

II-025 - REDUÇÃO DE CONSUMO DE GÁS CLORO UTILIZADO NO CONTROLE DE *BULKING* DE FILAMENTOSAS NA ETE BELÉM (CURITIBA/PR) ATRAVÉS DA IMPLANTAÇÃO DE NOVAS ROTINAS DE CONTROLE OPERACIONAL

Wellington Ignácio Jaworski⁽¹⁾

Tecnólogo em Química Industrial (UTFPR). Técnico de Processo da ETE Belém, SANEPAR.

Rodrigo Augusto Franco de Oliveira Zawadzki

Tecnólogo em Química Ambiental (UTFPR). Mestre em Química pela Universidade Federal do Paraná (PPGQ/UFPR). Professor do SENAI Cidade Industrial de Curitiba.

Juliene Paiva Flores

Tecnóloga em Química Ambiental (UTFPR). Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial pelo SENAI/UFPR/Universität Stuttgart. Professora do SENAI Cidade Industrial de Curitiba.

Anderson Antunes Ribaski

Tecnólogo em Química Ambiental (PUC PR). Gestor da ETE Belém, SANEPAR.

César Augusto Marin

Engenheiro Ambiental (UFPR). Engenheiro Ambiental da SANEPAR.

Endereço⁽¹⁾: Av. Marechal Deodoro, 3081 – Alto da XV - Curitiba - PR - CEP: 80.045-375 - Brasil - Tel: + 55 (41) 3330 7045 - e-mail: wellingtonij@sanepar.com.br

RESUMO

O controle operacional de sistemas de lodos ativados envolve o acompanhamento de uma série de parâmetros analíticos, como sólidos suspensos, microscopia de lodo, entre outros, que permitem aos gestores e operadores da ETE (Estação de Tratamento de Esgotos) a adoção de ações corretivas ou preventivas que garantam a adequada eficiência do tratamento. Desta forma, o presente trabalho descreve a implantação de novas rotinas de controle operacional na ETE Belém (Curitiba, PR) visando o controle de sólidos e de processos de *bulking* filamentoso. Para isto, foi realizado inicialmente o treinamento de 17 técnicos da ETE quanto aos corretos procedimentos de controle de sólidos e microscopia de lodo, e, em seguida, implantada uma nova ficha de acompanhamento operacional. Após estas adequações, foi verificado que o controle de *bulking* filamentoso da ETE estava sendo realizado de forma inadequada, sendo assim, as novas rotinas operacionais foram capazes de reduzir os problemas de arraste de lodo, morte excessiva de biomassa e, por fim, economizar pouco mais de R\$ 200.000,00 por ano com a redução da dosagem de gás cloro no combate às bactérias filamentosas.

PALAVRAS-CHAVE: Rotinas operacionais, *bulking* filamentoso, controle de sólidos, microscopia de lodo, aplicação de gás cloro.

INTRODUÇÃO

Sistemas biológicos de tratamento de efluentes envolvem uma grande complexidade operacional, podendo trazer problemas às concessionárias de esgoto dada a dificuldade de manutenção de uma alta eficiência de tratamento e consequente lançamento de efluentes em desacordo com a legislação nacional. Em concessionárias onde a capacitação profissional dos operadores de estação é inadequada ou insuficiente este problema é agravado. Os sistemas de Lodos Ativados se enquadram indubitavelmente nesta característica, visto que sua complexidade resulta da própria dinâmica do sistema que apresenta (a) não linearidades, (b) amplas faixas de variação de constantes cinéticas, (c) biomassa heterogênea metabolizando um substrato heterogêneo, (d) imprecisão e (e) estabilidade interrompida por falhas abruptas (Beck, 1986).

Quanto ao seu funcionamento, sistemas de Lodos Ativados são fundamentados pelo princípio da produção de lodo, onde a carga de matéria orgânica afluente é convertida de 50 a 90% em SSV (Sólidos Suspensos Voláteis). Esta relação, conhecida como coeficiente de produção celular (y), é parte da cinética do metabolismo microbológico que envolve a remoção da carga orgânica dos efluentes. Sendo assim, o controle

de sólidos e da formação de flocos biológicos é característica imprescindível para a boa operação de um Lodos Ativados (Barnes *et al.* 1983; Metcalf & Eddy, 2003 e Von Sperling, 2012).

