



34^o Congresso Anual de Celulose e Papel
34th Annual Pulp and Paper Meeting
22 a 25 de Outubro de 2001 / October 22nd – 25th, 2001

Estudo de tratabilidade de efluentes de duas seqüências de branqueamento com fechamento parcial dos filtrados.

Bio-treatability of bleaching plant effluent in a partially closed-cycle mill

Luciana Cerqueira Souza
Cláudio Mudado Silva
Cláudio Pereira Jordão
(Universidade Federal de Viçosa – UFV)

Alexandre Brandão Landim
Marcelo Moreira da Costa
(Celulose Nipo-Brasileira S/A – Cenibra)



Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel
Rua Ximbó, 165 – Acimação CEP 04108-040 - São Paulo / SP – Brasil
Fone: (11) 5574-0166 - Fax: (11) 5571-6485 / 5549-1844 E-mail: expo@abtcp.com.br

ESTUDO DE TRATABILIDADE DE EFLUENTES DE DUAS SEQÜÊNCIAS DE BRANQUEAMENTO COM FECHAMENTO PARCIAL DOS FILTRADOS

Luciana Cerqueira Souza - Departamento de Química - UFV
Cláudio Mudado Silva - Departamento de Engenharia Florestal - UFV
Cláudio Pereira Jordão - Departamento de Química - UFV
Alexandre Brandão Landim - Celulose Nipo-Brasileira - CENIBRA
Marcelo Moreira da Costa - Celulose Nipo-Brasileira - CENIBRA

RESUMO

Nas últimas décadas, as fábricas de celulose vêm buscando reduzir o consumo de água, minimizando o volume de efluentes líquidos gerados. Não somente por pressões ambientais, mas sobretudo por questões econômicas, tais esforços tendem a ser intensificados em futuro próximo. Nessa tendência, a CENIBRA - Celulose Nipo-Brasileira, na qual produz, aproximadamente 815.000 tsa/ano de celulose kraft branqueada de mercado procura melhorar sua capacidade de produção e qualidade de seus produtos, de forma a minimizar danos ambientais. Várias são as formas de reduzir o consumo de água no processamento industrial, sendo que as mais notáveis são: i) a substituição de equipamentos e/ou de processos que requerem grandes quantidades de água; ii) a reciclagem e reutilização de efluentes setoriais. A reutilização de água deve ser realizada após detalhado estudo sobre as conseqüências que venha acarretar no processo. O acúmulo de substâncias prejudiciais pode causar problemas graves de corrosão, incrustação, e até mesmo deterioração na qualidade da polpa. A redução no consumo de água pode ainda ter reflexos importantes na qualidade do efluente gerado, que é encaminhado para a Estação de Tratamento de Efluentes. O presente trabalho buscou simular em escala de laboratório, a recirculação de filtrados de duas seqüências de branqueamento, a fim de caracterizá-los, bem como avaliar a sua bio-tratabilidade. Os resultados mostraram que o efluente gerado apresentou satisfatória biodegradabilidade. A eficiência do tratamento, quanto a remoção de DQO, DBO₅ e AOX foi compatível com os níveis atuais alcançados por fábricas de celulose kraft branqueada. Os valores de parâmetros cinéticos encontrados foram próximos aos valores da literatura para efluentes de fábrica de celulose e papel.

ABSTRACT

In the last decades, the pulp industry is finding ways to reduce their use of fresh water and the generation of liquid effluents. Not only because of environmental issues but also because of economic reasons, water usage reduction tend to increase in the next few years. In this context, CENIBRA - Celulose Nipo-Brasileira, one of the major Brazilian bleached kraft pulp producer (around 800.000 adt/year), is also looking for meanings to enhance their production capacity, their product quality, and their environmental performance. There are many ways to reduce the water consumption in the process that has been already adopted in pulp mills. The most common ones are i) substitution of equipment and/or processes that require large quantity of water ii) recycling and reuse of effluents. Water recycling must be evaluated, because it cause many problems to the process. The non-process elements accumulation can cause corrosion, scaling and can also affect the pulp quality. The reduction on water use can affect characteristics, which are discharged to the treatment plant. In this study, lab simulation of two bleaching sequences with filtrate recirculation was conducted. The filtrates were characterized and bio-treatability tests were performed using a batch activated sludge process. The results showed that the generated effluent has good biodegradability justifying the use of biological treatment. The treatment efficiency in terms of COD, BOD and AOX removal was similar to that of the bleach kraft pulp industry. The microbial growth kinetic parameters were found to be similar to those presented in the literature.

Palavras Chaves: Lodo ativado, Recirculação de filtrado, efluente de branqueamento, activated sludge, filtrate recirculation, bleached plant filtrate.

