



II-034 DECANTABILIDADE DO LODO E FORMAÇÃO DE GRÂNULOS EM REATOR SEQÜENCIAL POR BATELADA

Heike Hoffmann¹ Bióloga pela Universidade Greifswald/ Alemanha, Doutora em Ecologia Aquática pela Universidade Rostock/Alemanha, Pós-doutorado na UFSC, Florianópolis, Professora e Pesquisadora Visitante do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico/UFSC, bolsista CNPq.

Delmira Beatriz Wolff: Engenheira Sanitarista, Mestre e Doutora em Engenharia Ambiental pela UFSC, com “estágio sanduíche” no INSA-Toulouse, França.

Bruno Sidnei da Silva: Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UFSC, bolsista de iniciação científica CNPq.

Christoph Platzer: Engenheiro Civil pelas Universidades Técnicas de Hannover e Munique (Alemanha), Doutor em Saneamento pela Universidade Técnica de Berlim, Alemanha; Rotária do Brasil Ltda, Florianópolis, SC, Brasil

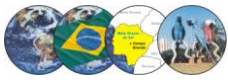
Rejane Helena Ribeiro da Costa: Engenheira Civil pela UFPB, Mestre em Hidráulica e Saneamento EESC-USP São Carlos, SP, Doutora pelo INSA-Toulouse, França. Pós-doutorado na Université Montpellier 1, França. Professora Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico/UFSC

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, CTC/UFSC - Campus universitário - Trindade - Florianópolis SC - CEP 88040-970 - Telefone (48) 331 7743 E-mail: heike@ens.ufsc.br

RESUMO

Um reator de lodo ativado em batelada seqüencial (RBS), com volume de 1,4 m³ foi operado com esgoto sanitário, visando obter a remoção de nutrientes. Foi investigada a decantabilidade do lodo ativado e um fenômeno da formação de grânulos neste reator, por meio de Índice Volumétrico de Lodo (IVL), decantação no reator registrada com uma sonda que mede o nível do lodo, decantação em Becker de 100 mL, em cone Imhoff e com a microscopia ótica. Os resultados do IVL e a decantação em Becker se mostraram efetivos para a determinação da decantabilidade quando comparados à decantabilidade real medida no reator. A formação de grânulos no reator foi relacionada com um aumento significativo da concentração do DQO no esgoto bruto (rede pública) de 800 mg O₂/L até valores de 2.500 mg O₂/L. Neste época verificou-se a otimização de remoção de DBO₅ (100%), de DQO (90%), nitrificação (90%), desnitrificação (85%) e biodesfosfatação (70%) e aumentou a velocidade de decantação. No entanto, aumentou a concentração de sólidos em suspensão no efluente, que pode ter influenciado no crescimento de micro-metazoários de genero *Rotatória ssp.* em grande quantidade no reator.

PALAVRAS-CHAVE: Decantabilidade, Grânulos aeróbios, Reator em batelada



INTRODUÇÃO

A decantabilidade do lodo de estações de lodo ativado determina decisivamente a eficiência de processos de lodo ativado. Existem três aspectos a considerar:

1. A parte de lodo ativado que não decanta interfere na qualidade do efluente final, aumenta a turbidez, as concentrações de sólidos suspensos, de DQO, DBO₅, NTK e P.
2. A biomassa que não decanta, não pode ser recirculada com conseqüente redução contínua do lodo e da idade de lodo, fatores que diminuem diretamente a eficiência da operação.
3. A decantabilidade influencia diretamente no dimensionamento do decantador, o lodo ativado com decantabilidade rápida reduz o tempo necessário de passagem no decantador.