O monitoramento do IVL (Índice Volumétrico de Lodo) em conjunto com a análise de microscopia de lodo são os principais controles de sólidos em lodos ativados. Este monitoramento visa identificar a condição de formação dos flocos biológicos, que, por consequência, refletem na qualidade do efluente clarificado e na altura do manto de lodo no decantador. A ocorrência de flocos quebradiços reflete-se em pouca velocidade de sedimentação, dado o pequeno peso específico do flocos. Geralmente, tal característica deve-se a problemas de toxicidade ou idade do lodo excessiva. Já a ocorrência de *bulking* filamentoso está relacionada ao crescimento desordenado de bactérias filamentosas, que ocasionam espessamento e consequente flotação dos flocos, geralmente como reflexo de choques de carga e déficit de OD (oxigênio dissolvido) (Jordão & Pessoa, 2005 e Jenkins *et al.*, 1993).

As literaturas clássicas na área de tratamento de esgotos, tais como Jenkins *et al.*, (1993), Metcalf & Eddy (2003), Jordão & Pessoa (2005) e Von Sperling (2012) relatam que a principal forma de controle operacional de *bulking* filamentoso é a dosagem de cloro ou peróxido de hidrogênio na linha de reciclo de lodo, onde tem-se por objetivo oxidar as bactérias filamentosas em maior proporção dada a grande área superficial que as mesmas ocupam no flocos biológico. Atualmente, grupos de pesquisa aplicada também relatam o mesmo tipo de controle, como pode-se verificar pelos autores Alves *et al.* (2007), Guo *et al.* (2012), Yano & Gomes (2013) e Richard (2015). Linhas de pesquisa alternativas ao uso de oxidantes químicos também surgem atualmente, como o estudo de Rossoni *et al.* (2013), onde foi avaliado o efeito da adição de talco (utilizado na produção de papel) como agente capaz de combater *bulking* filamentoso em um lodos ativados tratando efluente de produção de papel reciclado. Já Xu *et al.* (2014) estudaram o efeito da adição de 100 mg/L de nano-partículas de ferro para a inibição de *bulking* filamentoso.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo descrever a implantação de novas rotinas operacionais de controle de sólidos e de *bulking* filamentoso realizada na ETE Belém, pertencente à SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) localizada em Curitiba, PR. Este trabalho foi realizado por meio de uma parceria entre a SANEPAR e o SENAI CIC (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial da Cidade Industrial de Curitiba).

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada no presente trabalho envolveu 3 etapas.

- Inicialmente realizou-se o treinamento dos técnicos da ETE Belém no que tange os procedimentos de controle de sólidos e de *bulking* filamentoso em lodos ativados.
- Após a realização deste treinamento foram então implantadas novas rotinas analíticas e de procedimentos de controle operacional.
- Por fim, foi avaliado o custo do tratamento do esgoto na ETE quanto à aplicação de cloro gasoso no controle de *bulking* filamentoso.

Estas 3 etapas são descritas a seguir.

TREINAMENTO DOS TÉCNICOS DA ETE

Para implantar o controle operacional de sólidos e de *bulking* filamentoso na ETE Belém, inicialmente foi realizado um treinamento com os técnicos (operadores e gestores) da estação. Este treinamento teve a duração de 12 horas.aula, sendo 6 horas.aula práticas. O treinamento foi realizado na última quinzena de novembro de 2013. Os conteúdos desenvolvidos durante o curso estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Conteúdos desenvolvidos durante o treinamento dos técnicos da ETE Belém.

Conteúdo	Controle de Sólidos em Lodos Ativados	Microscopia de Lodos Ativados	
Carga horária	4 horas.aula	4 horas.aula	4 horas.aula
Subdivisões do conteúdo	Princípios básicos em lodos ativados	Partes do microscópio, seu funcionamento e limpeza do conjunto óptico.	Idade do lodo x qualidade do floco
	Conjunto de Sólidos Suspensos	Procedimento de Microscopia de Lodo	Toxicidez x qualidade do floco
	Carga nos Decantadores	Identificação do tipo de formação de flocos	Correção/prevenção para bulking filamentoso
	IVL – Índice Volumétrico de Lodo	Presença de protozoários x toxicidez	Demais problemas operacionais, suas correções e prevenções.
		Filamentosos x DBO solúvel	

IMPLANTAÇÃO DE NOVAS ROTINAS OPERACIONAIS

Até uma semana antes do treinamento realizado com os técnicos, a ETE Belém já realizava os seguintes parâmetros analíticos conforme *Standard Methods* 21ª edição (APHA, 2006):

- No esgoto afluente – pH, DQO (Demanda Química de Oxigênio), DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), SSed (Sólidos Sedimentáveis), SST (Sólidos Suspensos Totais) e Nitrato;
- Nos tanques de aeração – SST, IVL-diluído, OD (Oxigênio Dissolvido), Nitrato;
- Na linha de reciclo de lodo – SST;
- No esgoto de saída da ETE – pH, DQO, DBO, SSed, SST.