1. INTRODUÇÃO

As conseqüências da atividade industrial e do progresso tecnológico despertaram a consciência dos diversos setores da sociedade para a necessidade de preservar os recursos naturais do planeta. Atualmente, pressionadas por essa tendência, as indústrias buscam adequar-se às exigências legais destinadas a proteger o meio ambiente, por meio de ações, como modificações do processo, que reduzam a geração de efluentes na fonte e reaproveitamento de insumos (RIBEIRO, 2000).

A indústria de celulose e papel é uma das maiores usuárias de água no mundo. Em 1959, uma indústria kraft de celulose utilizava um volume superior a 240 m³ de água para produzir um tonelada de polpa, este número caiu para 36 m³ em 1992 para as indústrias mais modernas (SPRINGER, 2000).

A reutilização de águas e a conservação ou recuperação de substâncias é de grande interesse, principalmente no setor de branqueamento, pois é neste setor que se gera a maior carga de poluentes no efluente líquido de uma fábrica de celulose kraft. Este processo é conhecido como fechamento de circuitos, diminuindo drasticamente o volume, a demanda química de oxigênio (DQO) e os compostos clorados dos efluentes que são encaminhados para a Estação de Tratamento de Efluentes. Uma outra vantagem da recirculação dos efluentes é a diminuição das perdas de fibras durante o processo, pois o consumo de água a ser captada é reduzido consideravelmente. No entanto, o fechamento nem sempre representa uma solução final para os problemas de meio ambiente, devendo ser complementado com um sistema de tratamento externo dos efluentes líquidos.

Normalmente, a estação de tratamento de efluentes de uma indústria de celulose e papel é constituída também de um sistema de tratamento secundário (biológico) de efluentes, no qual é responsável na degradação da matéria orgânica presente nestes efluentes.

No corpo d'água, a matéria orgânica é convertida em produtos mineralizados inertes por mecanismos puramente naturais, caracterizando o chamado fenômeno de autodepuração. Nas estações de tratamento biológico ocorrem os mesmos fenômenos básicos, porém, o processo desenvolve em condições controladas e em taxas elevadas.

No tratamento biológico, o substrato serve como fonte de energia e carbono para os microorganismos. Sob condições aeróbias, a biodegradação idealmente resulta na mineralização total do substrato com produção de dióxido de carbono, água, amônia, cloreto e sulfato. No entanto, a biodegradação forma uma variedade de compostos estáveis e instáveis.

A compreensão da microbiologia do tratamento de esgotos é, portanto, essencial para a otimização do projeto e operação dos sistemas de tratamento biológico. Os principais organismos envolvidos no tratamento são bactérias, protozoários, fungos, algas e vermes. As bactérias são mais importantes na estabilização da matéria Von SPERLING, 1996).

A eficiência nos processos de tratamento biológico é dependente da temperatura. Esta variável não só influencia nas atividades metabólicas dos microorganismos, como também causa efeitos nas taxas de transferência de gases e altera as características dos sólidos biológicos (METCALF e EDDY, 1991). As bactérias podem ser classificadas em psicrófilas (-10°C a +30°C), mesofílicas (20°C a 50°C e termofílicas (45°C a 75°C), sendo a que a maioria delas em planta de tratamento de efluentes é mesofílica, encontrando dificuldades a uma temperatura abaixo de 15°C ou superior a 37°C (SPRINGER, 1993). A temperatura ideal em plantas de lodos ativados para efluentes de indústria de celulose e papel é entre 35-37°C, havendo a necessidade de um resfriamento para efluentes com temperatura superior a 40°C (HYNNINEN, 1998).

O pH é também importante. A maior parte das bactérias não suporta valores de pH acima de 9,5 e abaixo de 4,0, sendo que o pH ótimo se situa em torno da neutralidade (6,5 a 7,5) (METCALF e EDDY, 1991).

Alguns compostos tóxicos, tais como, fenóis, organoclorados, cianetos, sulfetos e metais pesados, acima de certa concentração podem inibir o crescimento bacteriano. Na maioria dos casos, a população de bactérias pode ser aclimatada na presença de um composto tóxico e aprender a tolerá-lo a concentrações mais altas, sem inibição (SPRINGER, 1993).

A presença de macronutrientes tais como nitrogênio e fósforo é essencial em sistema de tratamento biológico. Outros macronutrientes necessários são carbono, hidrogênio, oxigênio e enxofre. Micronutrientes essenciais no processo incluem o ferro, manganês, cobre, cobalto, magnésio, potássio e cálcio. Em geral, os efluentes de indústria de celulose contêm quantidades suficientes desses micronutrientes, porém, requerem a adição de certas quantidades de nitrogênio e fósforo, que obedece a relação DBO₅:N:P igual a 100:5:1, dependendo das condições da planta de tratamento (SAUNAMÄKI, 1994).

O sistema de tratamento biológico tem como finalidade primordial a remoção da matéria orgânica dissolvida biodegradável, conferida em termos de DBO_5 . Na indústria de celulose kraft, a remoção da toxicidade e dos compostos organoclorados é também observada nos processos biológicos, enquanto que a remoção de cor é pouco significativa nestes sistemas.