A decantabilidade, mesmo que influenciada por diferentes fatores, geralmente depende da formação e estrutura dos flocos de lodo ativado. Flocos pequenos (microflocos, flocos mecanicamente destruídos ou quimicamente intoxicados) ou flocos com elevada produção de biopolímeros (lodo gelatinoso) assim como flocos conectados com uma rede intensa de bactérias filamentosas (lodo intumescido) geralmente mostram má sedimentação, resultando em turbidez elevada, volume de lodo elevado ou também em problemas com escumas. Os flocos compactos e densos com poucas bactérias filamentosas, pelo contrário, sedimentam rápido, resultando em Índice volumétrico de lodo (IVL) menor que 120mL/g, e deixam um sobrenadante claro com uma concentração de sólidos suspenso SS inferior a 30 mg/L (Jenkins *et al*, 1997).

Entre os sistemas de lodo ativado, os reatores em batelada seqüencial (RBS), funcionando ora como reatores biológicos e ora como decantadores, podem ser influenciados de forma ainda mais direta pela decantabilidade: o tempo que pode ser economizado no funcionamento do tanque como decantador é diretamente utilizável para aumentar o tempo das reações biológicas, ou seja, a realização de um ciclo com menor tempo de decantação significa que mais esgoto pode ser tratado, sem perder a eficiência e sem a necessidade de aumentar o volume do reator.

Com a crescente importância destes reatores, a pesquisa da decantação ganhou importância e recentemente mostrou um fenômeno novo no lodo ativado dos reatores RBS, que é a formação de grânulos (Morgenroth *et al* 1997), mais conhecida em sistemas anaeróbios do tipo UASB. O mecanismo da formação de grânulos aeróbios ainda não foi totalmente esclarecido, se observou a participação principal de bactérias e/ou fungos filamentosos (Etterer & Wilderer, 2001), a elevada concentração de polímeros como também a elevada concentração de proteínas (McSwain *et al* 2004).

O tamanho dos grânulos varia entre 0,2-5mm (Arrojo *et al.*, 2004, Tay *et al* 2003, Kim *et al*, 2004). Foram calculados, por exemplo, velocidades de decantação do lodo entre 0,3-2,4 cm/s (Tay *et al*, 2001). Todos os reatores pilotos com granulos aeróbios trabalharam com tempo de decantação muito reduzido, entre 1-10 min. As bactérias fixadas em grânulos mostraram uma atividade metabólica muito elevada, capaz de retirar alta carga orgânica junto com remoção de nitrogênio de 80% e fosfato de 65% (Schwarzenbeck *et al*, 2004). Tay *et al* (2003) resumiram uma teoria mais complexa, que afirma que a formação de grânulo é resultado da interação entre:

- As forças mecânicas de cisalhamento que são favorecidas por uma aeração forte e alta velocidade na fase líquida provocada por curtos tempos hidráulicos (tipo: leito fluidizado)
- A alta velocidade de crescimento das bactérias é favorecida pela alta carga orgânica, tempo reduzido de alimentação e rápida alternância entre as fases anóxicas e aeróbias.

Como a pesquisa sobre granulação aeróbia ainda é muito recente, a grande maioria dos estudos foram feitos com esgoto sintético, com fonte de carbono de alta degradabilidade (acetato) e relação de C:N relativamente incomum para esgoto urbano (por exemplo Tay *et al*, 2003). Já com o objetivo de usar a tecnologia na escala real, Schwarzenbeck *et al* (2004) discutiram a necessidade de adicionar um pós-tratamento (membranas, decantação) por causa da alta turbidez do efluente final. Especialmente no caso de uso de esgoto “real”, espera se uma porcentagem reduzida de grânulos, ou seja, uma coexistência de grânulos com os flocos comum do lodo ativado, o efluente final mostrará concentrações elevadas de sólidos suspensos formados pelos microflocos e bactérias não fixadas, representando substancias sem capacidade de decantar.

