

25º. Encontro Técnico AESABESP

CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS DA FORMAÇÃO DO *BULKING* VISCOSO EM LODO BIOLÓGICO DE UMA ETE DE FÁBRICA DE CELULOSE

Joselaine Broetto Lombardi ⁽¹⁾

Gerente de projetos na APLYSIA Soluções Ambientais.

Analine Silva de Souza Gomes

Técnica em Laboratório de ETE na APLYSIA Soluções Ambientais.

Tatiana Heid Furley

Diretora da Sociedade Brasileira de Ecotoxicologia e Diretora técnica na APLYSIA Soluções Ambientais.

Vander José Duque Saldanha

Coordenador Produtos Químicos, Água e Efluentes na Celulose Nipo-Brasileira S.A. – CENIBRA

Divino Fernandes do Amaral

Facilitador na Celulose Nipo-Brasileira S.A. – CENIBRA.

Felipe Cristelli

Engenheiro de processo na Celulose Nipo-Brasileira S.A. – CENIBRA.

Breno Alexandrino

Engenheiro de processo na Celulose Nipo-Brasileira S.A. – CENIBRA.

Endereço ⁽¹⁾: Rua Julia Lacourt Penna,335 – Jardim Camburi – Vitória – ES – CEP: 29090-210 – Brasil – Tel: +55 (27) 3337-4877 – e-mail: joselaine@aplysia.com.br

RESUMO

Entre os problemas ocorridos em uma Estação de Tratamento de Efluentes, o mais comum é a perda de sólidos no efluente tratado. A presença destes sólidos neste efluente pode estar relacionada à formação do bulking viscoso, onde ocorre uma produção excessiva de polímeros extracelulares pelas células bacterianas, provocando redução na sua velocidade de decantação e compactação.

Durante o acompanhamento microbiológico da estação de tratamento de efluentes da fábrica de celulose Cenibra Celulose Nipo Brasileira, o excesso de polímeros extracelulares foi identificado através da análise microscópica do lodo biológico com a tinta nanquim. Em função da presença desse material extracelular, houve aumento na concentração de sólidos suspensos totais e sólidos sedimentáveis no efluente tratado. Ocorrências de bulking viscoso foram identificadas entre os meses de maio, junho e julho/2013, período em que a concentração de oxigênio dissolvido nos tanques de aeração manteve-se elevada e o residual de nutrientes no tratado estava baixo. Em meados de julho/2013, quando ocorreu o melhor controle na aeração e redução da concentração de oxigênio, já foi possível observar a redução significativa do material extracelular e ausência de bulking. Nesse período, melhores resultados também foram observados para a concentração de nutrientes no efluente tratado da ETE.

PALAVRAS-CHAVE: *bulking* viscoso, tratamento biológico, análise microscópica.

INTRODUÇÃO

O sistema tratamento de efluentes pelo método de lodos ativados consiste em uma complexa associação de microrganismos composta por bactérias, protozoários e micrometazoários que oxidam os compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos efluentes (BENTO *et. al.*, 2005). Tal comunidade constituída nesse sistema é dinâmica e fundamental ao tratamento, de modo que cada espécie tem sua importância para o bom funcionamento do sistema (AMMAN; GLOCKNER; NEEF, 1997). A estrutura dessa comunidade apresenta forte relação com as condições operacionais e com a qualidade e quantidade de efluente que alimenta o processo (VAZOLLÉR *et. al.*, 1989), de modo que a avaliação microbiológica do lodo é capaz de fornecer informações sobre o desempenho da ETE.

Nas estações de tratamento biológico por lodos ativados ocorrem alguns problemas que podem comprometer a qualidade do efluente tratado. Entre os problemas, o maior e mais comum é a perda de sólidos no efluente tratado devido a uma separação insuficiente entre o líquido e a biomassa do lodo ativado durante a decantação, condição que pode ser influenciada também pelo *bulking* viscoso. Este fenômeno, também conhecido como *bulking* não filamentososo, se caracteriza por uma produção excessiva de polímeros extracelulares, normalmente associados ao crescimento de bactérias floculantes (VASCO *et al.*, 2009).