O tipo de tratamento biológico mais utilizado na indústria de celulose é do tipo aeróbio, ou seja, aquele que ocorre na presença de oxigênio. Os processos de tratamento aeróbios mais utilizados são as lagoas aeradas e o processo de lodos ativados.

A tecnologia dos lodos ativados é um processo biológico no qual o esgoto afluyente e o lodo ativado são intimamente misturados, agitados e aerados em reatores biológicos, sendo o lodo biológico separado do efluente tratado por sedimentação em decantadores secundários (PESSÓA e JORDÃO, 1982). Estes sólidos são parcialmente reciclados para o tanque de aeração, aumentando a concentração de biomassa no mesmo, o que é responsável pela elevada eficiência do mesmo, ou é descartado para tratamento específico, por exemplo adensamento, estabilização e desidratação do lodo, ou destino final, enquanto que o esgoto já tratado passa pelo vertedor no qual ocorreu a separação.

A CENIBRA - Celulose Nipo-Brasileira vem modernizando e otimizando os seus processos fabris com o objetivo de melhorar a sua capacidade de produção, a qualidade de seus produtos e, sobretudo, melhorar o seu desempenho industrial. A minimização do consumo de água industrial e, conseqüentemente, a redução da geração de efluentes é hoje uma das principais metas da empresa. Dentre os diversos estágios que compõem o processo kraft, a unidade de branqueamento constitui-se na maior fonte de geração de efluentes líquidos, contendo altos teores de matéria orgânica, alta cor e, sobretudo, compostos organoclorados. A reutilização dos filtrados do branqueamento torna-se bastante problemática devido ao acúmulo de contaminantes no sistema, denominados de elementos não processáveis (*non-process elements*) que apresentam uma série de problemas ao processo, tais como, formação de depósitos que provocam entupimento, corrosão e desgaste de tubulações e equipamentos, podendo acarretar prejuízos na qualidade da polpa.

Duas novas seqüências de branqueamento foram propostas pela CENIBRA, a saber, $D_{HOT}(EOP)DP$ e $A(EOP)D(PO)$, com recirculação parcial dos filtrados, a fim de reduzir substancialmente o volume de água fresca e a geração de efluentes. Neste trabalho, o branqueamento com recirculação parcial dos filtrados foi simulado em laboratório, objetivando caracterizar a mistura destes filtrados, avaliar sua biodegradabilidade, determinar os parâmetros cinéticos do crescimento biológico do sistema de lodos ativados para o devido efluente e verificar a eficiência da Estação de Tratamento Biológico para o novo efluente. O trabalho objetivou também estudar a melhor forma de operação dos reatores para o tratamento deste efluente, ou seja, manter a estação operando em paralelo ou modificar para operação em série. Para fins de comparação, estudou-se também o efluente atual do branqueamento da linha 2 da CENIBRA, cuja seqüência é $D(EOP)DD$.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Coleta e preservação dos filtrados

Os filtrados das duas seqüências de branqueamento, $D_{HOT}(EOP)DP$ e $A(EOP)D(PO)$, com recirculação parcial dos filtrados simulado no laboratório, foram misturados e representou-se como efluente novo. Foi coletado também, o efluente de branqueamento atual da CENIBRA, e os efluentes foram mantidos refrigerados e sob condições de preservação de acordo com GREENBERG et al., 1998 para posterior análise e tratamento.

4.2. Caracterização dos filtrados

Para a caracterização físico-química dos efluentes, foram feitas as análises de pH, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), cor e halogênios orgânicos adsorvíveis (AOX).

4.3. Tratabilidade dos filtrados

O tratamento biológico laboratorial proposto foi um sistema onde se tentou simular o processo de lodos ativados existente na Celulose Nipo-Brasileira (CENIBRA). Pelo fato de não se conseguir gerar um grande volume dos filtrados no laboratório, optou-se por estudar o processo de tratamento com alimentação intermitente, ou seja, em batelada.

No reator batelada seqüencial (RBS), a biomassa encontra-se em suspensão, tal como ocorre no processo de lodos ativados. No entanto, todas as etapas do processo ocorrem em um único tanque, quais sejam, decantação primária, oxidação biológica e decantação secundária, onde reação e separação tomam lugar em diferentes tempos. Isto é conseguido através de ciclos de operação com durações definidas. Desse modo, o RBS pode ser encarado como processo periódico, isto é, as condições do meio variam com o tempo (CYBIS, 1995).

Admitindo uma relação significativa no volume de efluente gerado a partir da reutilização parcial dos filtrados, e considerando que a Estação de Tratamento Biológico da empresa acima citada possui atualmente duas plantas de lodos ativados operando em paralelo, foi proposto que esta pudesse passar a operar em série, e ainda, manter o tempo de retenção hidráulico compatível com o sistema convencional dos lodos ativados.

