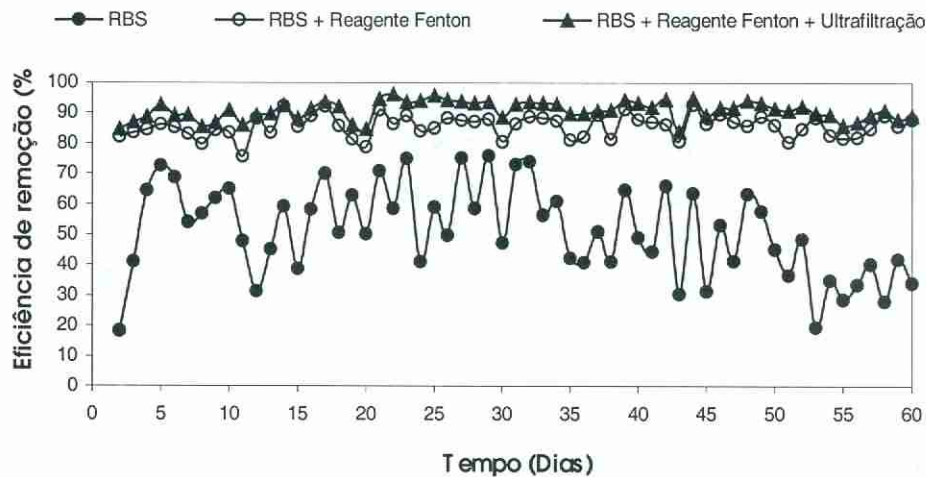


FIGURA 4 – Eficiência de remoção cumulativa de DQO (demanda química de oxigênio)

A degradação do efluente, atingiu remoções médias parciais de DQO de 50,37% para o RBS, 68,76% para o Reagente Fenton e 34,76% para a ultrafiltração.

Em termos de remoções totais, ou seja, remoções cumulativas, obteve-se: 50,37% para o RBS,

85,25% até o tratamento com o Reagente Fenton e, finalmente, 90,44% removíveis para o processo completo.

Os dados relativos à remoção global do parâmetro cor estão apresentados na Figura 5.

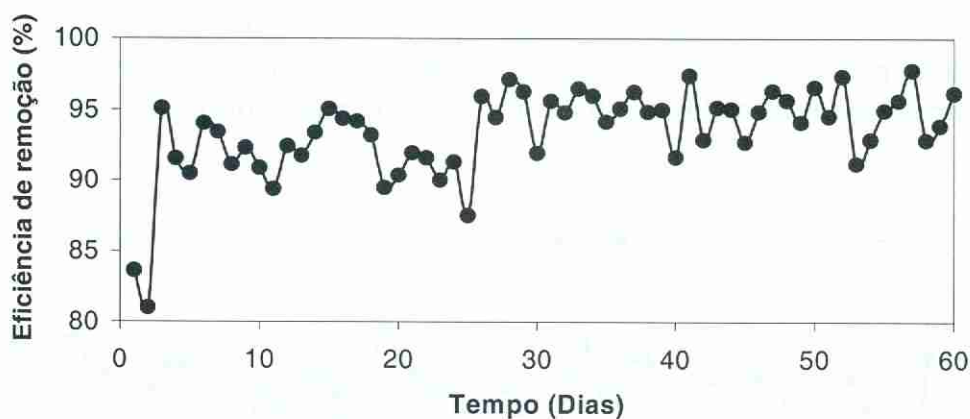


FIGURA 5 – Eficiência de remoção do parâmetro cor dos processos combinados

Ao início do processo, houve um período de adaptação do lodo ao efluente. Como o lodo ainda não se apresentava leve e floculento, houve uma certa dificuldade de sedimentá-lo na etapa de repouso (Figura 1 do ciclo do RBS). Assim, na etapa de descarga do reator, o mesmo era arrastado junto ao sobrenadante conferindo cor ao mesmo. A partir do

5º dia, o sistema entrou em regime, assim permanecendo até o 40º dia. A partir deste, houve aumento da cor, provavelmente, devido esta ser a idade do lodo em estudo.

Já para a oxidação do Reagente Fenton, obteve-se grandes remoções de cor, devido ao mecanismo de atuação do mesmo. Quando o Reagente Fenton é

acrescido à solução, os sais de ferro (FeSO_4), atuam como coagulantes químicos desestabilizando a matéria coloidal e causando a agregação das pequenas partículas umas às outras. Isto faz com que surjam partículas maiores, que são facilmente removíveis por floculação.

