

**XI SILUBESA*****Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental***

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

II-098 - DETERMINAÇÃO DA IDADE DE LODO MÍNIMA PARA NITRIFICAÇÃO EM UM RBS UTILIZADO PARA PÓS-TRATAMENTO DE UM REATOR UASB

Patrícia Guimarães⁽¹⁾

Engenheira Química. Doutora em Engenharia Química.

Henio Normando de Souza Melo⁽²⁾

Professor do DEQ-CCT-UFRN. Engenheiro Químico. Doutor em Engenharia Ambiental.

Paula Frassinetti Feitosa Cavalcanti⁽³⁾

Professor do DEC-CCT-UFCG. Engenheira Civil. Doutor em Engenharia Civil.

Adrianus C. Van Haandel⁽⁴⁾

Professor do DEC-CCT-UFCG. Engenheiro Químico. Doutora em Engenharia Civil. Pós-Doutor em Engenharia Ambiental.

Endereço⁽¹⁾: Rua Águas Formosas, 5034 – Capim Macio - Natal - RN - CEP: 59084-030 - Brasil - Tel: +55 (84) 643-2157 guimaraespaticia@zipmail.com.br

RESUMO

A idade de lodo é um parâmetro fundamental para o definir se haverá ou não nitrificação no sistema aeróbio. As bactérias responsáveis pela nitrificação do esgoto possuem um taxa de crescimento específico inferior as bactérias que metabolizam matéria orgânica e, por este motivo, as nitrificantes necessitam de um tempo de permanência ou idade de lodo maior no reator aeróbio. Se a idade de lodo for curta, o descarte diário de lodo será maior que a taxa de reprodução de bactérias e a nitrificação não ocorrerá. Idades de lodo excessivamente longas implicam em maior consumo de oxigênio e, portanto, maior custo com energia elétrica. O trabalho mostra que a determinação da idade de lodo mínima para que haja nitrificação completa no reator de bateladas sequenciais (RBS) que recebe esgoto doméstico pré-tratado anaerobiamente em um reator UASB pode ser realizada pelo método convencional (reduzindo a idade de lodo até que não haja nitrificação) ou indiretamente através da determinação respirométrica da taxa máxima de crescimento das Nitrosomonas. A investigação experimental mostrou que para idade de lodo maior ou igual a 11 dias toda a amônia é oxidada a nitrato.

Palavras-chave: Idade de lodo, anaeróbio, aeróbio, respirometria, nitrificação.

INTRODUÇÃO

Em um tanque de aeração, o lodo biológico cresce e se multiplica proporcionalmente a quantidade de substrato disponível. Uma vez que alimentação é contínua, a concentração de lodo tende a aumentar podendo atingir níveis excessivos que prejudicam a transferência de oxigênio dissolvido para as células e sobrecarregam o decantador.

Para manter o lodo biológico em uma concentração tal que o sistema metabolize eficientemente o substrato e garanta o bom funcionamento do decantador é necessário que haja descarga diária de lodo em quantidade equivalente a produção diária de biomassa.

A idade de lodo, definido como a razão entre a massa de lodo presente e a taxa de descarga diária de lodo de excesso, é um parâmetro operacional de fundamental importância no projeto e na otimização de um sistema de lodo ativado, pois representa o tempo médio de permanência de lodo no sistema. Este influenciará diretamente na concentração e no tipo de lodo formado e conseqüentemente na performance do sistema e no custo operacional, haja vista que quanto maior a concentração de lodo maior a demanda de oxigênio e, portanto maior o custo de energia para aeração.

As bactérias autotróficas, responsáveis pela nitrificação, possuem taxa de crescimento inferior a das bactérias heterotróficas, responsáveis pela metabolização da matéria orgânica. Isto significa que quando se objetiva a oxidação da amônia a nitrato (nitrificação) é necessário que se aplique uma idade de lodo superior a que seria utilizada caso o sistema fosse operar apenas para remoção de matéria orgânica.

Em sistema de lodo ativado convencional, operados em regiões de clima quente, é possível obter elevada remoção de matéria orgânica e nitrificação em idades de lodo de 3 ou 5 dias. Entretanto, nestas condições, não se consegue obter o mesmo desempenho, principalmente com relação a nitrificação, quando o sistema de lodo ativado é alimentado com esgoto pré-tratado anaerobiamente (Guimarães et al, 2003).