A Figura 1 representa esquematicamente o sistema de tratamento laboratorial. O inóculo utilizado foi o lodo aeróbio da estação de tratamento de efluentes da indústria.

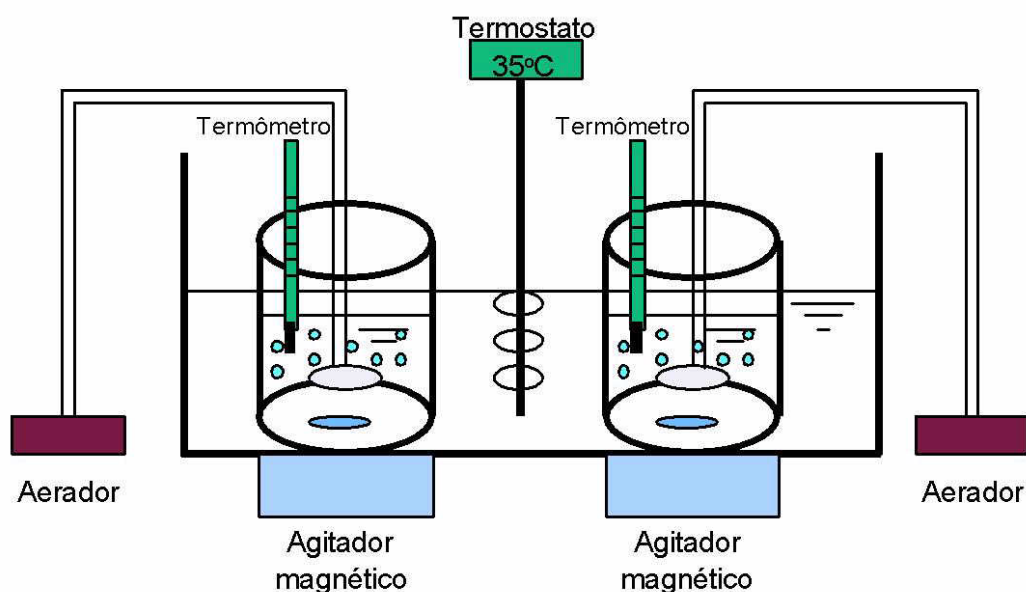


Figura 1 – Representação Esquemática do Sistema de Tratamento Laboratorial

Antes de iniciar o tratamento, foi necessário aclimatar o lodo com o objetivo de garantir a adaptação dos microrganismos ao efluente.

Após a aclimação do inóculo, iniciou-se o tratamento dos efluentes. Em dois béquers de 2000 mL, adicionou-se 200 mL de lodo ativado e 800 mL do efluente, sendo que no primeiro béquer (SISTEMA A), adicionou-se efluente bruto e, no segundo (SISTEMA B), adicionou-se o efluente tratado proveniente do SISTEMA A. A mistura era mantida sob agitação e aeração por 9 horas. Deixou-se decantar por 3 horas e fez-se a coleta de 800 mL do sobrenadante, onde foram feitas as análises de pH, DQO, DBO₅, cor, e AOX. Adicionou-se outra alíquota de 800 mL do efluente e reiniciou-se novo ciclo.

Os tratamentos foram realizados a uma temperatura constante de 35°C. Foi feito o controle do pH, sendo sempre ajustado até a neutralidade utilizando-se solução de H₂SO₄, 4N. Foi feito o controle de oxigênio dissolvido, para garantir uma concentração de pelo menos 2mg/L de oxigênio dissolvido no sistema. Foi feito também controle da biomassa existente no sistema através da análise de sólidos suspensos voláteis (SSV), a fim de garantir que a quantidade de biomassa fosse suficiente para degradar a carga de matéria orgânica adicionada. Como fonte de nutrientes, foram adicionados nitrogênio e fósforo, obedecendo a proporção de DBO:N:P igual a 100:5:1. Análise da taxa de utilização de oxigênio (TUO), a fim de verificar a atividade microbiana nos reatores, foi também executada.

4.4. Cinética do crescimento microbiológico

O conhecimento da cinética de utilização de substrato e o crescimento microbiano de determinado efluente é importante para a verificação da capacidade dos microrganismos de metabolizar a matéria orgânica do mesmo, ou seja, determinar a tratabilidade do efluente. Para o estudo da cinética do efluente novo, utilizou-se dois béquers de 1000 mL (ENSAIOS 1 e 2). No ENSAIO 1 adicionou-se ao béquer 100 mL do lodo biológico do SISTEMA A e 800 mL de efluente; e no ENSAIO 2 adicionou-se 250 mL do lodo biológico do SISTEMA A e 800 mL de efluente. A principal razão de se realizar dois ensaios distintos foi o de se obter concentrações de biomassa suficientemente elevadas para degradar a matéria orgânica, mas que fossem baixas o suficiente para se poder quantificar os valores de crescimento da biomassa. As condições de temperatura, pH, OD, adição de fósforo e nitrogênio foram controladas da mesma forma que no tratamento descrito anteriormente.