O efluente, que inicialmente apresentava a coloração marrom escura, após a atuação do Reagente Fenton apresenta bem definidas as fases sólido-líquido. O processo de coagulação/precipitação resulta em um sobrenadante límpido com coloração

amarelo claro, enquanto o precipitado apresenta-se sob a forma de flocos de coloração marrom.

A ultrafiltração soma-se ao tratamento, removendo as partículas de pequeno peso molecular que conferem cor ao efluente. Isto só é possível, devido a utilização de uma membrana de pequena abertura de poro (30.000 nm).

O processo, em termos de eficiência global de remoção de cor, apresentou remoções médias de 93,37%. Os dados relativos à remoção global do parâmetro turbidez estão apresentados na Figura 6.

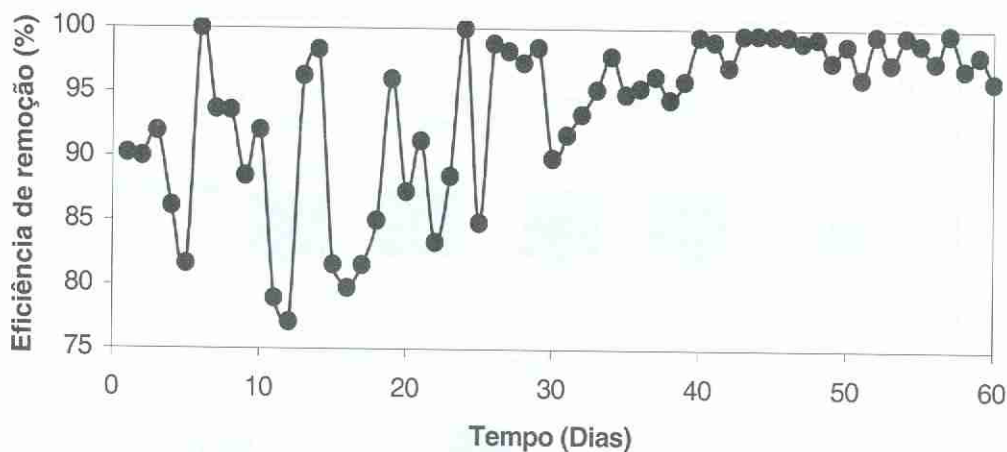


FIGURA 6 – Eficiência de remoção de turbidez nos processos combinados

O parâmetro turbidez está diretamente ligado à cor, pois refere-se à matéria em suspensão. Assim, os mesmos argumentos dados à cor são atribuídos à turbidez. As maiores remoções são também atribuídas ao Reagente Fenton, devido à coagulação/sedimentação da matéria coloidal em suspensão.

O processo, em termos de eficiência global, apresentou remoções médias de 93,72%. As altas remoções de cor e turbidez podem ser atribuídas ao reagente Fenton que desestabiliza a matéria coloidal e causa a agregação de pequenas partículas dentro das maiores, causando a formação de flocos que eventualmente, decantarão.

Conclusão

As indústrias de papel e celulose apresentam efluentes que contêm altas concentrações de lignina e compostos derivados. Estes compostos recalci-trantes, com alto peso molecular, são responsáveis pela coloração escura e por índices de toxidez presentes no mesmo.

A eficiência do processo foi altamente influenciada pelo agente químico coagulante (Reagente de Fenton), a concentração do mesmo, o pH ope-

racional, bem como a concentração e a natureza dos compostos orgânicos presentes no efluente.

O pH ótimo para atuação do reagente Fenton foi 3,0, sendo que a concentração dos reagentes presentes no mesmo foi de 80 mg/L e de 20 mg/L, para o H_2O_2 e para o Fe^{++} , respectivamente.

A ação conjunta do processo combinado, atinge remoções de cor e turbidez na ordem de 93%, respectivamente, além da remoção de DQO na ordem de 90%.

Nomenclatura

- CT: carbono total
- CO: carbono orgânico
- CI: carbono inorgânico
- DQO: demanda química de oxigênio
- RBS: reator batelada sequencial

Referências Bibliográficas

- APHA - Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater. - AWW-WPCF. 14ª Edição, Washington, 1992.
- BEULKER, S. & JEKEL, M., - Precipitation and coagulation of organic substances in bleachery effluents of pulp mills, *Water science technology*, 27, pp. 193-199, 1993.
- BIGDA, R. J., - Consider Fenton's Chemistry for Wastewater Treatment, *Environmental Protection*, 1995.
- BISHOP, D.F. *et al.*, - Hidrogen Peroxide Catalitic Oxidation of Refractory Organics in municipal Waste waters, in *Ind. Eng. Chem., Process Design & Development*, 7: 1110-1117, 1968.