A produção excessiva do polímero extracelular pode conceder uma consistência gelatinosa ao floco biológico, ocasionando uma redução da velocidade de sedimentação e da compactação dos flocos, além de flotação de lodo nos decantadores secundários. A presença em quantidade elevada do polímero extracelular pode ser identificada pela avaliação microbiológica, com o auxílio da tinta nanquim (JENKINS *et al.*, 2003).

O controle microscópico do lodo é uma ferramenta útil e rápida para se conhecer o estado de um reator biológico e constitui um elemento base de operação, não só porque permite diagnosticar as patologias habituais do processo, mas também porque permite prever de forma antecipada o seu aparecimento, bem como ajuda na determinação da concentração ideal de oxigênio, nutrientes e descarte do lodo, evitando na maioria dos casos desperdícios (FURLEY *et al.*, 2001).

Enfim, o processo de lodos ativados é muito dinâmico e a relação entre microfauna e condições operacionais da ETE em conjunto indica a eficiência do tratamento do efluente, sendo que ambos devem ser determinados e analisados em conjunto, não isoladamente (CUTOLO; ROCHA, 2000) para identificação e correção do problema.

OBJETIVO

Este trabalho teve por objetivo a identificação de causas de ocorrências de *bulking* viscoso em sistemas de tratamento biológico, no intuito de evitar perda de performance do tratamento biológico, assim como a alteração da qualidade do efluente tratado.

MATERIAIS E MÉTODOS

O tratamento de efluentes da CENIBRA Celulose Nipo Brasileira é realizado pelo sistema de lodos ativados, sendo duas linhas independentes, com um tanque de aeração em cada (tanques de aeração 1 e 2), gerando efluentes tratados distintos (tratados 1 e 2). A CENIBRA utiliza o controle microbiológico do lodo das duas linhas para monitorar a saúde e o desenvolvimento da microbiota responsável pelo tratamento biológico do seu efluente.

O controle microbiológico foi realizado através da caracterização microbiológica de setenta e duas amostras de lodo biológico, coletadas na entrada (Ponto 1) e na saída (Ponto 4) dos tanques de aeração 1 e 2 da ETE da CENIBRA durante o período de Março a Julho de 2013.

Estas análises foram feitas em amostras frescas usando microscópio Leica com contraste de fase através das objetivas de 10 e 40 vezes e ocular de 10 vezes de aumento no laboratório da APLYSIA em Vitória-ES. Para este estudo, a avaliação microscópica baseou-se na análise da morfologia e tamanho dos flocos bacterianos e outras características, como a presença de material extracelular e de bactérias tétrades.

Realizou-se o teste nanquim das amostras do lodo para identificar o excesso de material extracelular nos flocos. Neste teste, a tinta nanquim é adicionada à lâmina contendo amostra de lodo biológico e tal método revela presença de áreas do floco biológico impenetráveis ou não pela tinta. Na ocorrência do material extracelular ao entorno e no interior floco, a tinta é impenetrável.

As imagens microscópicas do lodo biológico foram registradas através de máquina digital NIKON e trabalhadas utilizando o programa de imagens LEICA QWIN.

Concomitantemente ao controle microbiológico, foi realizada a avaliação físico-química do efluente tratado, quanto aos parâmetros sólidos suspensos totais (SST), sólidos sedimentáveis (SS), nitrogênio amoniacal, fósforo solúvel e um acompanhamento da concentração de oxigênio dissolvido medidos na entrada e saída dos dois tanques de aeração. Adicionalmente, foi feito também uma avaliação da consistência do lodo nos espessadores e das condições operacionais da ETE neste período.

RESULTADOS

Aspectos microbiológicos: Morfologia dos flocos biológicos e arraste de sólidos

Durante o monitoramento microbiológico da ETE da CENIBRA, as análises evidenciaram a presença de polímeros extracelulares nas amostras de lodo biológico coletadas no período de Março a Julho de 2013. O polissacarídeo extracelular produzido pelas bactérias presentes no sistema de lodos ativados é, em parte, responsável pela formação do floco biológico (RICHARD, 2003), pois permite a adesão entre as células bacterianas.