A pesquisa apresentada foi feita com esgoto sanitário da rede pública, em um reator em escala real (SBR 10 Rotaria, ETE com capacidade de tratar o esgoto de uma residência), com o objetivo de estudar a decantabilidade do lodo do RBS e em especial o fenômeno de formação de grânulos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Um reator de lodo ativado em batelada seqüencial, com volume de 1,4 m³, foi operado com esgoto sanitário, coletado na rede pública. O estudo da decantabilidade foi feito durante 4 meses de sua operação. O reator efetuava 4 ciclos por dia, cada ciclo de 6 horas, recebendo 300 Litros de esgoto por ciclo, ou seja 1200L por dia. Para realizar a desnitrificação e a biodesfosfatação com boa eficiência, o enchimento total de cada ciclo foi dividido em 3 vezes (enchimento escalonado), ou seja, 3 fases biológicas dentro de um ciclo (figura 1). O reator foi operado em diferentes estratégias, seja recebendo na primeira fase o volume superior das outras duas fases (150L, 75L, 75L) seja com carga equilibrada nas três fases (100 L, 100L, 100L).



Figura 1: Esquema do funcionamento do reator em batelada seqüencial

O processo era monitorado três vezes por semana através de análises de DQO e Sólidos Suspensos pelo *Standard Methods (1998)* NH₄-N; NO₃-N; NO₂-N; PO₄-P pelo método colorimétrico (*kit da Merck*), em amostras do afluente e do efluente final. Com a concentração de sólidos (SST) na fase máxima de enchimento (última fase de cada ciclo) foi calculada a carga de lodo (kg DQO/kg SST.d) e a necessidade de retirar lodo em excesso. A decantação do lodo era avaliada uma a duas vezes por semana através de diferentes metodologias:

1. Índice Volumétrico de Lodo (IVL): 1000 mL proveta, decantação 30 min, sendo que o nível de lodo era anotado a cada 5 min. O resultado depois de 30 minutos, entra na seguinte equação para o cálculo do Índice Volumétrico do lodo: $IVL = VL_{30min} (mL) / SST (mg/mL)$
No caso do nível do lodo se manter depois de 30 min acima de 250 mL, a amostra tem de ser diluída e a decantação repetida, sendo o resultado multiplicado pelo fator de diluição.
2. Decantação no reator, registrada com uma sonda que mede o nível de lodo) via raios de luz, emitido e refletido na superfície do lodo (Rotária do Brasil Ltda®)
3. Observação da decantação em Becker de 1000 mL, graduado a cada 100 mL
4. Sólidos Sedimentáveis, registrados em Cone Imhoff, após 1 hora de decantação de 1000 mL de lodo.

Cada ensaio da decantação foi concluído com uma análise microscópica, onde foi observada a formação de flocos, o aparecimento de bactérias filamentosas no nível 1 até 7 (Jenkins *et al* 1993) e o aparecimento de protozoários: Amebas, Flagelados e Ciliados livres natantes e fixos.



RESULTADOS

Comparação das diferentes metodologias da decantabilidade no RBS

Durante os quatros meses de observação a decantabilidade do lodo variou bastante. As figuras 2 e 3 mostram exemplos do ensaio da decantabilidade, feito em paralelo com proveta de 1 litro, becker de 1 litro e Cone Imhoff de 1 litro. Esses ensaios foram realizados para avaliar a melhor metodologia para visualizar o processo da decantação no reator RBS. A metodologia no Cone Imhoff foi desenvolvida para analisar o volume de substâncias sedimentáveis no esgoto bruto mas na prática muitas vezes é usada para determinar o volume de lodo ativado. Na comparação dos métodos observou-se que a sedimentação de lodo ativado no Cone Imhoff acontece mais lentamente do que a sedimentação no tanque biológico ou na proveta, e o lodo sedimenta somente até um ponto máximo, bem acima dos outros. As fotos tiradas no dia 8.9.04 (figura 2), com decantabilidade rápida e no dia 22.10. (figura 3) com a decantabilidade lenta, mostram este fato.