CASERO, I. *et al.*, - Chemical Degradation of aromatic amines by Fenton's Reagent - *Water Research* 31(8), pp. 1895-1995, 1996.

CYBIS, L.F. & HORAN, N.J., - Uso do pH, redox e O.D. para o controle da nitrificação e desnitrificação em reatores seqüenciais em batelada (RSB), *18º Congresso Brasileiro de Eng. Sanitária e Ambiental*, Setembro, 1995, Salvador, Bahia, 1995.

ESPOSITO, E. *et al.*, - Screening of lignin-degrading fungi for removal of color from kraft mill wastewater with no additional extra carbon-souce - *Biotechnology Letters.*, 13:571-576, 1992 .

HSIAO, Y. L. & NOBE, K. J., - Hydroxilation of chlorobenzene and phenol in a packed bed flow reactor with electrogenerated Fenton's Reagent, *Appl. eletrochem*, 23, 943-946, 1993.

KNOCKE, W.R. , BHINGE D., SULLIVAN E., BOARDMAN, G.D., - Treatment of pulp and paper mill wastewaters for potential water reuse., *Proc. Purdue Ind. Waste Conf. Lafayette, Ind.*, pp.

421-429, 1986.

STEPHENSON, R.J. & DUFF, S.J.B., - Coagulation and precipitation of a mechanical pulping effluent - II Toxicity removal and metal salt recovery, *Water Research*, 30(4) 793-798, 1996.

STEPHENSON, R.J., DUFF, S.J.B., - Coagulation and precipitation of a mechanical pulping effluent - part I. Removal of carbon, colour and turbidity, *Water Research*, 30(4) 781-792, 1996.

TZEDAKIS, T. *et al.*, - The electrochemical regeneration of Fenton's reagent in the hydroxylation of aromatic substrates: batch and continuous process. *Appl. Eletrochem*, 19, 911-921, 1989.

OXYPURE. USA. 1999. Disponível em: <<http://www.oxypure.h2o2.com/productinfo/interferences.html>>. Acessado em: 1999

Recebido em: 24/11/2000
Aceito em: 22/12/2000

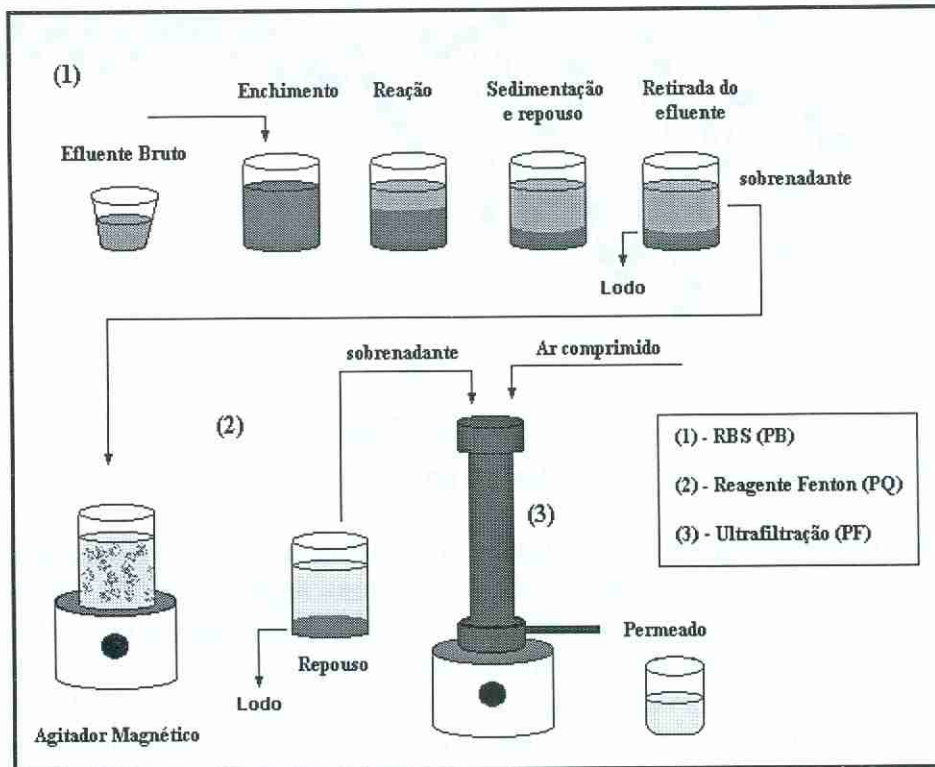


FIGURA 2 - Esquema geral dos processos combinados