A primeira nova rotina operacional implantada foi o cálculo da carga de sólidos aplicada ao decantador ($C_{aplicada}$, em kg/h), que passou a ser medido diariamente após a realização do treinamento dos técnicos. Este cálculo foi realizado conforme equação 1, onde Q_e é a vazão de entrada nos decantadores (m^3/h) medida como a soma da vazão afluente mais a vazão de reciclo de lodo. Ambas medidas de forma *on line* por sensores de ultrassom. E, por fim, SST é a concentração de sólidos suspensos totais dos tanques de aeração (kg/m^3) medida diariamente conforme método *standard* 2540D (APHA, 2006).

$$C_{aplicada} = Q_e \cdot SST \quad \text{equação (1)}$$

Após a realização do treinamento, foi incluído na rotina operacional, além dos parâmetros já realizados, o monitoramento analítico nos tanques de aeração dos seguintes parâmetros:

- SSed (Sólidos Sedimentáveis) – que indica a sedimentabilidade do lodo;
- SSV (Sólidos Suspensos Voláteis) – que indica a concentração de biomassa ativa no sistema;
- SSF (Sólidos Suspensos Fixos) – que denota a concentração de biomassa morta no sistema.

Estes parâmetros permitiram a inclusão da medição da Relação Alimento/Microrganismo, que visa identificar a ocorrência de choques de carga, do IVL e da relação entre biomassa viva e morta no sistema.

A relação alimento por micro-organismo (A/M) foi calculada diariamente pela equação 2, onde Q é a vazão afluente aos tanques de aeração (m³/dia) medida de forma *on line* por sensores de ultrassom instalados na saída das calhas que alimentam os tanques. S₀ é a concentração de DBO do esgoto bruto (mg/L), medida diariamente conforme método *standard* 5210B (APHA, 2006). Por fim, V o volume dos tanques de aeração (m³) e X_v o teor de SSV dos tanques de aeração (mg/L) medido diariamente conforme método *standard* 2540E (APHA, 2006).

$$A/M = (Q \cdot S_0) / (V \cdot X_v) \quad \text{equação (2)}$$

O monitoramento do IVL, ao invés do IVL-diluído, também foi implantado na rotina operacional da ETE visando identificar a condição de compactação (grau de sedimentabilidade) do lodo formado nos tanques de aeração. O IVL (mL/g) foi calculado diariamente a partir da equação 3, onde SS_{sed} é o volume de lodo dos tanques de aeração no teste de Imhoff (mL/L) realizado diariamente conforme método *standard* 2540F (APHA, 2006), e SST é o teor de sólidos suspensos totais dos tanques de aeração (mg/L) realizado diariamente.

$$IVL = (SS_{sed}/SST) \cdot 1000 \quad \text{equação (3)}$$

A análise de microscopia de lodo também foi incluída na rotina diária da operação da ETE, visando identificar os tipos de micro-organismos que estavam se desenvolvendo nos flocos biológicos. Esta microscopia foi realizada a partir de coletas de lodo dos tanques de aeração, onde foi transferida de 2 a 3 gotas da amostra para uma lâmina de vidro. Adicionou-se então 1 a 2 gotas de cristal violeta a 0,1%, para fornecer contraste na amostra, e homogeneizou-se vagarosamente o conteúdo na lâmina de vidro. Os flocos foram então visualizados nos aumentos de 40x e 100x em um microscópio óptico Olympus BX40. Os ensaios foram realizados em triplicata e por três operadores diferentes, visando evitar as divergências subjetivas quanto à qualidade do floco formado.

