

## II-247 – INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE SAL NA ATIVIDADE METABÓLICA DO LODO E NA TAXA DE TRANSFERÊNCIA DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO

**Andreza Costa Miranda<sup>(1)</sup>**

Engenheira Sanitária e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutoranda em Engenharia Ambiental na UEPB.

**Adrianus van Haandel<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Químico pela Eindhoven University of Technology e mestre em Engenharia Química pela Eindhoven University of Technology. Doutor em Engenharia Civil pela University Of Cape Town. Professor Doutor da Universidade Federal da Paraíba.

**Wilton Silva Lopes<sup>(3)</sup>**

Químico Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Doutor em Química pela Universidade Federal da Paraíba. Professor Doutor pela Universidade Estadual da Paraíba

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Antônio José Santiago, 215 - Bongocongó – Campina Grande - PB - CEP: 58430-015 - Brasil - Tel: (83) 88499419 - e-mail: [dezacm@gmail.com](mailto:dezacm@gmail.com)

### RESUMO

A aeração em sistemas biológicos de tratamento de esgotos tem como objetivo fornecer o suprimento adequado de oxigênio para os microrganismos e a homogeneização do meio, de tal forma que a massa bacteriana tenha contato efetivo aos substratos: material orgânico e oxigênio. Dentre os fatores que podem afetar o desempenho dos sistemas biológicos, a exemplo do processo de lodo ativado, são o suprimento adequado de oxigênio, as características de sedimentação do lodo gerado no reator e a qualidade do afluente à estação. Desta forma para melhor avaliar a eficiência de aeração no meio líquido foi utilizada a constante de aeração  $K_L a$  e para avaliar a capacidade metabólica do lodo foi a partir da determinação da TCO máxima ( $TCO_{max}$ ) e da TCO endógena ( $TCO_{end}$ ). Ambas as avaliações seguem os métodos respirométricos. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência de sais dissolvidos sobre a taxa de transferência de oxigênio em águas residuárias e atividade metabólica do lodo. Os estudos realizados neste trabalho demonstraram que o aumento da concentração do NaCl causa efeito inibitório em sistemas de lodo ativado resultando numa diminuição repentina da atividade bacteriológica, embora não afete diretamente na capacidade de oxigenação do aerador.

**PALAVRAS-CHAVE:** Respirometria, Constante de transferência de aeração ( $K_L a$ ), Efluente salino.

### INTRODUÇÃO

Atualmente o sal é considerado um fator comum de instabilidade em estações de tratamento de águas residuárias, especialmente no âmbito industrial. Indústrias de processamento de frutos do mar e de conservas, curtumes, fabricação de queijo, produção de químicos farmacêuticos e indústrias petrolíferas geram efluentes com elevadas concentrações de sais inorgânicos. Outra fonte de efluentes salinos provém da infiltração da água do mar em regiões costeiras e do chorume de aterros sanitários.

O sal pode ter um efeito significativo na taxa de consumo de substrato, o mesmo pode ocasionar a inibição das enzimas, afetando diretamente na sua atividade de oxidação da matéria orgânica. Além de alterar a atividade e fisiologia do consórcio microbiano, o efeito salino, compromete diretamente a estrutura e as características de sedimentabilidade do flocos microbiano, como também a diminuição da diversidade da população de microrganismos encontrados em sistemas biológicos, tornando os sistemas de ETE problemático (DALMACIJA *et al.*, 1996).

Os problemas causados pelo aumento da salinidade na alimentação de ETE afeta de imediato a eficiência da biodegradação da matéria orgânica e depois as características do flocos, tamanho e dimensão fractal.

Para atender aos objetivos propostos neste trabalho, os experimentos foram desenvolvidos em duas etapas:

- 1) A determinação da constante de transferência do aerador em sistema de lodo ativado em função da concentração de sal (NaCl) e;
- 2) Aplicação da respirometria para determinar a influência da concentração de sal (NaCl) sobre a atividade metabólica do lodo.

Para determinar a constante de transferência de oxigênio e atividade metabólica do lodo foram realizados testes respirométricos, do tipo aberto e de forma semicontínua. Um aerador era ligado ao respirômetro, que controlava a aeração através do software S4.0C, que acompanha o equipamento. O respirômetro ativava o aerador, quando a concentração de OD atingia um limite inferior estabelecido, desativando-o quando este atingia um limite superior também estabelecido, iniciando ciclos de períodos com e sem aeração. Desta maneira determinava-se a TCO semicontinuamente (VAN HAANDEL e CATUNDA, 1982). Os dados de TCO, OD e temperatura foram registrados automaticamente, através do software em arquivos do Excel.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado em béqueres de 2 litros usando licor misto proveniente de um sistema de lodo ativado. Foram realizados 2 experimentos sob diferentes condições, porém todas com o objetivo de se avaliar a influência da concentração do sal (NaCl) sobre o sistema de lodo ativado. O primeiro tinha como objetivo determinara constante de transferência do aerador ( $K_{La}$ ) e o segundo avaliar a atividade metabólica do lodo. A respirometria foi utilizada no acompanhamento dos dados e controle de oxigênio dissolvido em cada teste. O respirômetro utilizado foi o Beluga S4.0C.