Nos meses de Maio e Junho/2013, no entanto, foi registrado um aumento significativo desse polímero nos flocos bacterianos nos dois tanques de aeração. Na figura 1, registrada no mês de Março, pouca quantidade de material extracelular foi observada nos flocos biológicos, já na Figura 2, registrada em Maio, é possível identificar o aumento do polímero em torno e no interior dos flocos bacterianos. O excesso do polissacarídeo extracelular foi identificado através do Teste nanquim, quando em quantidade elevada, esse polímero torna a área entorno e interna dos flocos impenetráveis à tinta nanquim (Figuras 3 e 4), fenômeno esse denominado como *bulking* viscoso (JENKINS *et al.*, 2003).

Figura 1 e 2. Flocos biológicos observados ao longo deste estudo, com baixa quantidade (1) e excesso (2) do polímero extracelular.

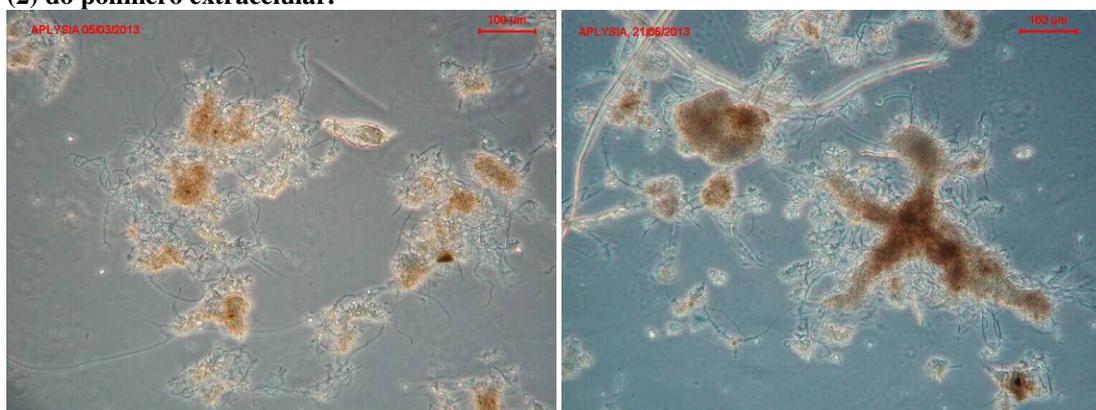
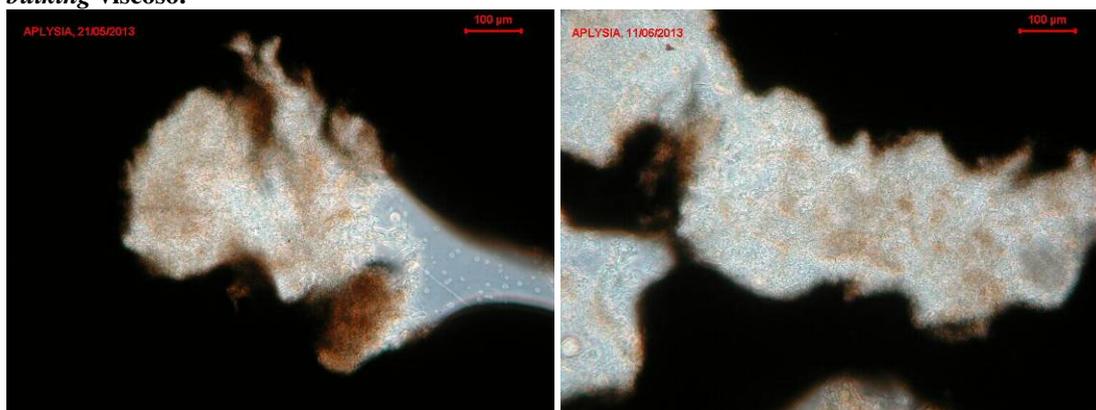


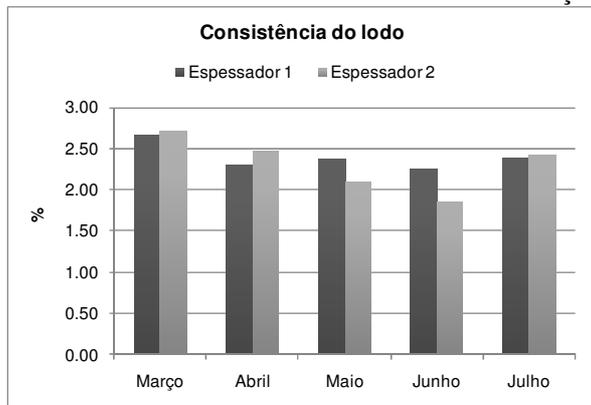
Figura 3 e 4. Teste nanquim em amostras de lodo biológico de ETE de fábrica de celulose: (1) Amostra coletada no mês de Maio/13 e (2) amostra coletada no mês de Junho/13, ambas com *bulking* viscoso.