ANÁLISE DE CUSTOS COM A APLICAÇÃO DE CLORO GASOSO

O cloro gasoso é aplicado na ETE Belém para o controle de *bulking* filamentoso, sendo a dosagem realizada diretamente na linha de reciclo de lodo. Até uma semana antes da implantação das novas rotinas de controle operacional (descritas no item anterior) esta dosagem era realizada sempre que o valor medido do IVL-diluído nos tanques de aeração atingia 120 mL/g. Esta dosagem era então mantida até as medições de IVL-diluído diminuíssem abaixo de 70 mL/g.

Desta forma, foi realizado um levantamento do gasto mensal (em R\$) de gás cloro através da consulta direta às notas fiscais de compra dos cilindros de gás. E, após a implantação das novas rotinas de controle operacional, o mesmo levantamento foi realizado visando comparar os gastos com gás cloro antes e depois da adoção das novas rotinas de controle de *bulking* filamentoso.

RESULTADOS

A ETE Belém conta com um sistema preliminar de tratamento que envolve bombas elevatórias de parafuso, canal com gradeamento grosseiro e fino e desarenação. Após tratamento preliminar o esgoto tem sua vazão dividida em dois tanques de aeração em valos de oxidação de 84000 m³ cada (tq1 e tq2), que funcionam em paralelo. Dois decantadores em paralelo de 64 m de diâmetro cada atendem aos tanques de aeração, sendo que o clarificado é então lançado no corpo receptor. O reciclo de lodo se dá por meio de duas bombas parafuso, uma para cada decantador.

Nesta ETE, foram então treinados 15 operadores e 2 gestores. A partir da segunda quinzena de fevereiro de 2014 as novas formas de controle operacional de sólidos e de *bulking* filamentoso vistas durante as aulas já estavam sendo implantadas.

O monitoramento da carga de sólidos aplicada aos decantadores é descrito pela Figura 1, onde nota-se que a mesma encontra-se acima da carga limite dimensionada de 13.250 kg SST/h. Isto causa uma elevação da altura do manto de lodo no interior do decantador, já que a quantidade de sólidos aplicada por unidade de área

encontra-se acima da taxa na qual as partículas decantam e se comprimem no fundo do decantador. No entanto, tal característica não pode ser interpretada como má formação de flocos, já que a carga de sólidos aplicada ao decantador leva em consideração apenas a quantidade de lodo, e não a qualidade do floco formado.

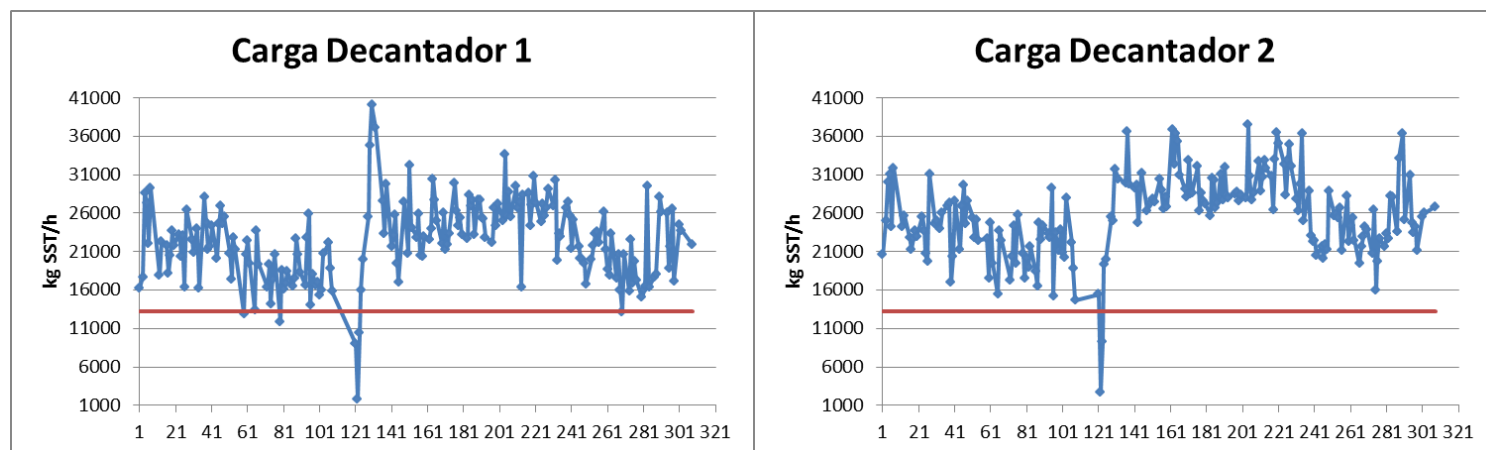


Figura 1. Monitoramento diário da carga de sólidos aplicada nos decantadores. A linha vermelha representa a carga limite de 13.250 kg SST/h.