### PRIEMIRA ETAPA

*Experimento 1:* Nesse experimento foram ajustadas 14 diferentes concentrações de sal (NaCl) e posteriormente determinado o valor de  $K_{La}$  para cada concentração. As concentrações eram ajustadas com adição gradativa de sal no reator com volume de 1 litro do licor misto. As concentrações testadas foram de 2g/L, 4g/L, 6g/L, 8g/L, 10g/L, 12g/L, 14g/L, 16g/L, 18g/L, 20g/L, 30g/L; 40g/L e 50g/L.

Para o primeiro experimento foi necessário estabelecer uma concentração de oxigênio mínimo (déficit de oxigênio) e oxigênio máximo do licor misto posterior aeração com microcompressor de ar com pedra difusora na extremidade de saída de ar, presas no fundo do reator, o aparelho garantia uma vazão de 8L/min e uma potência de 30 w. Com esse procedimento eram obtidas as curvas de OD em função do tempo (curva de saturação) em que se tornava possível o cálculo de  $K_{La}$  e CO. O déficit de oxigênio no licor misto era realizado através da própria atividade metabólica do lodo, quando era interrompida a injeção de ar e a massa bacteriana consumia todo o oxigênio dissolvido do meio.

Para determinar a capacidade de oxigenação precisou-se correlacionar a variação da concentração de OD durante aeração com o tempo de aeração, ou seja, enquanto a concentração de OD não adquiria seu valor de equilíbrio, seu valor foi expresso em função do tempo pela integração da equação diferencial (02):

A equação 01 é utilizada quando a concentração de OD não adquire seu valor de equilíbrio:

$$OD_t = (OD_s - TCO/K_{La}) * (1 - \text{Exp}(-K_{La}t)) + OD_o * \text{Exp}(-K_{La}t) \quad (\text{Eq. 01})$$

Sendo:

$OD_o$  = concentração de oxigênio no tempo inicial ou no começo da aeração (mgO/L);

$$(dOD/dt) = K_{La} * (OD_s - OD_t) \quad (\text{Eq. 02})$$

Sendo:

$dOD/dt$ : taxa de transferência de oxigênio ( $mgO_2/L/h$ );

$OD_s$ : concentração de  $O_2$  de saturação no licor misto ( $mgO_2/L$ );

$OD_t$ : concentração teórica de  $O_2$  ( $mgO_2/L$ );

$K_L a$ : constante de transferência de oxigênio ( $h^{-1}$ ).

Para ser validado o método na determinação do  $K_L a$  a partir da integração da equação diferencial (Eq. 02), a TCO tem que permanece constante durante o intervalo da integração.

A metodologia a seguir descreve as etapas do ensaio que determinou o valor de  $K_L a$  a partir da equação 01:

(a) Os equipamentos foram colocados em condições normais de operação, o aerador com condições de operação referente a velocidade e imersão, e o eletrodo sob condições de OD de saturação em função da temperatura ambiente e altitude local;

(b) Deixava o licor misto sobre agitação e emergia o eletrodo de OD, ligado ao respirômetro, dando início aos ciclos com e sem aeração, tendo como referências a concentração máxima de OD de  $8mg/L$  e mínima de  $1mg/L$ . O software do respirômetro calculava a TCO, por regressão linear, através dos dados de depleção de OD;

(c) No béquer eram incrementadas as diferentes concentrações de sal, e para cada concentração era estabelecida uma nova série, período de aeração e interrupção de aeração. Determinava-se então o valor da TCO e variação da concentração de OD em função do tempo;

(d) Para cada série os valores de OD e da TCO eram armazenados no computador, numa planilha Excel, que o software criava automaticamente;

(e) Com os dados obtidos na planilha eletrônica Excel, plotaram-se a curvas experimentais de OD em função do tempo e, com a Equação 01, plotaram-se curvas teóricas também de OD em função do tempo com diferentes valores teóricos de  $K_L a$ , sendo o valor real de  $K_L a$  determinado por aquele que melhor correlacionou curva experimental com curva teórica.