A idade de lodo mínima depende da cinética da nitrificação, que segundo Downing et al (1964) pode ser descrita pelo modelo de Monod. Este valor pode ser determinado diretamente reduzindo progressivamente a idade de lodo do sistema até que não haja mais nitrificação, ou indiretamente através da determinação da cinética de nitrificação. Este trabalho tem como objetivo determinar experimentalmente a idade de lodo mínima para nitrificação em um reator de bateladas seqüenciais que recebe efluente pré-digerido em um reator UASB e compará-lo ao resultado obtido através da determinação respirométrica da taxa de nitrificação seguindo a metodologia proposta por Abreu et al (2000).

METODOLOGIA

O sistema, em escala de piloto, era composto por um reator UASB, um tanque de armazenamento e dois reatores de bateladas seqüenciais (RBS). A Figura 1 mostra uma representação esquemática do sistema. O sistema foi alimentado com esgoto municipal da Cidade de Campina Grande captado do emissário principal que o conduz da cidade para a Estação de Tratamento de Esgoto da Caatingueira. O esgoto era recalcado do poço para um tanque de passagem que alimentava o reator UASB por gravidade.

O reator UASB, de seção circular, foi construído em fibra de vidro e possuía separador de fases do tipo convencional. Com capacidade de 5 m³, esse reator foi operado com vazão constante de 1 m³/h, tempo de detenção de 5 horas. Parte do efluente tratado no reator UASB era encaminhado, por gravidade, para um tanque que armazenava o efluente até que fosse posteriormente tratado no reator RBS.

Os reatores seqüenciais em bateladas operavam em paralelo, ou seja em cada uma das unidades testava-se uma idade de lodo. Construídos em acrílico transparente, os reatores possuíam diâmetro de 0,15m e altura de 0,59m. Foram instalados, em cada unidade, um agitador de paletas com rotação média de 46 rpm, um sensor de nível e dois aeradores (tipo bomba de aquário). Cada reator possuía volume útil de 7 litros, dos quais 3 litros destinavam-se ao volume de lodo que permanecia no reator e o restante (4 litros) correspondia ao volume de esgoto tratado por batelada. Esse reator foi inoculado com lodo aeróbio adaptado ao efluente do UASB.

Os reatores de bateladas seqüenciais foram totalmente automatizados, por um Controlador Lógico Programável (CLP), da marca Siemens, modelo S7-212, que realizava tanto controle, como aquisição de dados de funcionamento do RBS. O RBS operava com ciclo de 1,5 h sendo 60 minutos para aeração, 26 minutos para sedimentação e 4 minutos para descarte e enchimento. As idades de lodo testadas no RBS foram de 4, 7, 9 e 15 dias.

Para avaliação do desempenho do sistema as amostras foram coletadas no esgoto bruto, no efluente do reator UASB, no efluente. Nas coletas pontuais, realizadas duas vezes por semana, foram analisados: pH, Alcalinidade, DQO, NTK, Nitrito, Nitrato. As metodologias de análise seguiram as técnicas preconizadas pelo Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 19th edição (APHA, 1995), com exceção das análises de nitrato, as quais seguiram o método colorimétrico proposto por APHA (1980), e de alcalinidade/AGV, que foram realizadas segundo o método de Kapp (1984) apud Buchauer (1998).

No lodo aeróbio determinou-se a concentração de sólidos suspensos e a taxa de consumo de oxigênio (TCO). Para as análises semanais de TCO, eram coletados 2 litros de amostra do RBS imediatamente após a alimentação e completa mistura e transferidos para o reator de teste no qual acoplava-se um eletrodo de oxigênio YSI (5718) e um agitador magnético. O eletrodo de oxigênio era então ligado ao respirômetro tipo Beluga, desenvolvido na Universidade Federal

de Campina Grande. O respirômetro recebia os sinais dos eletrodos de OD e temperatura e os enviava para o computador, onde o software calculava os valores da TCO. A determinação da TCO era efetuada pelo método semi-contínuo. A agitação durante o teste foi promovida por um agitador magnético tipo bastão. A intensidade da agitação foi cuidadosamente dosada para que fosse apenas suficiente para manter o lodo em suspensão, já que seu excesso poderia provocar absorção de oxigênio atmosférico. A Figura 2 mostra um esquema dos equipamentos e acessórios utilizados na determinação da TCO.