O monitoramento da relação A/M mostra, conforme Figura 2, que a disponibilidade de alimento encontrava-se na maioria das vezes abaixo da faixa de 0,08 a 0,15 kg DBO/kg SSV (Von Sperling, 2012). Isto denota que o sistema opera em uma faixa de metabolismo endógeno bastante acentuado, dada a baixa disponibilidade de alimento. Tal característica por um lado é vantajosa, pois eleva a eficiência do tratamento, fato que é comprovado pela DBO de saída do efluente clarificado encontrar-se na maioria absoluta dos dias abaixo de 15 mg/L (dados não incluídos neste trabalho). No entanto, como desvantagem, torna o sistema mais susceptível a choques de carga e à morte excessiva de biomassa, bem como provoca a formação de flocos levemente quebradiços, conforme foi identificado no histórico das microscopias e será discutido a seguir.

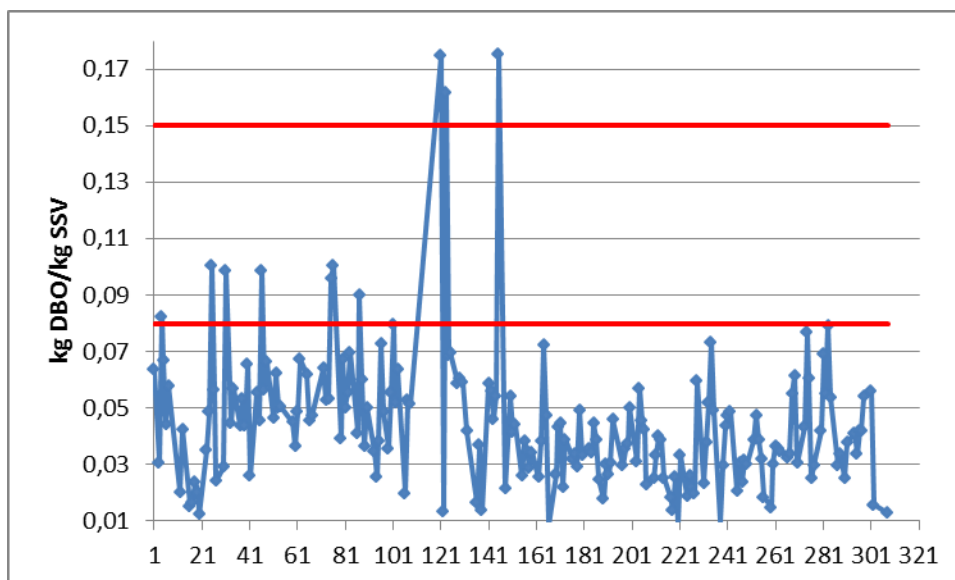


Figura 2. Monitoramento diário da relação A/M na ETE. As linhas vermelhas representam a faixa de A/M recomendável para a aeração prolongada, entre 0,08 a 0,15 kg DBO/kg SSV.

Já a Figura 3 mostra o monitoramento do IVL e aponta que, na maioria dos dias amostrados, a condição de compactação do lodo encontrava-se dentro da faixa média (100 a 200 mL/g). Verificou-se também a ocorrência de IVL ruim (200 a 300 mL/g) em alguns dias. As faixas de IVL adotadas são descritas por Von Sperling (2012).