Foram feitas coletas de 10 mL da mistura a cada hora até completar 36 horas. Foram feitas análises de DQO e SSV dessas amostras a fim de verificar a taxa de crescimento, a atividade e a morte dos microrganismos. Foram realizadas análises da taxa de utilização de oxigênio (TUO) a cada hora, até completar 9 horas, e calculada a taxa específica de utilização de oxigênio (TEUO). Esta taxa indica a atividade microbiana e é proporcional à taxa de utilização do substrato. O estudo da cinética foi realizado durante o 24º ciclo, após confirmação de que a biomassa se encontrava totalmente aclimatada ao efluente.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização dos efluentes

Os resultados dos principais parâmetros físico-químicos do efluente novo e do efluente de branqueamento atual da CENIBRA, encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1 - Caracterização físico-química dos efluentes

EFLUENTES	pH	DQO (mg.L ⁻¹)	DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	Cor (mg.Pt L ⁻¹)	AOX (mg.Cl ⁻¹ L ⁻¹)	Vazão (m ³ .t.sa ⁻¹)
NOVO	7	877	583	520	6,8	12,67
CENIBRA (Linha 2)	6,3	921	542	-	6,5	15,5

O efluente novo apresentou um pH neutro não necessitando de um ajuste do pH antes de ser encaminhado à Estação de Tratamento de Efluentes. O pH do efluente CENIBRA necessita de um prévio ajuste antes de ser lançado na Estação de Tratamento de Efluentes.

A relação DBO₅/DQO para o efluente novo (0,66) foi maior que para o efluente atual da CENIBRA (0,59), ou seja, o efluente que foi gerado oferece uma maior biodegradabilidade. O uso de uma sistema de tratamento biológico é ideal para esses tipos de efluentes.

O valor de cor encontrado para o efluente novo foi muito maior que o encontrado para o valor encontrado para o efluente CENIBRA.

Os valores de AOX de 6,8 mg L⁻¹ e de 6,5 mg L⁻¹, equivalem a uma carga específica de 0,085 kg. tsa⁻¹ e 0,1 kg. tsa⁻¹ para o efluente novo e efluente atual CENIBRA, respectivamente. Estes valores encontram-se bem abaixo dos valores sugeridos pela legislação (Cluster rules) da agência ambiental norte-americana USEPA, que preconiza um valor máximo diária de AOX de 0,951 kg/tsa e média mensal de 0,623 kg/tsa para efluentes finais tratados em plantas existentes (HYNNINEN, 1998). Assim, verifica-se que este parâmetro, mesmo antes do tratamento, já se enquadraria nos limites preconizados pela legislação norte-americana.

O volume de efluente gerado utilizando a recirculação parcial dos filtrados das seqüências estudadas, será pelo menos 50% inferior ao que é produzido atualmente.

A nova vazão de efluentes, com o fechamento parcial do circuito, é menor quando comparada com a vazão de efluentes proveniente apenas da linha 2 de branqueamento da CENIBRA.

5.2. Tratabilidade dos filtrados

O Quadro 2 apresenta os valores médios de remoção de DQO, DBO₅, cor e AOX no sistema A para os dois efluentes.

Quadro 2 - Resultado da eficiência do tratamento para o SISTEMA A

Parâmetro	DQO (kg.t ⁻¹)		DBO ₅ (kg.t ⁻¹)		Cor (kg.t ⁻¹)		AOX (kg.t ⁻¹)	
	NOVO	CENIBRA	NOVO	CENIBRA	NOVO	CENIBRA	NOVO	CENIBRA
Antes do tratamento	11	14	7,4	8,4	6,6	-	0,085	0,1
Após tratamento	3,5	3,2	0,3	0,2	5,8	-	0,045	0,05
Remoção (%)	69	78	96	97	12	--	49	52

Foi obtida uma remoção média de 69% da DQO para o efluente novo e 78% para o efluente CENIBRA. O sistema alcançou uma eficiência média de 96% na remoção da DBO₅ para o efluente novo e 97% para o efluente CENIBRA. De acordo com THOMPSON (2001), estes valores encontram-se dentro do que é normalmente obtido. Como esperado, a remoção da cor do efluente novo foi baixa e para o efluente CENIBRA tratado encontrou-se um valor de cor maior do que o não tratado. Uma vez que os compostos responsáveis pela cor não são biodegradáveis, os processos biológicos não são eficazes na remoção da cor de efluentes de fábricas de celulose kraft. Porém, alguns tratamentos biológicos podem reduzir cor em até 30%, enquanto outros produzem compostos que favorecem o aumento da cor no efluente (SPRINGER, 1993).

Foi alcançada remoção média de 49% nas concentrações de AOX para o efluente novo e de 52% para o efluente CENIBRA. SPRINGER (1993), cita que o grau de eficiência para remoção de compostos organoclorados em sistemas de tratamento secundário pode ser entre 50 a 100%. No entanto, os valores foram compatíveis com os valores reportados na literatura.