Para determinação da taxa máxima de nitrificação utilizou-se a metodologia proposta por Abreu et al (2000) que consiste em adicionar ao lodo aeróbio, em estado endógeno, um substrato específico para as *Nitrosomonas* em concentração suficiente para atingir a taxa máxima, e determinar a taxa máxima de consumo de oxigênio (TCO) para oxidação deste substrato.

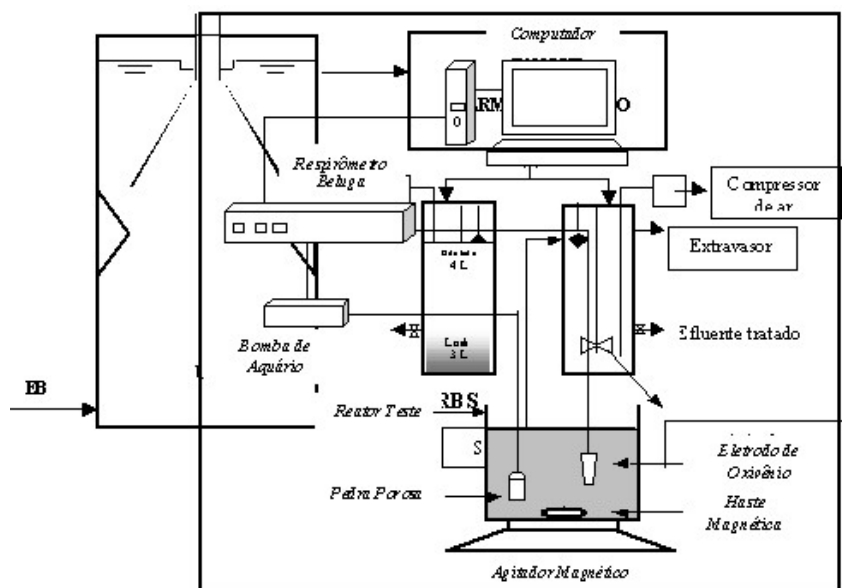


Figura 1: Lay out sistema experimental.

Figura 2: Desenho esquemático dos equipamentos e acessórios utilizados para determinação da taxa de consumo de oxigênio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A operação do reator com idade de lodo (R_s) igual ou menor que 7 dias foi tecnicamente inviável em virtude lodo aeróbio não apresenta boas condições de sedimentabilidade e muitos sólidos serem descartados no efluente final prejudicando a eficiência de remoção de matéria orgânica e de nitrificação, haja vista que a perda de sólidos significa perda de massa de microrganismos.

Este problema está relacionado com a baixa taxa de produção de lodo no RBS. A produção de lodo é função da disponibilidade de substrato no meio. Com o pré-tratamento anaeróbio, a concentração de substrato e a taxa de crescimento das bactérias são reduzidas. Portanto, para idades de lodo de 4 e 7 dias, a taxa diária de descarte era maior que a taxa de produção de lodo.

Outro aspecto negativo relacionado à operação com idade de lodo baixa refere-se à formação de espumas decorrentes da presença de detergentes no esgoto. A formação de espumas para idade de lodo menor que 7 dias era tão intensa que

carreava grande parte da biomassa para fora do reator, provocando instabilidade no processo (redução da nitrificação, formação de floco disperso etc.). No entanto, com idade de lodo maior ou igual a 9 dias, a formação de espumas se dava apenas nos primeiros minutos após início da aeração. Os resultados físico-químicos médios do sistema estão apresentados na Tabela 1. A quase total nitrificação ocorreu para idades de lodo de 11 e 15 dias. Para idade de lodo de 9 dias, obteve-se nitrificação completa nos primeiros dias após a inoculação, mas gradualmente a capacidade de nitrificação foi reduzida e obteve-se apenas nitrificação parcial detectando-se no efluente a presença de amônia e nitrito.

Tabela 1: Resultados físico-químicos médios do sistema UASB-RBS.

