

## II-020 – COMPORTAMENTO DA ATIVIDADE METABÓLICA DAS BACTÉRIAS NITRIFICANTES DE SISTEMA DE LODO ATIVADO SOB DIFERENTES VALORES DE pH

**Heraldo Antunes Silva Filho<sup>(1)</sup>**

Graduado em Tecnologia em Gestão Ambiental pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará (CEFET-CE). Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

**Yanna Maia Derks**

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Campina Grande. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

**Andréa Lemos Porto**

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Campina Grande. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

**Paula Frassinetti Feitosa Cavalcanti**

Professora da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

**Adrianus C. van Haandel**

Professor da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

**Endereço<sup>(1)</sup>** Rua Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó - Campina Grande - Paraíba - CEP: 58109-970 - Brasil - Tel: (83) 3331-4809 - e-mail: [prosab@uol.com.br](mailto:prosab@uol.com.br)

### RESUMO

O emprego de sistemas de lodo ativado no tratamento de águas residuárias tem como objetivos principais a remoção da matéria orgânica e a remoção de nutrientes. Nesses sistemas, a água residuária entra em contato com uma população mista de microrganismos, responsável pela formação dos flocos biológicos. No reator biológico, os flocos de lodo são mantidos em suspensão, através da aeração intensa e ininterrupta. O material suspenso e coloidal presente na água residuária é removido rapidamente por adsorção aos flocos biológicos, sendo hidrolisado e posteriormente metabolizado pelos grupos de bactérias presentes no licor misto. Esse processo por se tratar de um conjunto biológico, sofre grande influência de diversos fatores, desde operacionais a ambientais. Visando contribuir para a evolução de sistemas aerados onde ocorre a nitrificação, foi realizada uma investigação experimental que teve como principal objetivo avaliar a influência do potencial hidrogeniônico (pH), medida da concentração relativa dos íons de hidrogênio numa solução, sobre a cinética das bactérias nitrificantes em sistemas de lodo ativado, utilizando a respirometria como principal instrumento. As concentrações de pH testadas foram pH 4,5,6,7 e 8 e o lodo analisado foi gerado em dois sistemas de lodo ativado tratando o esgoto bruto da cidade de Campina Grande, sendo um com pré-tratamento anaeróbio num reator UASB e outro sem pré-tratamento. A respirometria mostrou ser um método rápido e confiável. Os resultados obtidos demonstraram que tanto os processos de nitrificação quanto o de nitratação são adequadamente descritos pela cinética de Monod. O metabolismo foi afetado sem apresentar atividade em pH 4 e 5, já nos pH's de 6, 7 e 8, a taxa de crescimento específico apresentou crescimento crescente a medida que se elevava pH.

**PALAVRAS-CHAVE:** pH, Bactérias Nitrificantes, Lodo Ativado.

### INTRODUÇÃO

A nitrificação biológica ocorre em ambiente aeróbio, no qual bactérias autotróficas promovem a oxidação do nitrogênio amoniacal para nitrito e deste para nitrato.

A nitrificação ocorre em duas etapas sequenciais: nitrificação e nitratação. Na primeira etapa (nitrificação), as bactérias nitrificadoras oxidam amônia a nitrito. Na nitratação, as bactérias nitrificadoras oxidam o nitrito a nitrato.

As constantes cinéticas do processo de nitrificação variam de uma água residuária para outra. Os principais fatores que influenciam o valor do crescimento máximo das bactérias nitrificantes ( $\mu_m$ ) são: a origem do afluente e as condições operacionais e ambientais (OD, temperatura e pH).

Sobre o pH, sua variação em sistemas de lodo ativado tem relação direta com a alcalinidade, a qual é devida principalmente ao sistema carbônico  $\text{CO}_2 - \text{HCO}_3 - \text{CO}_3$  (LOEWENTHAHL E MARAIS, 1976), a equação 1 relaciona os valores de pH e alcalinidade para esse sistema, os quais são, por sua vez relacionados à concentração de dióxido de carbono presente no licor misto:

$$\text{Alc} = [\text{CO}_2] * 10^{\text{pH}-\text{pK}^*1} * (1 + 2 * 10^{\text{pH}-\text{pK}^*2}) + (10^{\text{pH}-\text{pK}^*w} - 10^{-\text{pK}}) \quad \text{equação (1)}$$

Sendo:

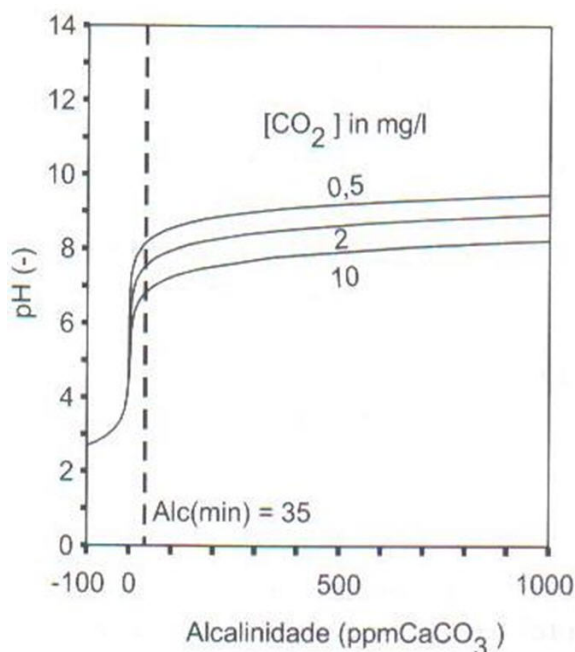
pH = Potencial hidrogeniônico;

$\text{K}^*1$  = Constante de dissociação real do  $\text{CO}_2$  ;

$\text{K}^*2$  = Constante de dissociação real de bicarbonato;

$\text{K}^*w$  = Constante de dissociação real da água.

Segundo van Haandel e Marais (1999), para concentrações de alcalinidade total acima de 35 ppm  $\text{CaCO}_3$  o pH não varia consideravelmente, no entanto, para alcalinidades abaixo dessa concentração, há variações do pH com a alcalinidade, podendo acarretar prejuízos a estação de tratamento de esgoto (ETE) caso esse pH chega a valores extremos (muito ácido ou muito alcalino) danificando a massa biológica responsável pelo tratamento. A figura 1 mostra a variação do pH, onde diversos valores de pH foram calculados em função de diferentes valores da concentração de  $\text{CO}_2$  e Alcalinidade. A redução da alcalinidade de 35 ppm para 0 faz com que o pH caia da faixa neutra para um valor de 4,2 aproximadamente.



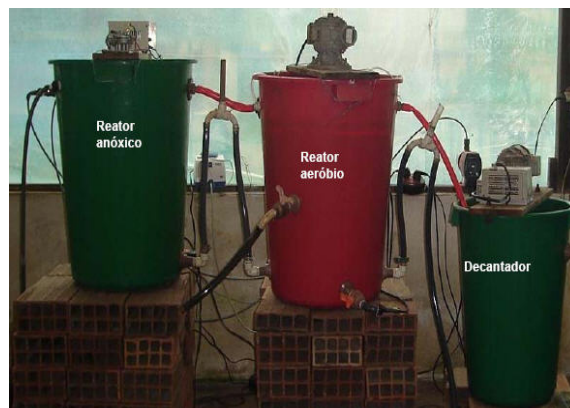
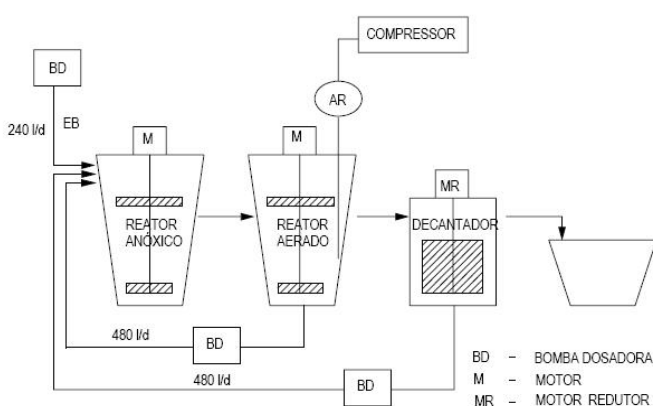
**Figura 1 : Variação da pH em função de diferentes concentrações de  $\text{CO}_2$**

Na nitrificação, o pH tende a diminuir em virtude da geração de íons  $\text{H}^+$  e o conseqüente consumo de alcalinidade. A WPCF (1983) sugere que para um desenvolvimento estável do processo de nitrificação, o pH deve ser mantido próximo à neutralidade.