Figura 2: Decantabilidade após 5 minutos no dia 8/9/2004

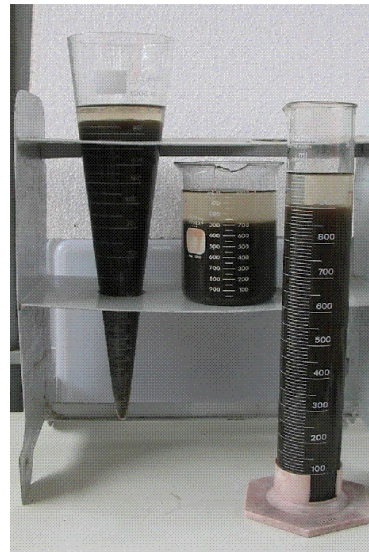


Figura 3: Decantabilidade após 5 min no dia 22/10/2004

A figura 4 mostra alguns exemplos da decantabilidade do lodo ativado no reator (mediada com sonda) ao longo dos 4 meses de operação. Foi marcado para cada decantação o tempo mínimo necessário para poder começar a retirada do efluente final (nível do lodo no reator pelo menos 20 cm abaixo da saída do efluente final). A curva do dia 22.07, por exemplo, mostra que 40 minutos não foram suficientes para terminar o processo da decantação, já no dia 17.8. a decantação necessária foi efetivada depois de 30 minutos e nos dias 8 e 9.09.2004, 6 a 8 minutos foram suficiente para decantar o lodo no reator. Em seguida o tempo de decantação aumentou de novo, 12 minutos no dia 14.9. e 16 minutos no dia 22.9. finalmente 26 minutos no dia 13.10.2004 (figura 4). As figura 5 e 6 mostram os resultados correspondentes, tirados com a Proveta (figura 5, metodologia padrão) e com Becker (figura 6). Tanto a Proveta quanto o Becker mostraram a mesma tendência de decantação que o reator e a decantação na proveta acontecia mais rápida do que no reator e a decantação no Becker ainda mais rápida do que na proveta .

Nos dias com mais rápida decantabilidade (8-9.09), o volume de lodo na proveta, passados 10 min, foi de 250 mL, ou seja, a redução do volume de lodo depois de 10 min foi maior do que 75%. No Becker, contudo, após 10 min já era 80% decantado, mas no RBS ocorreu em 10 minutos somente uma redução de mais ou menos 50% de volume de lodo (figura 4) e a redução máxima de 75% (40cm) foi obtidas somente após 25 min. Num outro dia com decantação lenta, como no dia 13.10.04, por exemplo, a decantação no reator chegou à máxima redução de volume de lodo de 50% (80 cm nível do lodo) depois de 40 minutos (figura 4), na Proveta (figura 5) o lodo passou a 50% de decantação depois de 20 minutos, no Becker depois de 5 minutos (figura 6) e decantou ainda mais até 60% (Proveta) e 70% (Becker) .