Parâmetro/Unidade		Esgoto Bruto	Efluente UASB	Efluente RBS 15 d	Esgoto Bruto	Efluente UASB	Efluente RBS 11 d	Esgoto Bruto	Efluente UASB	Efluente RBS 9 d
SST	(mg/L)	303,0	35,0	6,4	201,0	60,0	6,8	201,0	60,0	7,6
DQO _T	(mg/L)	570	115	46	581	111	52	581	111	53
NTK	(mg/L)	73,0	45,0	1,5	65,0	41,0	1,7	65,0	41,0	8,9
NH ₄ ⁺	(mg/L)	53,0	43,0	0,8	50,0	36,0	1,3	50,0	36,0	6,0
NO ₃	(mg/L)	0,6	0,4	43,0	0,5	0,3	36,0	0,5	0,3	19,5
NO ₂	(mg/L)	0,07	0,10	0,28	0,03	0,02	1,62	0,03	0,02	12,60
Alcal. Total	(mg/L)	370	358	43	392	354	103	392	354	141
pH	-	7,60	7,50	7,20	7,59	7,49	7,59	7,59	7,49	7,73
Temp.	°C	27,5	27,0	27,2	25,1	25,0	24,8	25,1	25,0	24,9
X _v	(mg/L)	--	--	2803	--	--	1988	--	--	1647

A Figura 3 mostra o decréscimo da atividade biológica através do perfil da taxa de consumo de oxigênio (TCO). Foram selecionados os respirogramas obtidos para o 1º, 13º e 41º dias de operação, com idade de lodo de 9 dias, por apresentarem concentrações de nitrogênio afluente relativamente próximas. No primeiro dia de operação, a taxa máxima de consumo de oxigênio, a qual é função da concentração de bactérias autotróficas e heterotróficas, foi alta (115 mg/L.h) e todo o substrato foi consumido em menos de 60 minutos. Este perfil começou a mudar por volta do 13º dia de operação, quando a taxa máxima passou para 99 mg/L.h, e já se observava presença de nitrito no efluente final. Com 41 dias de operação, já com a concentração de sólidos suspensos no licor misto estabilizada, a taxa máxima de consumo de oxigênio foi de 75 mg/L.h.

Os perfis mostram que, do 1º para o 41º dia de operação a TCO endógena cai de 18,5 para 9 mg/L.h. Uma vez que a concentração da biomassa ativa está diretamente relacionada à taxa de respiração endógena, aproximadamente 50% da biomassa foi reduzida em 40 dias de operação. Isto significa que, nessas condições, houve maior oferta de substrato do que a biomassa tem capacidade de metabolizar em 60 minutos de aeração, ou seja, a relação A/M tomou-se alta resultando em um efluente final com amônia e nitrito.

As Figuras 4 e 5 mostram o comportamento das formas de nitrogênio no RBS para idades de lodo de 11 e 15 dias. Nas duas situações, a nitrificação ocorreu em sua quase totalidade durante todo o experimento. A eficiência de nitrificação média foi superior a 95%, em ambas as etapas. Os gráficos de acompanhamento da taxa de consumo de oxigênio ao longo do tempo de aeração (respirogramas), mostram que, nestas condições, todo o substrato (matéria orgânica e amônia) foram metabolizados em tempo inferior ao estabelecido para aeração que foi de 60 minutos.

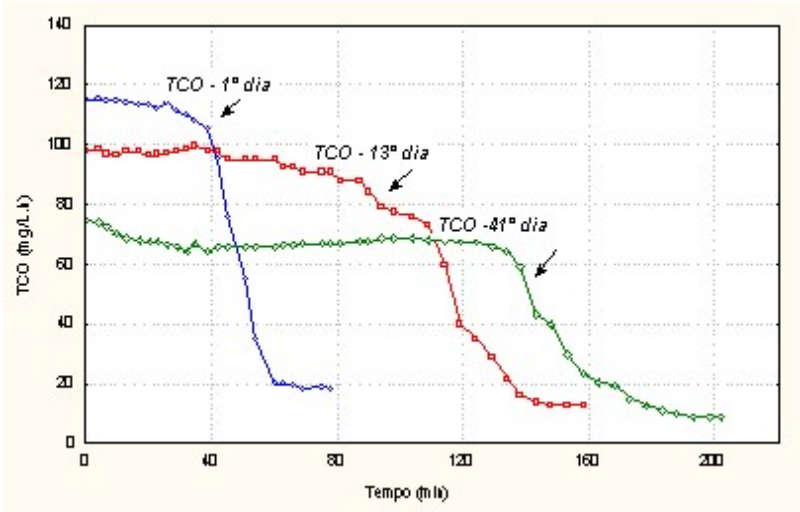


Figura3: Perfis de TCO do 1º, 13º e 41º dias de operação com $R_s=9$ dias.