Diante da influência que os fatores ambientais e operacionais exercem sobre as populações presentes nos sistemas biológicos, em especial, sistemas de lodo ativado, este trabalho procura através da respirometria, caracterizar a influência que diferentes valores de pH exercem sobre o metabolismo do grupo de bactérias autotróficas responsáveis pela nitrificação, facilitando futuros projetos de ETE's e tornando sua operação mais técnica e executável.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi operado um sistema de lodo ativado (LA) (Figura 2), onde o mesmo era um sistema de lodo ativado em escala piloto, constituído de dois reatores sequenciais com 75 litros de volume, cada, e um decantador com 60 litros de volume útil. O primeiro reator (reator anóxico) era operado sem oxigênio, para promover a desnitrificação do nitrato produzido no reator sequencial aeróbio. O licor misto do reator aerado era recirculado, a uma taxa de 480 L/dia, para ao reator anóxico. O reator anóxico também era alimentado, a uma taxa de 480 L/dia, com o lodo do decantador que seguia o reator aerado. O sistema tratava 240L/dia de esgoto coletado de um poço de visita do sistema de esgotamento da cidade de Campina Grande – PB. Devido a necessidade de se promover a nitrificação, a idade de lodo operada foi de 15 dias, sendo descartados 10 litros do licor misto diariamente



**Figura 2: Representação esquemática do sistema LA com localização dos dispositivos de operação e dos reatores assim como do decantador.**

Foram realizados testes respirométricos para se determinar as constantes cinéticas de nitrificação a partir da determinação da taxa de consumo de oxigênio máxima ( $TCO_{max}$ ) e da  $TCO_{end}$ . A  $TCO_{max}$  era obtida após a adição dos substratos, Cloreto de Amônia e Nitrito de Sódio, respectivamente para as nitrificadoras e nitradoras. E a  $TCO_{end}$  era obtida na ausência do substrato e correspondia a respiração endógena.

O procedimento utilizado durante os testes respirométricos era:

1. inicialmente ligava-se o respirômetro;
2. esperava-se 10 minutos para então se calibrar o elétrodo de oxigênio para a temperatura ambiente medida;
3. uma amostra de 1 (um) litro do licor misto era coletada do lodo descartado do reator aerado do sistema LA;
4. antes de iniciar o teste respirométrico, era verificado o pH da amostra para avaliar se este fator ambiental estava adequado para o desenvolvimento da atividade das bactérias nitrificantes;
5. a amostra era então submetida à agitação e aeração controlada pelo respirômetro, a fim de que todo substrato fosse utilizado, estabelecendo uma  $TCO$  contínua e mínima ( $TCO_{end}$ ) correspondente à respiração endógena;
6. quando era estabelecida a respiração endógena eram adicionados, sequencialmente, os substratos específicos para determinação das constantes cinéticas das bactérias nitrificadoras e nitradoras, sendo estes o Cloreto de Amônia e Nitrito de Sódio, respectivamente.
7. depois que o segundo substrato (Nitrito de Sódio) era utilizado, atingindo assim a respiração endógena novamente, era adicionado Carbonato de Cálcio ( $CaCO_3$ ) para se obter valores de pH acima da neutralidade ou Ácido Clorídrico (HCl) para se obter valores de pH abaixo da neutralidade;
8. com o pH do licor misto mais alcalino ou mais ácido (de acordo com a faixa desejada) era novamente adicionado os substratos Cloreto de Amônia e Nitrito de Sódio, obedecendo o mesmo procedimento descrito no item 6.
9. Após o teste com correção do pH, testes posteriores eram realizados para avaliar a recuperação do metabolismo.

Com os resultados obtidos durante os testes respirométricos à diferentes valores de pH é possível determinar a constante de crescimento máxima das bactérias nitrificantes em um tempo curto. A taxa máxima de crescimento específico ( $\mu_{\max}$ ) pode ser determinada quando se conhece a taxa de nitrificação ( $r_n$ ), a concentração de bactérias nitrificantes no reator ( $X_n$ ) e a concentração de amônia no reator ( $N_a$ ) como mostram as equações 1,2,3,4,5 e 6:

$$r_n * Y_n = \mu_{\max} * X_n * [N_a / (N_a + K_n)] \quad \text{equação (1)}$$

Considerando que nos testes respirométricos a quantidade de substrato adicionada foi acima de  $K_n$ , então para  $N_a \gg K_n$ , temos a equação 1 reescrita como segue na equação 2:

$$\mu_{\max} = (r_n * Y_n) / X_n \quad \text{equação (2)}$$

Sendo:

$Y_n$  é coeficiente de rendimento das bactérias nitrificantes ( $0,10 \text{ mgN.L}^{-1}$ );

$X_n$  é a concentração das bactérias autotróficas ( $\text{mg.L}^{-1}$ );

$N_c$  é a concentração de amônia nitrificada ( $\text{mgN.L}^{-1}$ );

$N_a$  é a concentração de amônia afluente ao sistema ( $\text{mgN.L}^{-1}$ );

$K_n$  é a constante de meia saturação de Monod ( $\text{mgN.L}^{-1}$ );

$R_s$  é a idade de lodo (dia);

$r_n$  é a taxa de utilização do substrato, determinada através do teste respirométrico em função da TCO;

$\mu_{\max}$  é a taxa máxima de crescimento específico das bactérias autotróficas sem limitação de amônia.

De acordo com van Haandel & Marais (1999), a concentração de bactérias nitrificantes em função da idade de lodo, concentração de amônia nitrificada e tempo de permanência pode ser determinada como (equação 3):

$$X_n = \frac{Y_n R_s N_c}{(1 + b_n R_s) R_H} \quad \text{equação (3)}$$

Sendo:

$R_H$  é o tempo de permanência (d);

$b_n$  é a taxa de decaimento das bactérias autotróficas (/d).

A concentração de amônia nitrificada se calculava como a diferença da concentração do NTK no afluente e no efluente, subtraindo-se a concentração de N necessário para a produção de lodo (a fração de nitrogênio no lodo é de aproximadamente 0,1).

Por outro lado, a TCO máxima da nitrificação das nitrificadoras é obtida graficamente através dos testes respirométricos e pode ser calculada como (equação 4):

$$TCO_{exo, \max} = TCO_{\max} - TCO_{end} \quad \text{equação (4)}$$

Sendo:

$TCO_{exo, \max}$  é a taxa de consumo de oxigênio exógena máxima ( $\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$ )

$TCO_{\max}$  é a taxa de consumo de oxigênio máxima ( $\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$ )

$TCO_{end}$  é a taxa de consumo de oxigênio endógena ( $\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$ )

Dessa maneira, a taxa de nitrificação ( $r_n$ ) pode ser calculada como (equações 5 e 6):

$$r_{\text{Nitrificadoras}} = \frac{TCO_n}{4,57} \quad \text{equação (5)}$$

$$r_{\text{Nitrificadoras}} = \frac{TCO_n}{1,14} \quad \text{equação (6)}$$

Com os valores de  $X_n$  e  $r_n$  determinados, tornava-se possível determinar a taxa máxima de crescimento específico para amônia, conforme Equação 2:

Após os testes respirométricos com o valores de pH modificado para as faixas desejadas, se esperava períodos determinados de tempos (15min, 1 hora e 1 dia) para novos testes com o mesmo lodo modificando o pH para um valor de neutralidade (item 9). Esse novo teste era para identificar a capacidade de reanimação das bactérias após uma situação de stress, capacidade essa determinada em função da TCO e da  $\mu_{max}$ .

## RESULTADOS

Foram calculadas as constantes cinéticas para os diferentes valores de pH avaliados como pode ser observado na Tabela 01. Na Tabela 02, encontram-se os valores da taxa específica de crescimento máxima ( $\mu_m$ ) após a correção do pH modificado para o pH neutro (a correção do pH foi realizado após um determinado tempo com o pH modificado).

**Tabela 1: Taxa específica de crescimento máxima ( $\mu_m$ ) para os diferentes pH's estudados.**

pH	Nitritadoras	Nitratadoras
4,0	NR	NR
5,0	NR	NR
6,0	0,18	0,04
7,0	0,38	0,23
8,0	0,45	0,25

NR – não reagiu

**Tabela 2: Taxa específica de crescimento máxima ( $\mu_m$ ) após correção do valor do pH modificado por um determinado intervalo de tempo para o pH neutro.**

	Período com o pH modificado	Nitritadoras (dia <sup>-1</sup> )	Nitratadoras (dia <sup>-1</sup> )	Recuperação Nitritadoras (%)	Recuperação Nitratadoras (%)
<b>4,0</b>	15 Minutos	NR	NR	-	-
	1 Hora	NR	NR	-	-
	1 Dia	NR	NR	-	-
<b>5,0</b>	15 Minutos	0,32	0,17	84	74
	1 Hora	0,32	0,15	84	65
	1 Dia	0,31	0,13	82	57
<b>6,0</b>	15 Minutos	0,36	0,20	95	87
	1 Hora	0,35	0,19	92	83
	1 Dia	0,35	0,15	92	65
<b>7,0</b>	Valor de Referência	0,38	0,23	-	-
<b>8,0</b>	15 Minutos	0,41	0,23	108	100
	1 Hora	0,42	0,24	111	104
	1 Dia	0,42	0,24	111	104