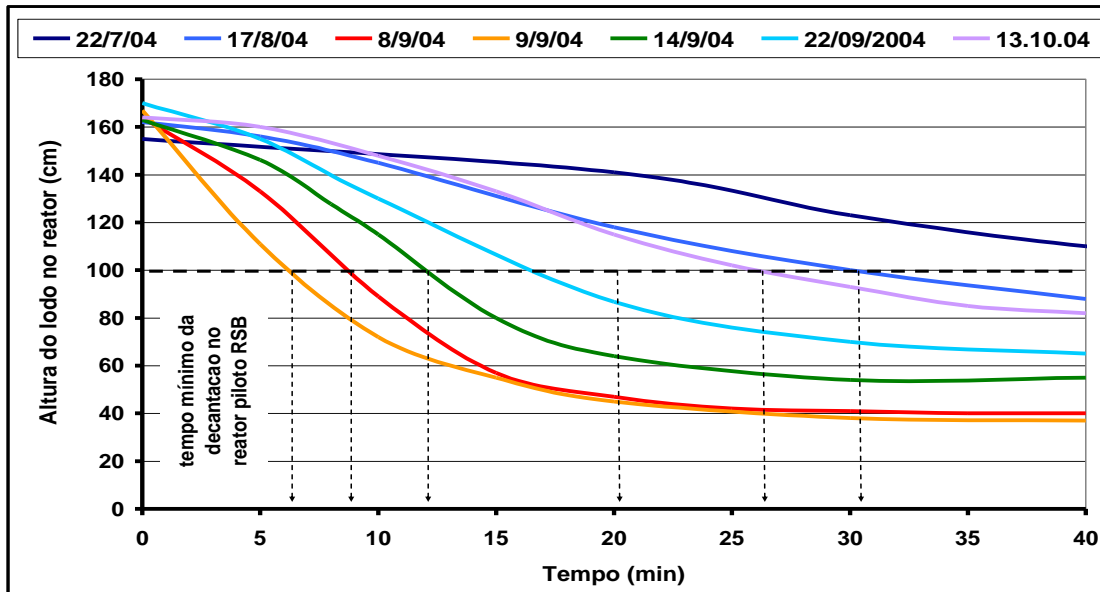


Figura 4: Resultados da decantabilidade no reator (sonda) em dias representativos

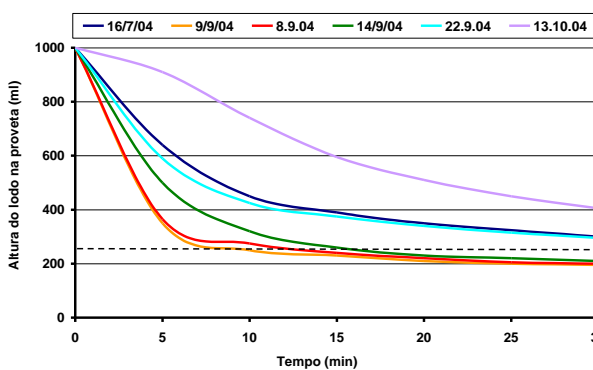


Figura 5: Resultados da medida de volume de lodo com a proveta

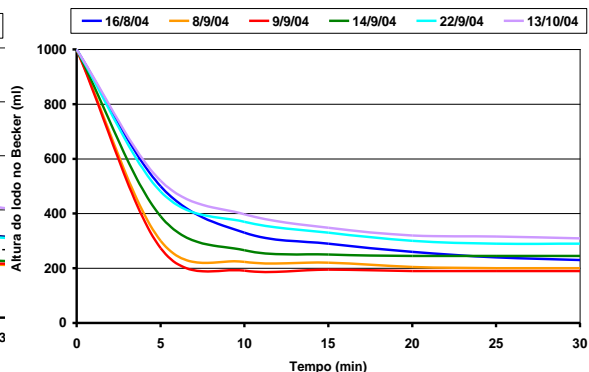


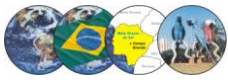
Figura 6: Resultados da medida de volume de lodo com o becker

- O resultado da decantação na proveta se mostrou mais perto da situação real no reator, mesmo assim a medida do nível de lodo diretamente no reator com a sonda se mostrou como melhor opção para avaliar a decantabilidade no reator mesmo.

Grânulos e suas características

Foi então investigado porque a decantação do lodo mostrou essas diferenças significativas. Já a observação da decantação mostrou uma formação visível de micro-grânulos dentro do lodo ativado (figura 7). Isso acontecia exatamente depois que a estratégia do reator foi mudado de carga equilibrada (3*100L) para carga elevada na primeira fase (150L, 75L, 75L) de cada ciclo. No mesmo tempo a concentração do DQO aumentou no esgoto bruto aos valores entre 800 a 2.500 mg O₂/L, não foi possível detectar a razão para o aumento e nem foi possível influenciar a concentração do esgoto. O reator permaneceu 3 meses nessa estratégia e os grânulos cresceram nas primeiras 6 semanas (figura 6), depois desapareceram.

- A velocidade da sedimentação do lodo no reator chegou a seu máximo entre os dias 6-15.9.2004, a 1m/10min (figura 4), ou seja 6 m/h ou 0,17 cm/seg.
- Com a velocidade de decantação máxima também a formação de grânulos chegou a seu máximo, finalmente se formou uma mistura de cerca de 60% de grânulos inferiores a 2mm, cerca de 30% de grânulos entre 2mm e 10 mm e cerca de 20% de grânulo maiores que 10 mm (figura 7).