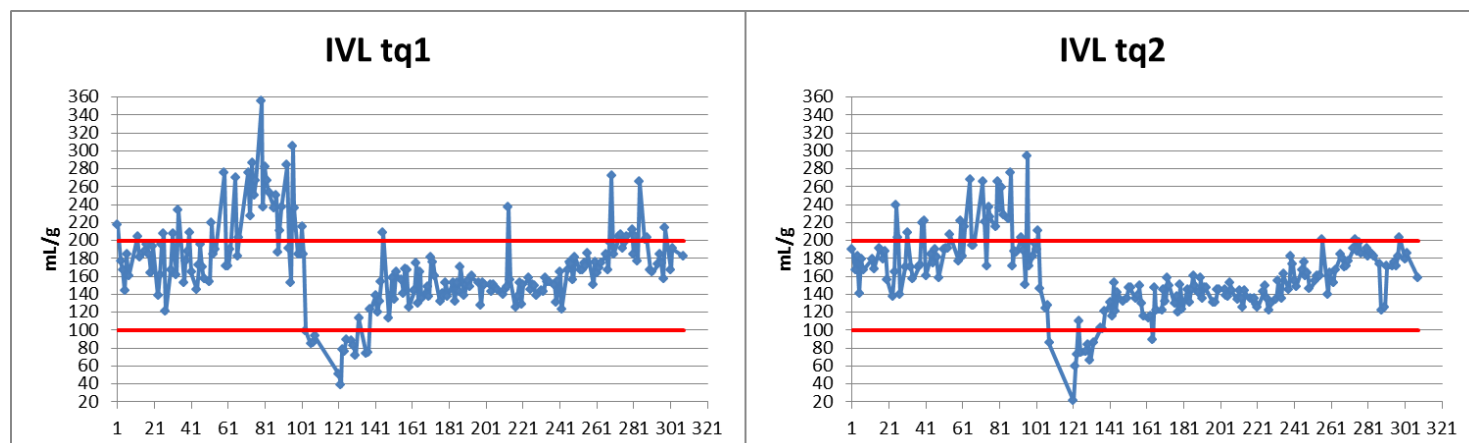


Figura 3. Monitoramento diário do IVL nos tanques de aerção. As linhas vermelhas mostram os limites da faixa de IVL médio, entre 100 a 200 mL/g.

No entanto, embora a Figura 3 aponte valores de IVL ruins, a implantação da análise de microscopia de lodo trouxe a confirmação ou não da ocorrência de *bulking* filamentosos nos tanques de aerção. A Figura 4a mostra a microscopia realizada em 22/04/2014 no tq1, onde embora o IVL neste dia estivesse ruim (275 mL/g) a microscopia de lodo mostra a condição de formação do floco adequada, dada à boa agregação dos micro-organismos formadores de floco e filamentosos com a matriz do floco. Sendo assim, neste dia, o IVL alto deveu-se a um teor SST no tq1 de 2400 mg/L, bastante diluído frente a média histórica de 3500 a 5000 mg/L de SST no tq1. Fato confirmado pela carga aplicada no decantador 1 que neste dia estava em 12.943 kg SST/h, ou seja, abaixo da carga limite.

Já a Figura 4b contradiz os valores de IVL do dia 30/07/2014, onde o tq1 apresentou 168 mL/g e o tq2 148 mL/g, ou seja, dentro da faixa média. As microscopias no tq1 (micrografia não apresentada neste trabalho) e no tq2 (Figura 4b) neste dia mostram a condição de formação do floco dispersa, com excesso de micro-organismos filamentosos na matriz do floco. Sendo assim, o IVL mediano deste dia foi reflexo de teores de SST altos, próximos a 5000 mg/L nos dois tanques de aerção.