A verificação do metabolismo das bactérias nitrificantes quando submetidas a diferentes valores de pH, foi verificado que tanto as nitritadoras quanto as nitratadoras não exibem atividade biológica a valores de pH abaixo de 5,0 e aumentam sua capacidade metabólica quando submetidas a pH igual a 8,0.

Os testes de regeneração das bactérias submetidas a valores de pH iguais a 4,0 e 5,0, através da correção do pH para 7, mostraram que: quando submetidas a pH igual a 4,0, estas realmente morrem, ou seja, não recuperam a capacidade metabólica. Já quando essas bactérias nitrificantes ficam submetidas a um pH igual a 5,0, apenas ficam inativadas naquele pH, recuperando parcialmente sua capacidade metabólica após o restabelecimento do pH neutro.

A atividade metabólica das nitritadoras teve uma redução de 53% quando submetidas a pH igual a 6,0, enquanto que para as nitratadoras a redução foi de aproximadamente 83% para este valor de pH. Quando restabelecido o pH para a neutralidade, recuperaram quase totalmente sua capacidade metabólica.

Esses resultados não confirmam os obtidos por FERREIRA (2002), que demonstraram que as bactérias nitrificadoras eram as mais afetadas quando submetidas a valores de pH ácidos.

A atividade metabólica das bactérias nitrificantes aumentou quando estas foram submetidas a um pH igual a 7,0 e 8,0, conservando em parte essa maior atividade mesmo quando restabelecido o pH neutro. Esses resultados encontrados para o pH 8,0 foram contrários aos encontrados por FERREIRA (2002), que verificou uma diminuição na atividade metabólica das nitrificantes nesse pH alcalino.

Com o valor do pH em 8,0, as bactérias nitrificadoras tiveram um aumento de aproximadamente 18% na atividade metabólica em relação ao pH neutro, enquanto as nitrificadoras tiveram um aumento de 9%. Esses resultados confirmam o que QUEIROZ (2006) havia observado que, para o alcance sustentado de acúmulo de nitrito em sistemas de lodo ativado, deve ser mantido o pH em torno de 8,0.

## **CONCLUSÕES**

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O valor da taxa específica máxima de crescimento ( $\mu_{\max}$ ) das bactérias nitrificantes é significativamente afetado pelo pH do ambiente:

- no intervalo entre o pH 7,0 e 8,0 foi observado o melhor ambiente para o desenvolvimento do processo de nitrificação em sistemas de Lodo Ativado, podendo considerar essa faixa como uma faixa ótima de operação quando se desejar a nitrificação de forma eficiente;
- a um pH de 4,0, ocorre a morte das bactérias nitrificantes quase imediatamente, sem posterior recuperação quando restabelecido o pH neutro ;
- a um pH de 5,0, qualquer atividade das bactérias nitrificantes é inibida mas, há uma recuperação parcial quanto se estabelece o pH neutro;
- a um pH de 6,0, há redução significativa da atividade metabólica das bactérias nitrificantes, principalmente se a exposição for prolongada, mas ao restabelecer-se o pH neutro, grande parte da atividade metabólica é recuperada;
- a um pH de 8,0, ocorre aumento no valor de  $\mu_{\max}$  das nitrificadoras e principalmente das bactérias nitrificadoras.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. FERREIRA, A. F. Uso da respirometria na avaliação da influência do pH na capacidade ativa das bactérias nitrificantes. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2002.
2. QUEIROZ, L. M. Estudo da remoção biológica de nitrogênio via nitrito utilizando fenol como fonte de carbono operando um reator em bateladas sequenciais (SBR) em escala piloto. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006.
3. LOEWENTHAL, R. E e MARAIS, G.v.R. Carbonate Chemistry of Aquatic Systems: Theory and Application. Ann Arbor Science, Michigan, U.S.A. 1976.
4. WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION : Wastewater treatment plant design. Lancaster Press Inc., Lancaster. 1983.
5. VAN HAANDEL, A. C. & MARAIS, G. O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projetos e operações. Campina Grande – PB: Epgraf. 1999.