A presença excessiva do material extracelular concede uma característica gelatinosa ao lodo biológico, prejudicando a compactação e sedimentabilidade do mesmo, como citado por outros autores (JENKINS *et al.*, 2003; ENVIRONMENTAL LEVERAGE, 2010). ABREU (2004) cita que o *bulking* viscoso está associado a uma produção excessiva de exopolímero bacteriano que leva à formação de colônias com uma morfologia característica e com grande capacidade de retenção de água, provocando um "inchaço" no lodo, com consequentes problemas de sedimentação. Na Figura 5, nota-se que a consistência do lodo na saída dos espessadores apresentou valores menores nos meses de Maio e Junho/13, sobretudo no espessador 2,

corroborando com a retenção de água no lodo biológico. Resalta-se que para a consistência do lodo na saída dos espessadores os valores comumente registrados pela CENIBRA estão entre 3 e 4%.

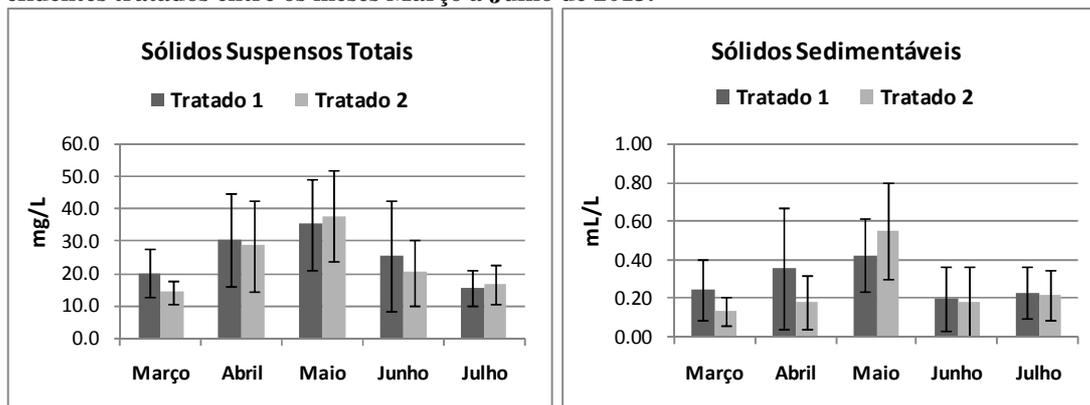
Figura 5. Média mensal e desvio padrão da consistência do lodo avaliada na saída dos espessadores 1 e 2 da ETE da CENIBRA entre os meses de Março a Julho/13.



ABREU (2004) diz ainda que os biopolímeros são agentes tensoativos naturais e um arejamento excessivo de lodo viscoso provoca a formação de espumas brancas, mas que, devido à sua capacidade em capturar biomassa, adquirem rapidamente uma cor acastanhada. Este fato causa uma perda de biomassa importante para o efluente tratado.

Um aumento de sólidos suspensos totais e sólidos sedimentáveis foi observado nos efluentes tratados, sobretudo no mês de Maio. Neste mês, os valores médios para o parâmetro sólidos suspensos totais foram de 35,4 mg/L ($\pm 14,1$) no tratado 1 e de 38,0 mg/L ($\pm 13,9$) no tratado 2. Já para sólidos sedimentáveis, as médias foram de 0,43 mL/L ($\pm 0,19$) no tratado 1 e de 0,55 mL/L ($\pm 0,25$) no tratado 2 (Figuras 6 e 7). Cabe assinalar que, para ambos os parâmetros, o tratado 2 apresentou valores mais elevados, indicando pior qualidade para este efluente, condição influenciada pela menor consistência do lodo biológico registrada nessa linha de tratamento.