A Figura 1 contém o respirograma obtido no teste com o licor misto em diferentes concentrações de sal (NaCl), para a determinação da constante de transferência do aerador. A tela apresenta dois gráficos. No gráfico inferior, observa-se a TCO em função do tempo, expressa em  $mgO_2.L^{-1}.h^{-1}$ . No gráfico superior vê-se a concentração do OD em função do tempo. Traçado a partir dos dados do OD medidos durante os períodos com aeração (quando atingia concentração máxima de OD) e os sem aeração, quando a concentração do OD era reduzida.

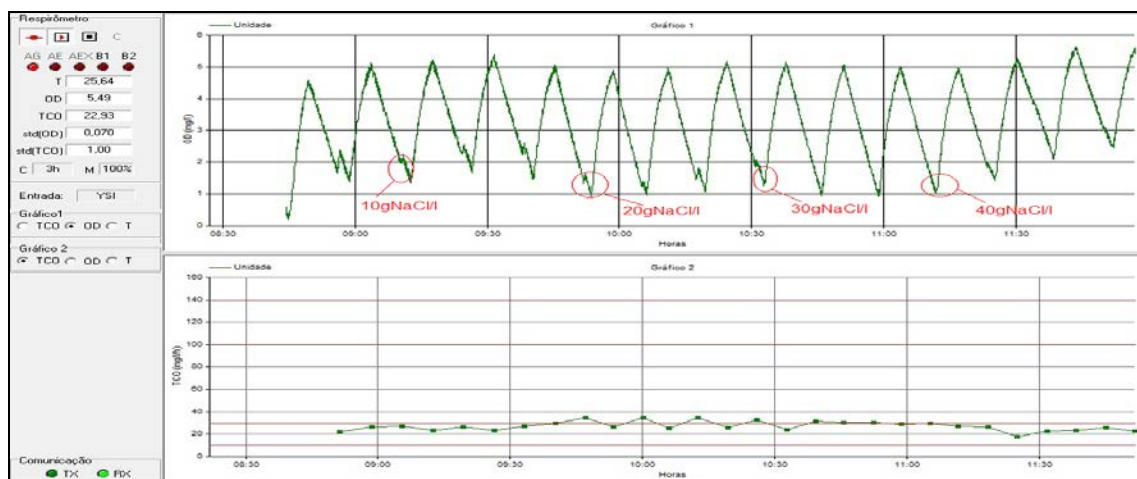


Figura 1: Layout do respirograma gerado pelo respirômetro para determinação de  $K_L a$ .

## SEGUNDA ETAPA

**Experimento 2:** No segundo experimento avaliou-se o efeito das 05 diferentes concentrações de sal adicionadas gradativamente ao béquer sobre a atividade metabólica do lodo. As concentrações testadas foram de 10g/L, 20g/L, 30g/L, 40g/L e 50g/L.

Neste experimento determinou-se as constantes cinéticas das bactérias heterotróficas, a partir da determinação da TCO máxima ( $TCO_{máx}$ ) e da TCO endógena ( $TCO_{end}$ ). A finalidade era verificar a capacidade metabólica do lodo, através da influência das diferentes concentrações do sal (NaCl).

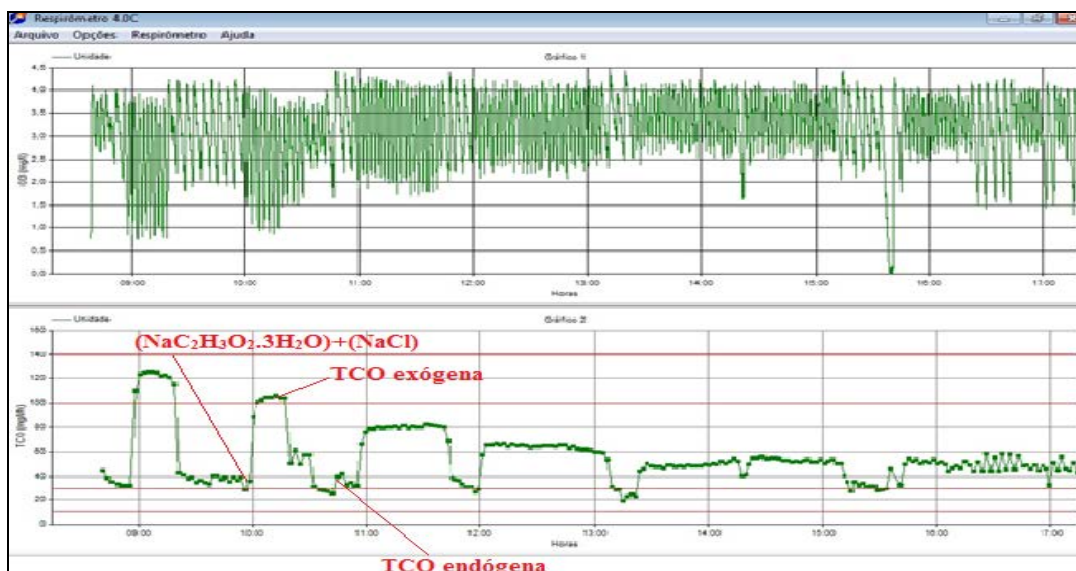
Para realização dos testes respirométricos com bactérias heterotróficas, foi utilizado o substrato acetato de sódio ( $NaC_2H_3O_2 \cdot 3H_2O$ ), por ser rapidamente consumido por elas.