O Quadro 3 mostra que não houve remoção na DQO durante o tratamento no SISTEMA B, para ambos os efluentes. A porção da DQO biodegradável foi removida quase que em toda a sua totalidade no SISTEMA A.

Observou-se uma queda gradativa na concentração do lodo biológico no reator do SISTEMA B devido à falta de alimento. Este sistema operou basicamente na fase endógena de crescimento, ou seja, na auto-oxidação dos microrganismos.

Quadro 3 - Resultado da eficiência do tratamento para o SISTEMA B

Parâmetro	DQO (kg.t ⁻¹)	
	NOVO	CENIBRA
Antes do Tratamento	7	3
Após Tratamento	8	3

5.3. Cinética do crescimento microbiológico

Os resultados de DQO e SSV dos ENSAIOS 1 e 2 são mostrados nas Figuras 2 e 3, respectivamente. Conforme esperado, em ambos os ensaios houve tendência de diminuição da DQO com o tempo até certo limite, em que a DQO tornou-se constante. À medida em que a se DQO reduziu, os sólidos aumentaram, especialmente nas primeiras horas, quando havia excesso de substrato. Após o consumo da matéria orgânica mais facilmente biodegradável, que ocorreu aproximadamente após 9 horas de reação, houve uma pequena queda na concentração da biomassa em ambos os ensaios.

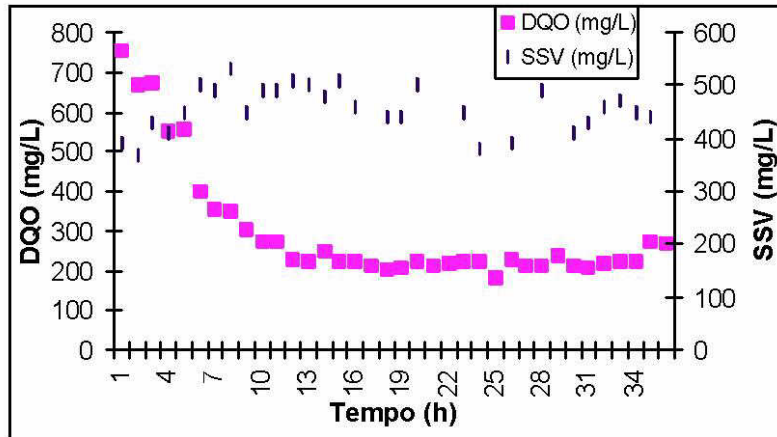


Figura 2 - Remoção da DQO (mg/L) e aumento da biomassa durante o ENSAIO 1

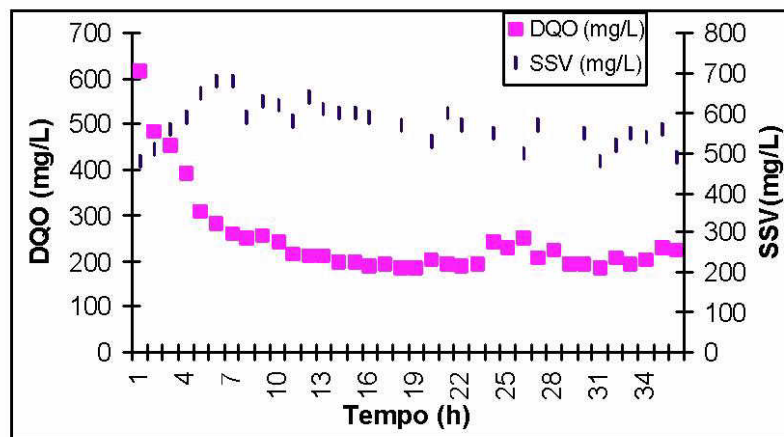


Figura 3 - Remoção da DQO (mg/L) e aumento da biomassa durante o ENSAIO 2

Considerando que a taxa de crescimento máxima tenha ocorrido nas 6 primeiras horas para os ensaios 1 e 2, e que neste período não houve limitação de substrato, a taxa de crescimento bruto pode ser calculada conforme a Equação 1.

$$dX/dt = \mu_{m\acute{a}x} X \quad (1)$$

onde:

$\mu_{m\acute{a}x}$ = taxa de crescimento específico máxima (d^{-1})

X = concentração da biomassa, SSV (mg/L)

t = tempo (d)

Substituindo os valores de dX/dt e X encontrados nos experimentos dos ensaios 1 e 2, tem-se os seguintes valores da taxa de crescimento específico máxima.

ENSAIO 1	$\mu_{m\acute{a}x} = 1,04 d^{-1}$
ENSAIO 2	$\mu_{m\acute{a}x} = 1,38 d^{-1}$

Para sistemas aeróbios de tratamento de esgotos domésticos, os valores de $\mu_{m\acute{a}x}$ encontram-se na faixa de 1,2 a 6 d^{-1} (Von Sperling, 1997). Verifica-se, desta forma, que os valores da taxa de

crescimento específica máxima alcançada nos ensaios laboratoriais para o efluente novo, ficaram em faixa inferior para tratamentos biológicos aeróbios.