Figura 6 e 7. Resultados obtidos para sólidos suspensos totais e sólidos sedimentáveis, medidos nos efluentes tratados entre os meses Março a Julho de 2013.

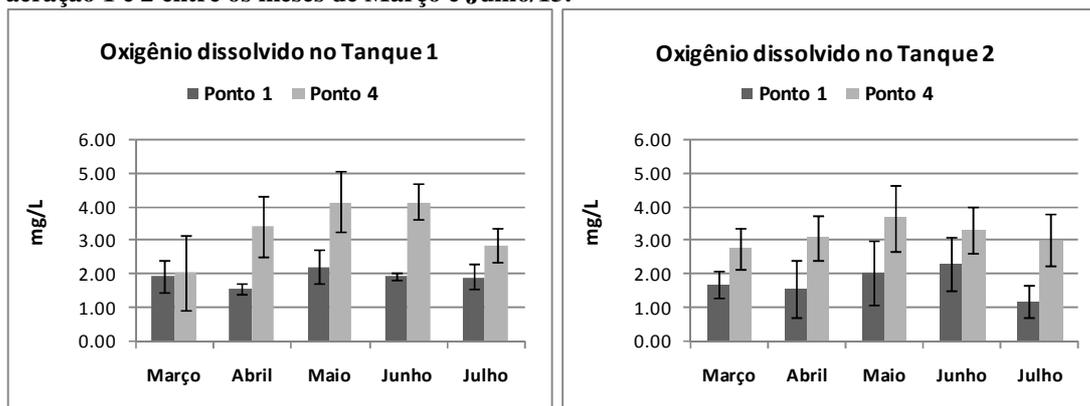


Segundo Jenkins *et al.* (2003), a produção desse material extracelular está associada com alta concentração de oxigênio dissolvido e a deficiência de nutrientes no efluente em tratamento. Para ABREU (2004) a origem mais comum de *bulking* viscoso é a deficiência de nutrientes, especificamente associada a um excesso de matéria carbonácea em relação à quantidade de nitrogênio e de fósforo. Sobre isso, Jenkins *et al.* (2003) descrevem que a concentração elevada de oxigênio dissolvido favorece o aumento do metabolismo das bactérias, ocasionando um desbalanço, isso porque as bactérias não conseguem obter os nutrientes na mesma velocidade em que a matéria orgânica é degradada, condição que afeta o desenvolvimento dos microrganismos da ETE.

Os resultados para esses parâmetros corroboram com essa assertiva, tendo em vista a elevada concentração de oxigênio dissolvido nos tanques de aeração e a baixa concentração residual de nutrientes no efluente tratado, principalmente em Maio/13. Os dados da ETE evidenciam que no mês de Abril até a primeira quinzena de Julho a concentração de oxigênio dissolvido (OD) apresentou valores elevados (superiores a 3,0 mg/L) em ambos os tanques de aeração (Figuras 8 e 9).

As concentrações médias mensais mostram que os maiores valores foram registrados nos meses de Maio e Junho/13, além disso, a taxa elevada de OD foi registrada na saída dos tanques de aeração (Ponto 4), onde a concentração de matéria orgânica é menor e, portanto, a demanda de oxigênio dissolvido também é reduzida.

Figuras 8 e 9. Média mensal e desvio padrão da concentração de oxigênio dissolvido nos Tanques de aeração 1 e 2 entre os meses de Março e Julho/13.



Ao avaliar a disponibilidade de nutrientes no tratamento biológico através do residual destes compostos nos efluentes tratados 1 e 2, foram observadas baixas concentrações destes compostos na maioria dos meses avaliados (Figuras 10 e 11). Alguns autores reforçam a importância da concentração mínima de 1,0 mg/L de residual para nitrogênio e fósforo, necessária para suprir a demanda do tratamento biológico (RICHARD, 2003; ENVIRONMENTAL LEVERAGE, 2006). Sendo assim, os resultados de nitrogênio amoniacal e fósforo total solúvel, avaliados nos efluentes tratados, evidenciam deficiência de nutrientes durante o período, uma vez que os valores estiveram abaixo do mínimo recomendado para estes parâmetros. Os valores médios mensais mostram que no mês de Junho houve maior disponibilidade desse nutriente em relação aos demais meses avaliados, mesmo assim as concentrações estiveram abaixo do mínimo recomendado, favorecendo a permanência do *bulking* também neste mês.