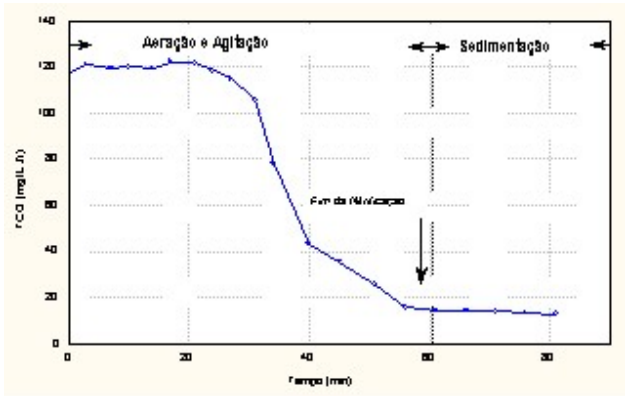
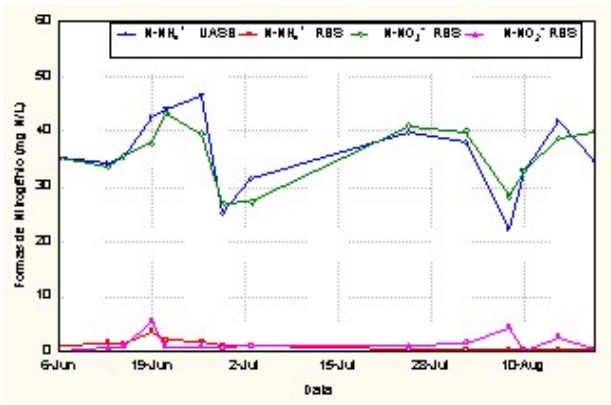


Figura 4: Comportamento das formas de nitrogênio e respirograma para idade de lodo de 11 dias.

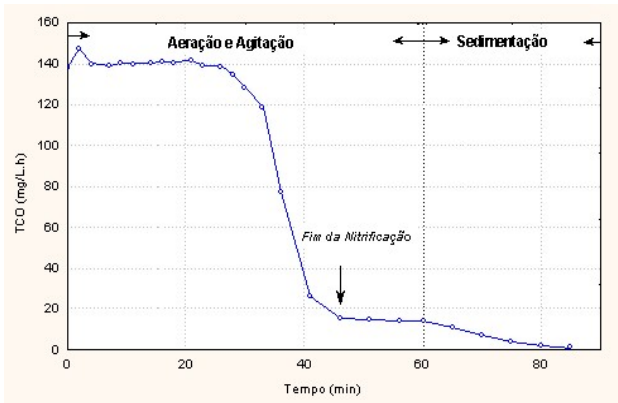
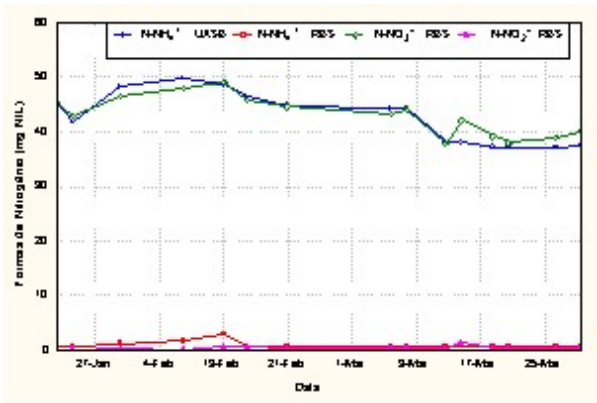


Figura 5: Comportamento das formas de nitrogênio e respirograma para idade de lodo de 15 dias.

Estudo Cinético da Nitrificação

O estudo cinético foi utilizado como ferramenta para determinar a idade de lodo mínima necessária para o crescimento das bactérias nitrificantes. A eficiência da nitrificação depende da idade de lodo e das constantes cinéticas das *Nitrosomonas* (μ_m , b e K_N) que, por terem taxa de crescimento mais lento que as *Nitrobacter*, são os microrganismos controladores do processo.

A Figura 6 mostra um perfil da TCO após adição de 50 mg/L de cloreto de amônio (concentração suficiente para atingir a taxa máxima). A TCO obtida a cada instante representa a taxa de consumo de oxigênio para nitrificação e para respiração dos microrganismos. Assim a TCO referente a oxidação do cloreto de amônio é a diferença entre a TCO total e a TCO endógena.