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

- Com a formação dos grânulos que aumentou a velocidade de decantação, a concentração de SS no efluente final do reator aumentou de 20mg/L até 60 mg/L após 20 min de decantação no reator resultando em concentrações de DQO de até 150 mg/L.

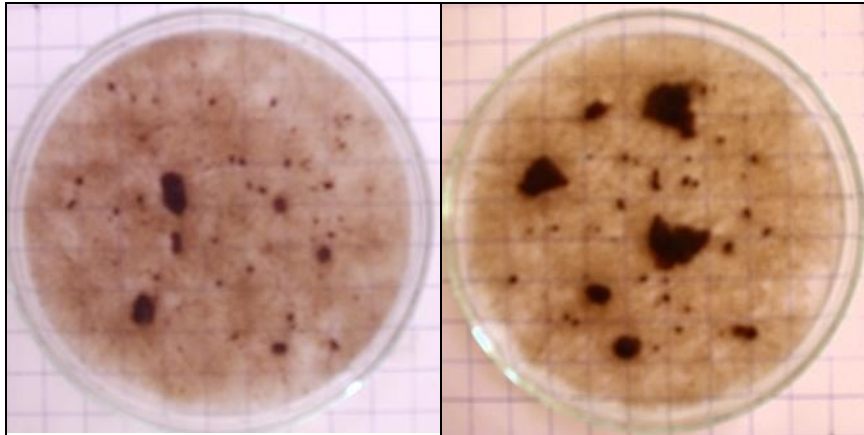


Figura 7: Grânulos de lodo ativado no dia 18.8.2004 e depois 8.9.2004 (dimensões de quadrados: 10mm*10mm)

O ensaio da decantação no Becker mostrou como a decantação rápida de grânulos interferiu na decantação do lodo. A decantação de lodo ativado normalmente acontece lenta com a camada de lodo fechada como mostrou, por exemplo, a figura 3. Nesse processo o próprio lodo forma um tipo filtro que retira na fase da sedimentação quase todos a microflocos e outros sólidos suspensos da fase líquida fixando-os no lodo. Em contrário, a decantação do lodo com grânulos acontecia de forma muito irregular (figura 4), os grânulos caíram mais rápidos do que o lodo, provocando um movimento forte e deixando aberturas (buracos) na camada do lodo. Assim a manta de lodo não servia mais como filtro, não retirou os microflocos da fase líquida e pelo movimento dentro da manta ainda mais microflocos foram liberados.

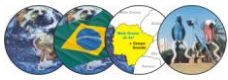
Provavelmente por causa deste efeito indesejável os reatores com grânulos aeróbios vão precisar de um pós-tratamento adicional (Schwarzenbeck *et al.*, 2004), a decantação dos grânulos realmente acontece totalmente diferente do que a decantação do lodo ativado.

Um resultado muito importante foi obtido com a microscopia ótica (figura 8).

- Correspondendo com as experiências de outros autores (Arrojo *et al.*, 2004, Tay *et al.* 2001, Tay *et al.* 2003, Kim *et al.*, 2004), os grânulos aeróbios foram muito resistentes e muito densos.
- A superfície total de cada grânulo estava cheia de micro-metazoários tipo Rotatória *ssp.*, com um excesso destes organismos.
- No período de formação de grânulos, a avaliação microscópica não mostrou nenhuma formação de bactérias filamentosas no lodo ativado.

A ausência das bactérias filamentosas também foi descrita por outros pesquisadores, alguns relacionaram a contribuição de bactérias filamentosas na formação de grânulos com a carga aplicada (Etterer & Wilderer 2001). Uma participação do Rotífero na granulação aeróbia nunca foi observada. Os Rotíferos são micro-metazoários, que aparecem com alta idade de lodo, participam do balanço ecológico como predadores de protozoários e de biomassa morta. Para seu aparecimento intensivo nesse caso existem duas teorias:

1. Como esse RBS não foi operado com tempo mínimo de decantação quase todos os sólidos foram mantidos, houve alta concentração de sólidos suspenso (microflocos) e alta idade do lodo nesse sistema, favorecendo o crescimento dos Rotíferos (que se alimentavam dos microflocos).
2. É possível que as secreções dos Rotíferos, como por exemplo bio-políssacarídeos favoreceram a formação de grânulos, como é observado, por exemplo, na formação de biofilmes.