Oportuno assinalar que, em muitas amostras de lodo biológico entre os meses de Abril e Julho/13, foi observada a presença das bactérias tétrades (Figura 12). De acordo com Jenkins *et al.* (2003), esses organismos indicam deficiência de nutrientes, isto é, falta de nitrogênio ou de fósforo ou dos dois nutrientes, corroborando com a baixa concentração residual de nutrientes registrada no período estudado.

Nos meses de Junho e Julho/13, com aumento de nutrientes residual nos efluentes tratados e melhor controle na oxigenação dos tanques, de modo a manter as concentrações de oxigênio dissolvido entre 2 e 3 mg/L, já foi possível observar uma redução do material extracelular nos flocos biológicos. No mês de Julho, a condição de *bulking* viscoso era inexistente, com o polímero extracelular encontrado apenas em baixa quantidade nas amostras do lodo da ETE da CENIBRA (Figura 13). Nestes meses também foram obtidos melhores resultados para sólidos sedimentáveis e sólidos suspensos totais nos efluentes tratados da ETE.

Figuras 10 e 11. Média mensal e desvio padrão da concentração de oxigênio dissolvido nos Tanques de aeração 1 e 2 entre os meses de Março e Julho/13.

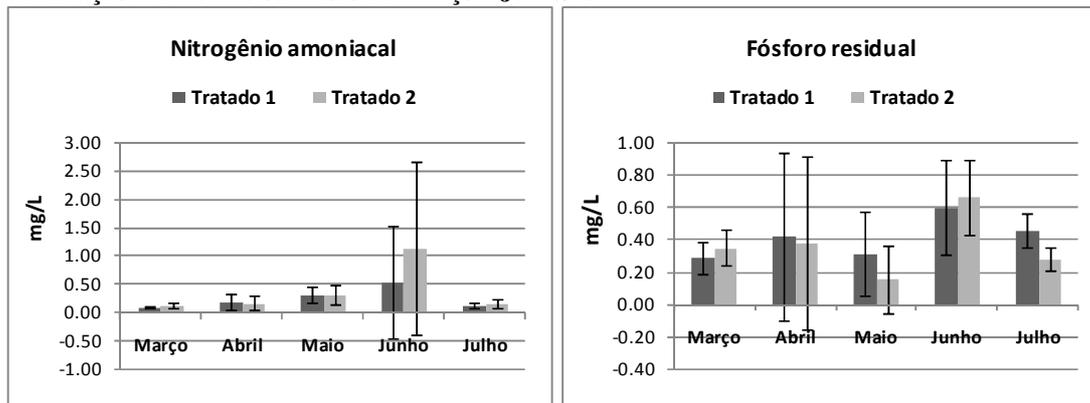
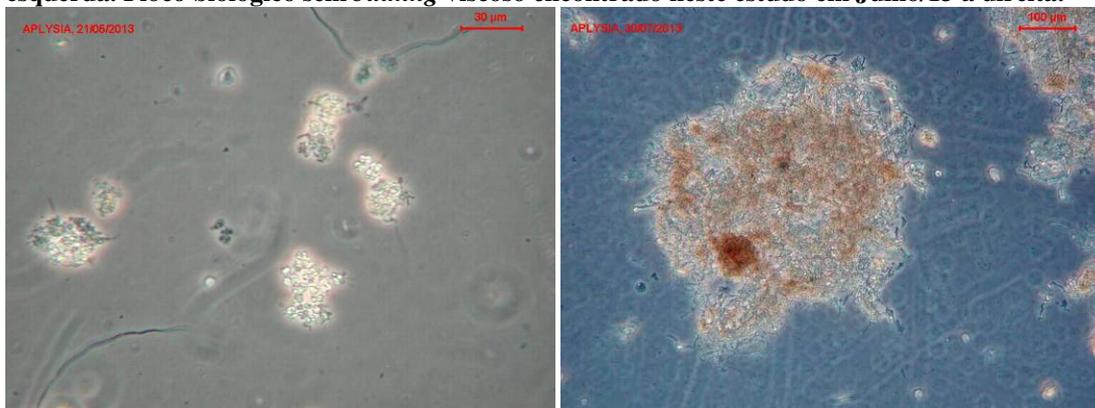


Figura 12 e 13. Bactérias Tétrades encontradas no Tanque de aeração 1 no mês de Maio/13 à esquerda. Floco biológico sem *bulking* viscoso encontrado neste estudo em Julho/13 à direita.