O coeficiente de produção celular pode ser determinado conforme a Equação 2.

$$dX/dt = Y(dS/dt) \quad (2)$$

onde:

X = concentração da biomassa, SSV (mg/L)

Y = coeficiente de produção celular (mg SSV/mg DQO)

S = substrato, DQO (mg/L)

t = tempo (d)

Assim, elaborando os gráficos X versus S, ou seja, SSV versus DQO, têm-se a inclinação da reta que é igual ao valor do coeficiente de produção celular. As Figuras 4 e 5 apresentam os gráficos X versus S para os ENSAIOS 1 e 2, respectivamente.

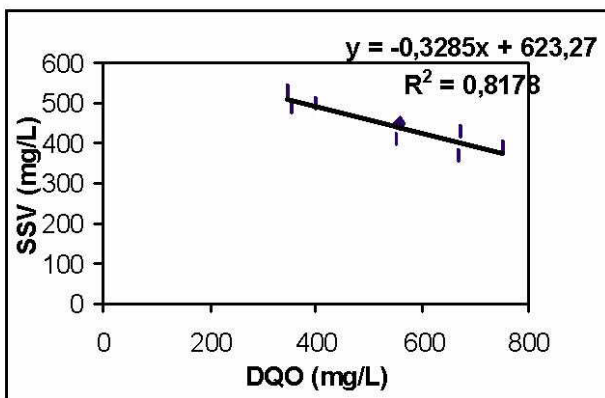


Figura 4- Determinação do coeficiente de produção celular - ENSAIO 1

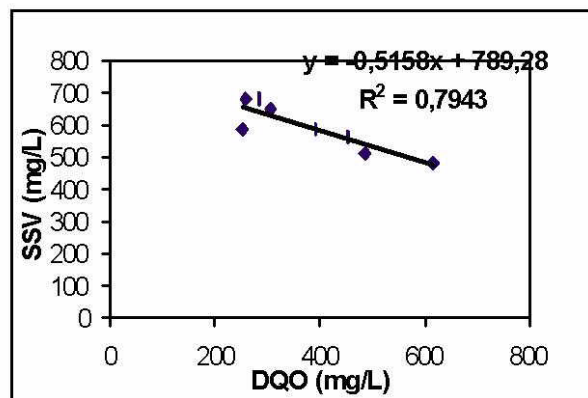


Figura 5- Determinação do coeficiente de produção celular - ENSAIO 2

Os valores do coeficiente de produção celular Y foram:

ENSAIO 1 Y = 0,33 mg SSV/mg DQO
 ENSAIO 2 Y = 0,52 mg SSV/mg DQO

Estes valores estão compatíveis com os valores citados por Von Sperling (1997) que, para esgotos domésticos, variam de 0,3 a 0,7 mg SSV/mg DQO removida a 20°C. SPRINGER (1993) cita o valor de Y para fábricas de celulose kraft integradas de 0,4 mg SSV/mg DQO a 20°C.

O maior valor de Y encontrado no ENSAIO 2 pode ser explicado pelo fato de que houve maior taxa de crescimento específico neste ensaio em relação ao ENSAIO 1.

A taxa de decaimento bacteriano, ou seja, a taxa em que as bactérias se auto-oxidam, pode ser expressa como uma reação de primeira ordem, conforme apresentada na Equação 3.

$$dX/dt = -k_d \cdot X \quad (3)$$

onde:

X = concentração da biomassa, SSV (mg/L)

k_d = coeficiente de respiração endógena (d^{-1})

t = tempo (d)

O coeficiente de respiração endógena k_d pode ser estimado a partir do momento em que toda a matéria orgânica biodegradável tenha sido consumida e prevalece a respiração endógena. A Figura 6 apresenta os valores de SSV versus tempo, após o período em que a DQO se tornou constante. Observa-se que, conforme esperado, houve tendência de redução na concentração de biomassa. Os valores estimados de k_d foram:

ENSAIO 1	$k_d = 0,157 \text{ d}^{-1}$
ENSAIO 2	$k_d = 0,154 \text{ d}^{-1}$

Os valores de k_d para esgotos domésticos no tratamento aeróbio a 20°C está compreendido entre 0,05 a 0,12 d^{-1} (Von Sperling, 1997). SPRINGER, 1993 apresentou um coeficiente de 0,12 d^{-1} para efluentes de plantas de celulose kraft integradas. Este fato mostra que a taxa de decaimento bacteriano neste estudo foi superior ao reportado na literatura.