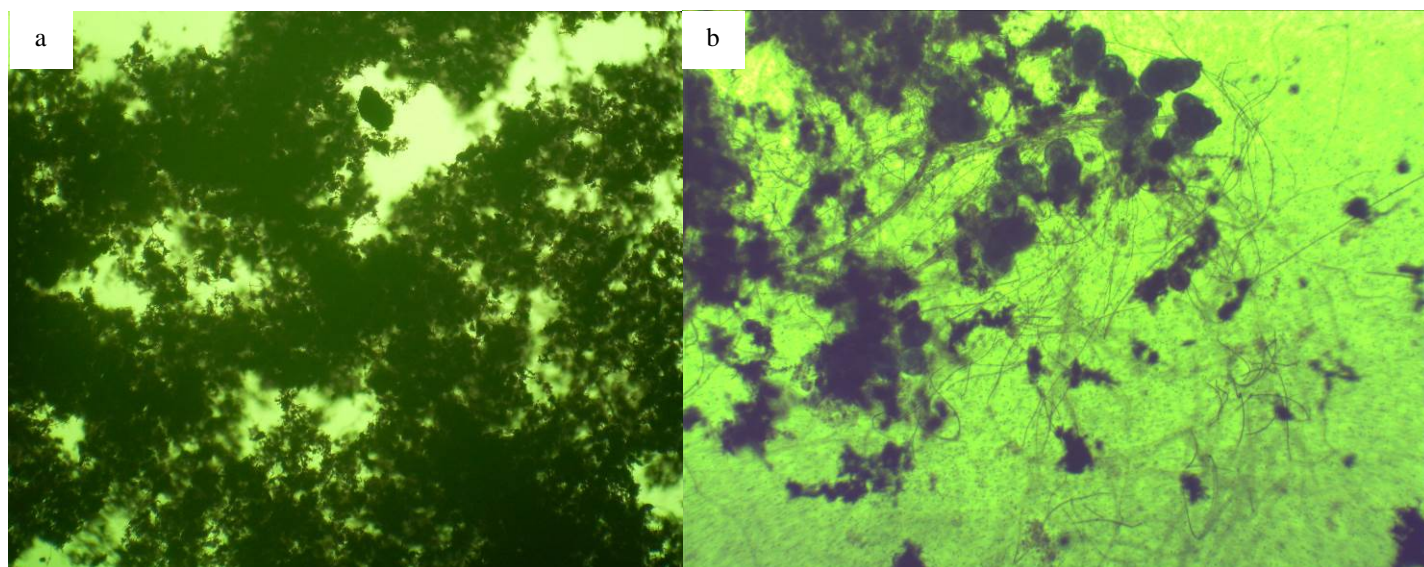


Figura 4. Microscopia de lodo ativado coletado nos tanques de aerção da ETE. Foi utilizado contraste de cristal violeta a 0,1% nas fotomicrografias. (a) Floco com formação adequada (aumento 100x). (b) Floco filamentosos (aumento 40x).

A partir da implantação dos novos controles operacionais, foi percebido que a dosagem de cloro realizada até alguns dias antes do treinamento e da implantação das novas rotinas de controle operacional, na grande maioria das vezes não era necessária, já que ao comparar em conjunto os valores de SST, SSV e SSF do tanque de aeração, relação A/M, IVL, carga aplicada aos decantadores e microscopia de lodo, os flocos não se mostravam em *bulking* (intumescidos). Na verdade, a formação dos flocos na maioria das vezes estava adequada ou levemente quebradiça, no entanto, a carga aplicada aos decantadores estava na maioria das vezes muito próxima ou acima da carga limite suportada pelos mesmos (ver Figura 1), causando a falsa sensação de intumescimento já que flocos eram arrastados com o clarificado. Desta forma, não havia a necessidade da dosagem de cloro para controle de *bulking*, e sim, havia a necessidade de um maior descarte de lodo para reduzir a carga de sólidos aplicada ao decantador. Da mesma maneira, muitas vezes aquilo que era identificado como IVL elevado, na verdade era apenas o reflexo da operação de tanques de aeração com volume excessivo de lodo em seu interior.

Quando a dosagem de cloro era adotada, geralmente causava morte excessiva de biomassa, com consequente aumento do teor de SSF e diminuição do teor de SSV no tanque de aeração. Esta condição força a uma formação de flocos quebradiça (flocos finos, de pouco peso específico), que acabam por arrastar com o clarificado, deteriorando a qualidade do efluente de saída.

Da mesma maneira, o acompanhamento da relação A/M mostrou a real condição operacional dentro dos tanques de aeração, onde foi possível a identificação de choques de carga de DBO ou diminuição excessiva da disponibilidade de alimento (ver Figura 2). Tais oscilações devem-se à diluição do esgoto bruto com águas pluviais parasitárias ou estão associadas ao recebimento de cargas provenientes de caminhões limpa-fossa com alto teor de SSF, bem como possível toxidez ao longo da rede coletora pela contribuição de efluentes industriais.

Ambas as características influenciavam diretamente o IVL, o teor de SSV e SSF nos tanques de aeração e a relação A/M. Antes da implantação da nova rotina operacional, o IVL-diluído era o único indicativo para o controle de *bulking* filamentoso, e a dosagem de cloro fazia-se muito constante para controlar a formação do floco. No entanto, após a adoção das novas rotinas de controle, os operadores passaram a gerar uma quantidade maior de valores e parâmetros, que, quando analisados em conjunto, descreviam a condição de operação do sistema quanto à quantidade de lodo e à qualidade do floco formado, garantindo assim maior eficiência nas ações corretivas e preventivas adotadas na ETE.