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

Talvez as duas teorias possam explicar que os Rotíferos cresceram por causa da alta concentração de sólidos suspensos e participaram do crescimento de grânulos, pelo fato de que esse crescimento intenso dos Rotíferos no reator sem grânulos nunca foi observado, nem nos 8 meses anteriores de operação deste reator, nem nos 2 meses posteriores.

Em seguida, as influências de diferentes fatores, como carga orgânica aplicada, concentração de DQO no esgoto bruto, eficiência da nitrificação, desnitrificação e biodesfosfatação, pH; duração das fases aeróbias, anóxicas e anaeróbias foram analisadas para entender melhor o processo da granulação.

- Houve influência significativa da carga orgânica elevada devido a elevadas concentrações de DQO no esgoto bruto. Formaram-se grânulos de lodo ativado na época de concentrações de DQO de efluente continuamente elevada entre 800-2500 mg DQO/L.

Essa DQO era de fácil degradabilidade, ou seja, a concentração de DQO no efluente final não aumentou. A carga orgânica de normalmente 0,2 kg DQO/kg ST*d. aumentou nessa época até 0,45 kg DQO/kg ST*d. Como resultado dessa carga elevada, a nitrificação diminuiu de 100 % até em média 90%, mas no outro lado os processos com dependência a oferta de DQO de fácil degradabilidade, como a desnitrificação e também a biodesfosfatação foram de ótima efetividade de 85% para a desnitrificação e 70% para a biodesfosfatação.

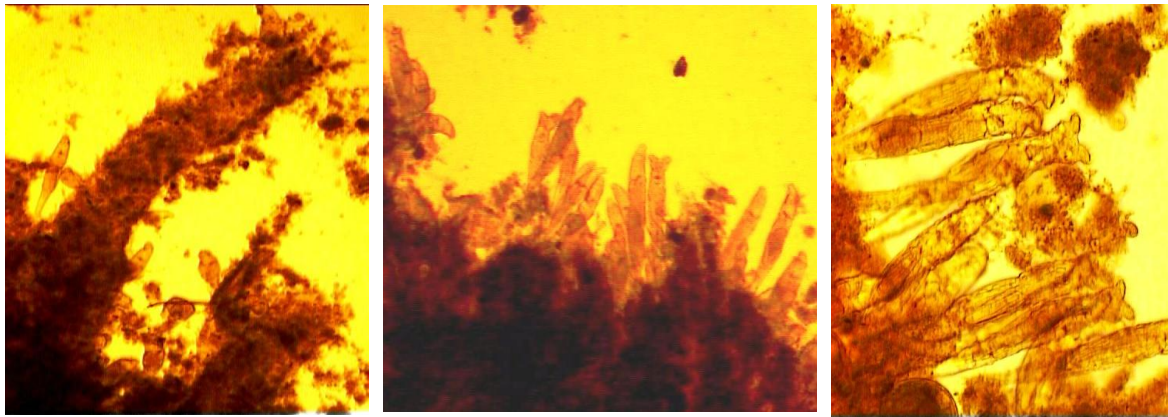


Figura 8: Grânulos de lodo ativado na microscopia ótica Aumento 30vezes, 30 vezes e 100vezes

Com o início da época da chuva o esgoto da rede chegou muito diluído, as concentrações de DQO voltaram para 300-500 mg DQO/L e durante duas semanas todos os grânulos desapareceram junto com os Rotíferos e o lodo voltou para velocidades mais lentas da decantabilidade (figura 4-6). No mesmo tempo os microflocos desapareceram, o efluente ficou cada vez mais clarificado, indicando o funcionamento do filtro de lodo. A nitrificação voltou para 100%, a desnitrificação se manteve abaixo de 70% e a biodesfosfatação variou entre 30-50%. Não foi obtida uma nova granulação, mesmo com alterações nos tempos de fases, como também com alterações de volume aplicado por fase. Muito provavelmente a alta concentração do DQO foi o fator mais importante para a formação dos grânulos.