Aspectos operacionais: Flotação do lodo nos decantadores secundários

No final do mês de Junho/13, os decantadores secundários da linha de tratamento 2 apresentaram ocorrência de flotação contínua de lodo. Este cenário foi influenciado pela baixa eficiência da recirculação de lodo para o Tanque de Aeração 02 devido aos constantes entupimentos das válvulas telescópicas associado ao *bulking* viscoso identificado neste período. Em casos severos de *bulking* pode ocorrer formação de uma manta de lodo no decantador secundário e de espuma viscosa com baixa condição de deságue (JENKINS *et al.*, 2003).

A intensa flotação de lodo tomou rapidamente ambos os decantadores da linha de tratamento 2, formando uma espessa camada em sua superfície, como pode ser visto na Figura 14. Nas válvulas telescópicas observou-se grande recirculação de efluente com baixa presença de lodo.

Diversas ações foram tomadas no intuito de combater a flotação do lodo. Primeiramente atenção especial foi dada ao ajuste das válvulas telescópicas, reduzindo a vazão das mesmas que estavam extraindo pouco lodo e muito efluente, mas também atentando para que nenhuma viesse a entupir. Além disso, a extração de lodo para as prensas foi ajustada de modo a evitar o descarte do pouco lodo ativo que havia no sistema, e também todos os demais parâmetros operacionais da estação, como temperatura e pH, foram rigidamente controlados a fim de evitar maiores impactos na biota.

Adicionalmente às medidas tomadas acima, também houve coleta contínua deste lodo flotado através dos coletores, recirculando o mesmo no sistema. Esta coleta era realizada manualmente com um rastelo, conforme pode ser visto na Figura 15, e contou com a ajuda de um caminhão pipa e um caminhão dos bombeiros, o que demandava mão de obra extra e gerava grande desgaste desta. Outra importante medida tomada foi a parada de um aerador fixo no tanque de aeração e a operação de um aerador flutuante próximo (com tampão), de modo a evitar a entrada de oxigênio, funcionando apenas como homogeneizador do lodo biológico. Os demais aeradores flutuantes foram mantidos desligados.

Quinze dias depois, diante da persistência da flotação do lodo, optou-se por isolar um dos decantadores, drenando o mesmo para realização de inspeção em busca de vazamentos ou avarias. Assim a vazão de efluente enviado às áreas da ETE foi alterada de modo a balancear e evitar sobrecargas em algum dos tanques de aeração. Durante a inspeção realizada no decantador isolado, foi encontrado um buraco na caixa de lodo coletado, fato este que pode ter contribuído de maneira significativa para a situação vivenciada na área, uma vez que ele permitia o contato direto do efluente alimentado no decantador com o que era recirculado.

Além disso, na inspeção foi verificada se a distância entre as rasps do decantador e seu piso estava de acordo com o especificado no projeto, uma vez que se houver uma desregulagem neste parâmetro pode-se gerar uma zona morta que acumulará lodo e assim causar o intumescimento do mesmo com consequente flotação.

Assim, com as medidas tomadas, a ocorrência de flotação foi contornada e a estabilidade operacional da ETE foi reestabelecida.

Figuras 14 e 15. Flotação de lodo observada na superfície dos decantadores da linha de tratamento 2 e coleta manual do lodo flotado.



Ademais, cabe assinalar que foi desenvolvido um sistema denominado quebra-floco pela CENIBRA, equipamento que é acoplado à ponte do decantador secundário quando ocorre a flotação, provocando a quebra do lodo flotado, facilitando assim a sua remoção da superfície e permitindo que ele retorne para o processo de tratamento de efluentes (Figura 16). Outra melhora significativa gerada pelo equipamento é que seu uso dispensa a necessidade da coleta manual do lodo, reduzindo a demanda de mão de obra e o desgaste da mesma.