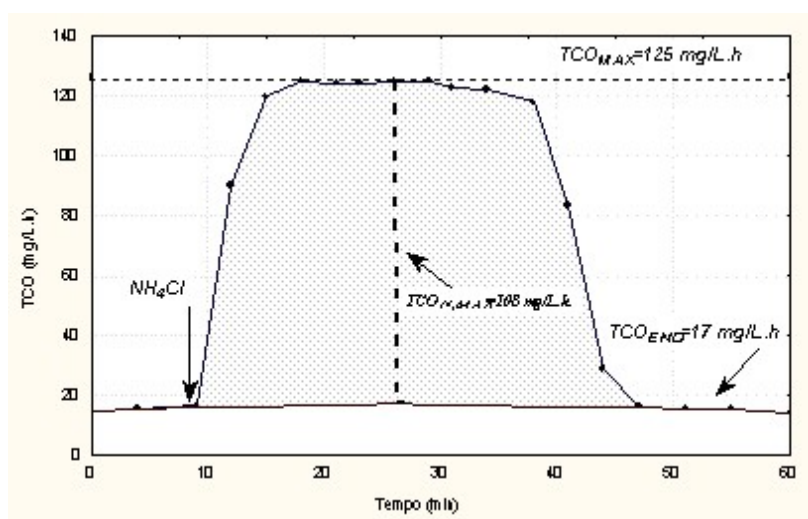


Figura 6: Respirograma obtido após adição de Cloreto de Amônio

O consumo teórico de oxigênio para oxidar os 13 mg de nitrogênio adicionados ($= 50 \cdot 14/53,5$) é de 59,4 mg/L, uma vez que para cada miligrama de nitrogênio oxidado, 4,57 mg de oxigênio são consumidos. Experimentalmente, obtém-se através do cálculo da área hachurada na Figura 6 que o consumo de oxigênio foi de aproximadamente 55,7 mg/L. Este resultado valida o teste experimental.

Uma vez que para cada miligrama de nitrogênio oxidado, 4,57 mg de oxigênio são consumidos, obteve-se a taxa máxima para nitrificação (r_n) como:

$$r_{n,max} = \frac{TCO_{n,max}}{4,57}$$

A taxa máxima de crescimento específico das *Nitrosomonas* (μ_m), independe da concentração de substrato, mas é função da taxa máxima de nitrificação e da concentração de *Nitrosomonas* no reator (X_N):

$$\mu_m = \frac{Y_n r_{n,max}}{X_N}$$

Onde:

Y_n = Coeficiente de rendimento das Nitrosomonas (mgSSV.mgN^{-1})

b_n = Constante de decaimento das Nitrosomonas (b^{-1})

A concentração de *Nitrosomonas* foi determinada em função da idade de lodo, concentração de amônia nitrificado e tempo de detenção hidráulica (Van Haandel e Marais, 1999):

$$X_n = \frac{Y_n R_s}{(1 + b_n R_s)} * \frac{N_c}{R_k}$$

Onde:

N_c : concentração de amônia nitrificada (mgN.L^{-1})

R_s : idade de lodo (d)

R_h : tempo de detenção hidráulica (d)

$$N_c = N_{ta} - N_{te} - N_i$$

Onde:

N_{ta} : concentração de NTK afluente (mgN.L^{-1})

N_{te} : concentração de NTK efluente (mgN.L^{-1})

N_i : concentração de NTK para a produção de lodo de excesso (mgN.L^{-1})

Considerando que em torno de 10% de lodo orgânico se compõe de nitrogênio, a concentração de N_i , pode ser escrita como:

$$N_i = \frac{f_n X_v R_k}{R_s}$$

f_n : fração de nitrogênio em lodo volátil= $0,1 \text{ g.g}^{-1} \text{ SSV}$.

X_v : concentração de sólidos suspensos voláteis no licor misto (mgSSV.L^{-1})

Os resultados dos testes para determinação da taxa de crescimento específico das *Nitrosomonas* estão apresentados na Tabela 2. A concentração das *Nitrosomonas* foi estimada com base nos resultados físico-químicos médios apresentados na Tabela 1.