CONCLUSÕES

Foi observado num sistema de RBS operando com esgoto urbano uma **granulação aeróbia**. Os grânulos tinham forma muito irregular entre 2-15 mm. Os fatores que influenciaram o processo foram a regulação de fases (obtida com alta carga na primeira fase, melhor do que com fases equilibradas):

- A eficiência de remoção nessa fase com grânulos foi muito alta, apresentando 100% em termos de DBO, 90% de DQO, 90% de nitrificação, 85% de desnitrificação e 70% de biodesfosfatação.
- O fator mais importante foi a alta concentração de DQO do esgoto bruto (alta carga).
- Existiu uma participação de micro-metazoários Rotíferos na formação dos grânulos, provavelmente devido ao crescimento por causa da concentração de sólidos em suspensão (sua fonte de alimentação) e excreções de bio-polímeros que favoreceram a agregação do lodo em grânulos.



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

- A decantação foi de 6 m/h ou 0,17 cm/seg, o que significa que 6-8 min seriam suficientes para um reator que normalmente decanta em 45-60 min, mas muito mais tempo deve ser requerido para processos biológicos de alta carga.
- A decantação se mostrou muito diferente para a decantação com lodo normal, os grânulos atrapalham a decantação do lodo resultando em turbidez elevada no efluente.

A granulação pode ser economicamente interessante pois possibilita a implantação de reatores menores com alta atividade e alta eficiência. Para conclusões mais efetivas, é necessário a realização de mais pesquisas nessa área.

AGRADECIMENTOS: Ao CNPq e à CAPES pela concessão de bolsas de estudo e à Rotária do Brasil Ltda pelo fornecimento de equipamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arrojo B, Mosquera-Corral A, Garrido JM, Mendez R. Aerobic gránulotion with industrial wastewater in sequencing batch reactors. *Water Research*. 2004 Aug-Sep;38(14-15):3389-99.

Etterer, T.; Wilderer, P.A.: Generation and properties of aerobic granular sludge. *Water Science and Technology*, Vol. 43, No. 3, 2001.

Jenkins, D.; Richard, M.G.; Daigger, G.T.: *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming*. 2 ed. Chelsea, Michigan 193 p. Lewis Publishers, Inc., 1993.

Kim SM, Kim SH, Choi HC, Kim IS Enhanced aerobic floc-like gránulotion and nitrogen removal in a sequencing batch reactor by selection of settling velocity. *Water Sci Technol*. 2004;50(6):157-62.

Mc Swain, B.S.; Irvine, R.L.; Wilderer, P.A.: The influence of settling time on the formation of aerobic granules. *Water Science Technology*, Vol. 50, No. 10, 2004

Morgenroth, E.; Sherden, T.; van Loosdrecht, M.C.M.; Heijnen, J.J.; Wilderer, P.A. : Aerobic gránulor sludge in a sequencing batch reactor. *Water Research*. 31 (12)

Schwarzenbeck N, Borges JM, Wilderer PA. Treatment of dairy effluents in an aerobic gránulor sludge sequencing batch reactor *Appl Microbiol Biotechnol*. 2005 Mar;66(6):711-8. Epub 2004 Nov 19.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 19th ed, American Public Health Association/American Works Association/Water Environment Federation. Washington DC, USA, 1995.

Tay JH, Liu QS, Liu Y. The effects of shear force on the formation, structure and metabolism of aerobic granules. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2001 Oct;57(1-2):227-33.

Tay, J.H.; Pan, S.; Tay, S.T.L., Ivanov, V.; Liu, Y.: The Effect of Organic Loading Rate on the Aerobic Gránulotion: The Development of Shear Force Theory *Water Science Technology*, Vol. 47, No. 11, 2003