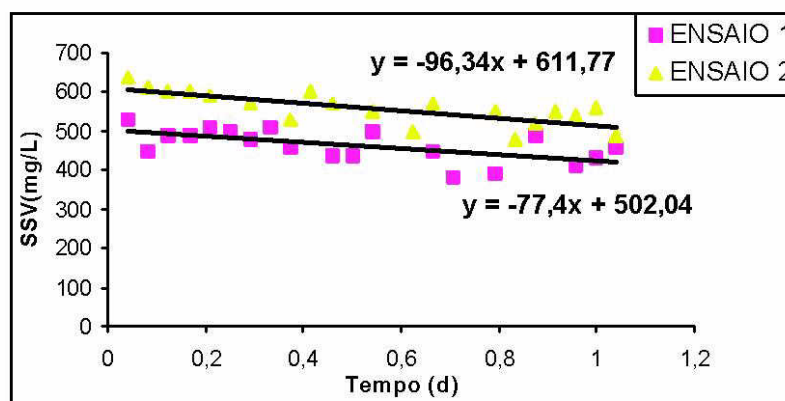


Figura 6 – Decaimento da biomassa durante o período de escassez de substrato

6. CONCLUSÕES

Os níveis de concentração da matéria orgânica indicados pela demanda química de oxigênio (DQO), no efluente gerado da recirculação parcial dos filtrados do branqueamento que segue para a estação de tratamento de efluentes, encontrou-se um pouco inferior ao efluente atual do branqueamento da CENIBRA estudado. A relação DBO/DQO dos efluentes, são bastante alta, apresentando os valores de 0,66 e 0,59, efluente novo e efluentes CENIBRA, respectivamente.

A tratabilidade do efluente através de um processo biológico por lodos ativados por batelada foi suficiente para remover aproximadamente 96% da DBO₅, 70% da DQO e 50% dos AOX para o efluente gerado da recirculação parcial dos filtrados do branqueamento, sendo os níveis de AOX deste antes do tratamento biológico bastante reduzidos. A tratabilidade para o efluente CENIBRA foi próximo ao encontrado para o efluente novo, portanto não causaria mudanças na planta de tratamento de efluentes da empresa. Um segundo reator em série para tratar o efluente não alcançou remoção adicional na DQO.

Os principais parâmetros da cinética de crescimento biológico foram determinados para o efluente e encontram-se na faixa usual para efluentes de fábricas de celulose kraft.

A atual planta de tratamento de efluentes da CENIBRA terá capacidade suficiente para tratar eficientemente o efluente futuro. A planta deverá ser operada em paralelo, visto que não foi obtido sucesso na operação em série, devido a toda matéria orgânica biodegradável ter sido eliminada já no primeiro tratamento.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pela bolsa de estudos concedida à Luciana Cerqueira Souza e a Celulose Nipo-Brasileira - CENIBRA.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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 (RBS). 18º Congresso Brasileiro de Eng. Sanitária e Ambiental, Setembro, 1995, Salvador, Bahia.
- GREENBERG, A.E., et al., Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater,

- 20th Edition, Washington, USA, 1998.
- HYNNINEN, P. Papermaking Science and Technology: Environmental Control. nº 19, Papet Oy, Finland, 1998.
- METCALF e EDDY, Inc., "Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse 3^d ed., McGraw-Hill, New York, 1991.
- NOLASCO, M.A., Tratamento biológico de efluentes da indústria de celulose e papel por aeração estendida modificada. *In*: 30^o Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, São Paulo, 1997.
- PESSOA, C.A. & JORDÃO, E.P. Tratamento de esgotos domésticos, Vol.1 - ABES, Rio de Janeiro, 1982
- RIBEIRO, V.M. et al. Fechamento do circuito de águas do processo de fabricação de papel. O papel nº10, 2000. 79-85.
- SAUNAMÄKI, R. Experimental study on the control of nutrients in activated sludge treatment. *Wat. Sci. Tech.* Vol 29 (5-6), 329-342, 1994.
- SILVA, C.M. Caracterização e controle setorial dos efluentes líquidos de fábricas de celulose e papel. Apostila da disciplina controle ambiental na indústria de celulose e papel, 1999.
- SILVA, C.M. Princípios básicos de tratamento de efluentes líquidos. Apostila da disciplina controle ambiental na indústria de celulose e papel, 1999.
- SPRINGER, A.M., et al. Uma revisão sobre aspectos ambientais relacionados aos efluentes líquidos das indústrias de celulose e papel. O papel nº09, 2000. 70-76.
- SPRINGER, A.M., "Industrial Environmental Control – Pulp and Paper Industry", TAPPI Press, Second Edition, 1993.
- THOMPSON, G. et al. The treatment of pulp and paper mill effluent: a review. *Bioresource Technology* 77, 275-286, 2001.
- Von SPERLING, M. 1996. "Princípios de Tratamento Biológico de Águas Residuárias". Vol. 2.: Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, DESA, UFMG.
- Von SPERLING, M. 1997. "Princípios de Tratamento Biológico de Águas Residuárias". Vol. 4.: Lodos Ativados, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, DESA, UFMG.