Desta forma, as ações corretivas de dosagem de cloro para combate de *bulking* filamentoso caíram drasticamente devido às condições discutidas anteriormente. O comparativo dos gastos em R\$ na aquisição de cilindros de gás cloro em 2013 (antes da implantação das novas rotinas de controle operacional) com o ano de 2014 (após a implantação das novas rotinas de controle operacional) mostra uma redução de R\$ 203.060,00 de um ano para o outro, equivalente a 66,85 ton a menos de gás cloro. A Tabela 2 detalha estes valores.

Tabela 2. Gastos com a aquisição de cilindros de gás cloro para o combate de *bulking* filamentoso na ETE.

Período	Consumo de gás cloro em cilindros (toneladas)	Custo (R\$)
Janeiro a dezembro/2013	95,50	329.120,00
Janeiro a dezembro/2014	28,65	126.060,00
Economia do ano de 2014 em relação a 2013	66,85	203.060,00

CONCLUSÕES

O treinamento dos técnicos e operadores da ETE Belém nos controles de sólidos e de *bulking* filamentoso em lodos ativados, no monitoramento do A/M e em microscopia de lodo, permitiu um maior entendimento do funcionamento do sistema, bem como possibilitou identificar choques de carga e oscilações na qualidade do afluente da estação, fornecendo novas estratégias de controle operacional preventivo e corretivo.

A implantação das novas rotinas operacionais na ETE Belém permitiu a real identificação da ocorrência ou não de problemas de má formação de flocos (quebradiços ou filamentosos), choques de carga e quantidade de lodo/qualidade do floco formado. Ao possibilitar a identificação destas características, obteve-se uma economia no custo operacional da ETE de pouco mais de R\$ 200.000,00 no comparativo do ano de 2014 em relação a 2013. Tal economia foi devida à diminuição da dosagem de cloro na linha de reciclo de lodo para controle de *bulking* filamentoso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, H.B.; SQUIBA, L.M.; MOCHIDA, G.A.; GARBOSSA, L.H.P.; GOMES, C.S. Controle no Desenvolvimento de Lodo Filamentoso em Estação de Tratamento de Esgotos em Lodos Ativados com Aeração Prolongada Através da Adição de Cloro. In: 24^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2007. Anais. Belo Horizonte, MG. 2007.
2. APHA. Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 21^a ed. Washington: Publication Office American Public Health Association, APHA, AWWA, WPCP, 2006
3. BARNES, D.; FORSTER, C.F.; JOHNSTONE, D.W.M. Oxidation Ditches in Wastewater Treatment. Pitman, 275p. 1983.
4. BECK, M.B. Identification, estimation and control of biological waste water treatment processes. IEEE Proceedings 133p. 1986.
5. GUO, J.; PENG, Y.; WANG, Z.; YUAN, Z.; YANG, X.; WANG, S. Control Filamentous Bulking Caused by Chlorine-resistant Type 021N Bacteria Trough Adding a Biocide CTAB. Water Research, v.46, i.19, n.1, p.6531-6542, 2012.
6. JENKINS, D.; RICHARD, M.G.; DAIGGER, G.T. Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming. 2^a ed. Lewis Publisher, Michigan, 1993.
7. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 4. ed. Rio de Janeiro. ABES, 2005.
8. METCALF & EDDY. Wastewater Engineering: treatment and reuse. Metcalf & Eddy Inc. 4^a ed. 2003.
9. VON SPERLING, M. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. v.4, 3^a ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2012.
10. RICHARD, M. Pratical Control Methods for Activeted Sludge Bulking and Foaming. New York State Department of Environmental Conservation. Disponível em: www.dec.ny.gov/chemical/34373.html. Acesso em março de 2015.
11. ROSSONI, H.A.V.; RESENDE, A.A.P.; MOUNTEER, A.H.; SOUSA, C.A.; SILVA, C.M.; GOMIDE, J.L.; AZEVEDO, M.A. Avaliação do uso de agente lastrante no controle do intumescimento filamentoso em sistema de lodos ativados utilizando efluentes de fábrica de papel reciclado. Revista DAE, n.191, p.60-72, 2013.
12. XU, S.; SUN, M.; ZHANG, C.; SURAMPALLI, R.; HU, Z. Filamentous sludge bulking control by nano-zero valent iron in activated sludge systems. Environmental Science: Process Impacts, n.16, p.2721-2728, 2014.
13. YANO, A.A.; GOMES, L.A. Uso de cloro no controle de bactérias filamentosas em lodos ativados de indústria frigorífica. Ambi-Água, v.8, n.2, p.146-156, 2013.