Figura 16. Sistema quebra-floco acoplado ao decantador secundário da ETE da CENIBRA.



CONCLUSÃO

A avaliação microscópica apresentou-se muito útil na identificação do *bulking* viscoso em sistemas de lodos ativados, auxiliando na identificação do material extracelular produzido em excesso pelas bactérias presentes neste sistema de tratamento e também na identificação de outras características do lodo, como a presença de bactérias tétrades. As concentrações elevadas de oxigênio e a deficiência de nutrientes durante o tratamento de

efluentes de celulose são capazes de provocar o *bulking* viscoso no sistema de tratamento biológico de efluentes.

Assim, pode-se afirmar que a condição de *bulking* viscoso afeta o tratamento biológico, comprometendo a qualidade do efluente tratado, haja vista o aumento de sólidos identificado neste efluente. Além disso, quando o *bulking* viscoso ocorre, problemas operacionais também podem ser observados, como a flotação de lodo nos decantadores secundários, gerando muitos transtornos operacionais.

Fica evidente também que a atividade microbiológica na estação é diretamente afetada não só pelos parâmetros de controle da ETE, como o residual de nutrientes e oxigênio nos TAs, mas também pela operação da estação em si. Percebemos, por exemplo, na ocorrência descrita acima participação contundente da má recirculação do lodo devido obstrução das válvulas telescópicas, do furo existente na caixa destas válvulas e até mesmo da distância inadequada entre as raspas e o fundo do decantador. Enfim, a avaliação microscópica do lodo aliada ao controle operacional da ETE são essenciais para o melhor desempenho do tratamento, bem como melhor qualidade do efluente tratado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABREU, AAV. Identificação de bactérias filamentosas em processo de lamas activadas através da Técnica de Hibridização *in-situ* de Fluorescência (FISH). Minho: Universidade de Minho, 2004. 142 p.
2. AMMAN, R.; GLÖCKNER, F.O.; NEEF, A. Modern methods in subsurface microbiology: in situ identification of microorganisms with nucleic acid probes. FEMS Microbiology Reviews, v. 20, n. 3-4, p. 191-200, 1997.
3. BENTO, A.P. *et al.* Caracterização da microfauna em estação de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 10, n. 4, p. 329-338, 2005.
4. BLUMENROTH, P., BOSECKER, K., MICHNEA, A., VARNA, A., SASARAN, N. 2002. Development of a biological detoxification process for mining waste waters. Disponível: <http://www.bgr.de/b412/abwass/abwasser.htm> Acesso em: 30 set. 2002.
5. CUTOLO, A. S.; ROCHA A. A. Correlação entre a microfauna e as condições operacionais de um
6. processo de lodos ativados. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000, Porto Alegre-RS. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2000.
7. FURLEY, T.H. & CARVALHO, A. O. MONTENEGRO, E. S. 2001. Avaliação do impacto das drenagens sobre a microbiologia da ETE e qualidade do efluente tratado da Aracruz Celulose S.A. Revista Engenharia Ciência e Tecnologia, v.4, n.3, p 9-18.
8. JENKINS, D., RICHARD, M., DAIGGER, G., 2003. Manual on the causes and control of activated sludge bulking, foaming and others solids separation problems. USA. 190p.
9. RICHARD, M. Activated sludge microbiology problems and their control. 20th Annual USEPA National Operator Trainers Conference, Buffalo, NY, June 8, 2003.
10. The Wastewater insight: Are you under dosing nutrients at your plant? Environmental Leverage, North Aurora, Illinois, v. 3, n. 1, abr. 2006.
11. The Wastewater insight: What is Zooglea and how do I get rid of it? Environmental Leverage, North Aurora, Illinois, v. 7, n. 3, abr. 2010.
12. VASCO, J.; MAS, M.; SALVADÓ, H. Caracterización de los microorganismos de depuradoras biológicas urbanas de fangos activos con tratamiento convencional y de eliminación de nutrientes. Tecnología del agua, Año nº 29, Nº 305 , p. 68-78, 2009.
13. VAZOLLÉR, R.F. *et al.* Microbiologia de lodos ativados. São Paulo: Cetesb, 1989.