Tabela 2: Resultados dos testes cinéticos realizados no lodo do RBS

Teste	R _s (d)	SSV (mg/L)	N _c (mg/L)	X _n (mg/L)	r _{n,max} (mg/L.d)	μ _m (d ⁻¹)
1	15	2200	27	215	20,5	0,229
2	15	3000	41	291	37,0	0,225
3	11	2360	33	214	19,8	0,22
4	11	1988	37	243	26,3	0,23
Média						0,23

De acordo com Van Haandel e Marais (1999), para sistema de lodo ativado convencional, pode-se estimar a idade de lodo mínima para nitrificação como:

$$R_{sm} = \frac{1}{\mu_m - b_n}$$

Onde:

μ_m: taxa máxima de crescimento específico das *Nitrosomonas* no RBS (d⁻¹)

b_n: coeficiente de decaimento para as *Nitrosomonas* = 0,05/d (Marais and Ekama, 1976)

No caso específico dos reatores de bateladas sequenciais apenas uma fração de tempo do ciclo (t_c) permanece aerada e como o crescimento das bactérias nitrificantes só ocorre na presença de oxigênio, a taxa de crescimento máxima real (μ'_m) será o produto da taxa de crescimento máxima das *Nitrosomonas* pela fração de tempo que o sistema permanece sob aeração (f_{aer}):

$$\mu'_m = f_{aer} \mu_m$$

Logo a idade de lodo mínima para nitrificação será:

$$R_{sm} = \frac{1}{\left(\frac{t_{aer}}{t_c}\right) \mu_m - b_n}$$

Aplicando às condições testadas no trabalho experimental deste trabalho, ter-se-ia para μ_{max} = 0,23, tempo de ciclo (t_c) = 1,5 h e tempo de aeração (t_{aer}) = 1 h:

$$\mu'_{max} = \left(\frac{1}{1,5}\right) 0,23$$

$$\mu'_{max} = 0,154 \text{ d}^{-1}$$

Por fim,

$$R_{sm} = \frac{1}{(\mu'_m - b_n)} = \frac{1}{(0,154 - 0,05)} = 9,6 \text{ d}$$

Utilizando este procedimento obtém-se que a idade de lodo mínima para que ocorra nitrificação é de 9,6 dias. A

utilização de idade abaixo deste valor implicará em taxa de descarga superior a taxa de crescimento das *Nitrosomonas* e o sistema deixará de nitrificar. Este resultado é próximo ao encontrado pelo método experimental anterior quando se obteve nitrificação parcial com 9 dias e nitrificação total com 11 dias

CONCLUSÕES:

- Para RBS utilizado como pós-tratamento de reator UASB a idade de lodo mínima para nitrificação é superior a aplicada a sistemas de lodo ativado convencional. É inviável a operação com idade menor ou igual a 7 dias;
- Os resultados experimentais mostraram que é possível obter nitrificação completa para idade de lodo maior ou igual a 11 dias, enquanto que para idade de lodo de 9 dias a nitrificação é apenas parcial;
- A determinação da idade de lodo mínima para nitrificação através do estudo cinético da taxa máxima de crescimento específico das *Nitrosomonas* é um procedimento simples e que pode ser executado em poucas horas, ao contrário da metodologia convencional na qual se reduz a idade de lodo até que não haja mais nitrificação (o que pode levar meses de trabalho). A eficácia deste procedimento é mostrado no resultado da idade de lodo mínima para nitrificação que foi muito próxima ao obtido pelo método convencional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABREU, A.F.; CATUNDA, Y.S.C.; GUIMARÃES, P.; VAN HAANDEL, A. Uso da respirometria para a determinação experimental da cinética de nitrificação. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000, Rio Grande do Sul. **Trabalhos Técnicos em CD-ROM...** Rio Grande do Sul, Brasil, 2000.
2. GUIMARÃES, P., MELO, H.N.S, CAVALCANTI, P.F.F & VAN HAANDEL, A. C. Anaerobic-aerobic sewage treatment using the combination UASB-SBR activated sludge. *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 38 (11), 2633-2641, 2003.
3. GUIMARÃES, P. *Modelagem e otimização de um sistema anaeróbio-aeróbio de tratamento de esgoto utilizando o reator UASB e o reator de bateladas seqüenciais*. 2003. 200f. Tese de doutorado – Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN.
4. VAN HAANDEL, A.C. & MARAIS, G. *O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projeto e operação*. Campina Grande/PB: Epgraf, 1999.
5. DOWNING, A.L. & KNOWLES, G. Population dynamics in biological treatment plants. *Water Pollution Control Federation*, p 117-136, 1967.
6. AWWA/APHA/WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th edition. Washington, 1995.