Segue o método utilizado durante os testes respirométricos, com suas respectivas etapas:

- Os equipamentos eram configurados nas condições de operação;
- Uma amostra de licor misto era submetida à agitação e a aeração, que era controlada pelo respirômetro. Quando a amostra estava nas condições de respiração endógena, adicionava-se a concentração de sal desejada para o ensaio; concentração inicial de 10 g/L à 50 g/L. As concentrações de sal eram adicionadas de forma gradativa. Concomitantemente, adicionava-se o substrato (acetato de sódio), posteriormente era registrado pelo respirômetro a TCO exógena. As diferentes concentrações de sal representavam uma série de experimentos. O substrato era adicionado sempre na mesma concentração para cada série.

A partir do método descrito e com o auxílio da teoria de lodo ativado desenvolvida por Marais e seus colaboradores, determinavam-se as constantes cinéticas das bactérias heterotróficas: concentração do lodo ativo ( $X_a$ ), taxa de utilização específica máxima do substrato solúvel ( $K_{ms}$ ) e a taxa de crescimento específica máxima ( $\mu_{máx}$ ).

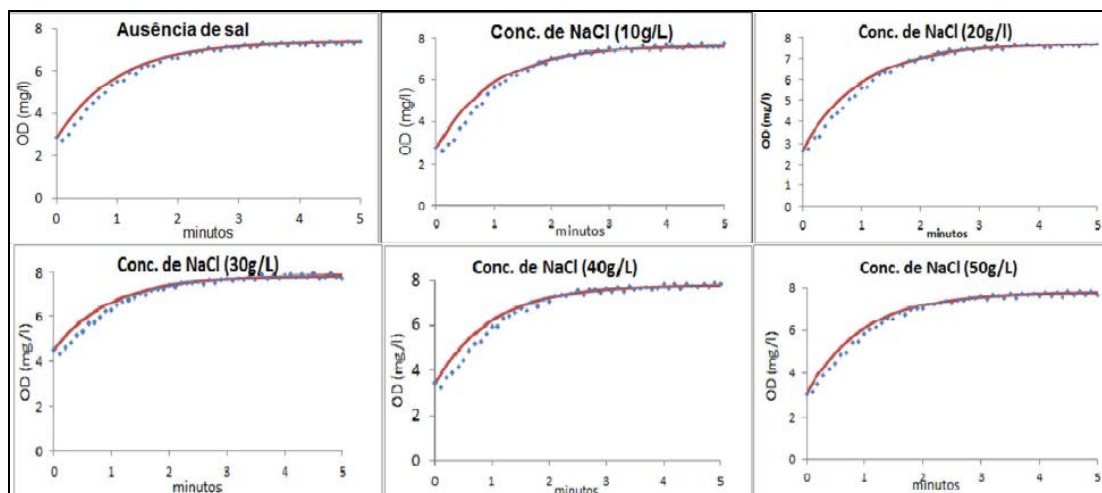
Na figura 2 apresenta-se o respirograma característico para a realização dos ensaios experimentais na determinação da influência da concentração do sal (NaCl), sobre a atividade metabólica do lodo. Durante um teste respirométrico realizado com uma batelada de lodo aeróbio, no qual foram utilizados diferentes concentrações do NaCl.



**Figura 2:** Layout do respirograma obtido da TCO após a adição de substrato ( $NaC_2H_3O_2 \cdot 3H_2O$ ), e sal (NaCl), a uma batelada de lodo ativado.

## RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

A partir das diferentes concentrações do sal pesquisadas e os pontos medidos de 6 em 6 segundos pelo respirômetro durante o período de aeração, juntamente com as curvas do valor teórico de OD em função do tempo, com o auxílio da equação (01), obteve-se os valores de  $K_L a$  e de ODs. Os resultados mostraram para todos os casos que foram possíveis obter excelentes correlações entre o experimento e a teoria, desde que se selecionassem os valores certos de  $K_L a$  e ODs. Os valores que davam a melhor correlação eram então adotados como os valores verdadeiros de  $k_L a$  e ODs, para cada uma das concentrações do sal utilizadas. A figura 3 contém os gráficos que representam o período de aeração experimental e as curvas do valor teórico de OD em função do tempo.

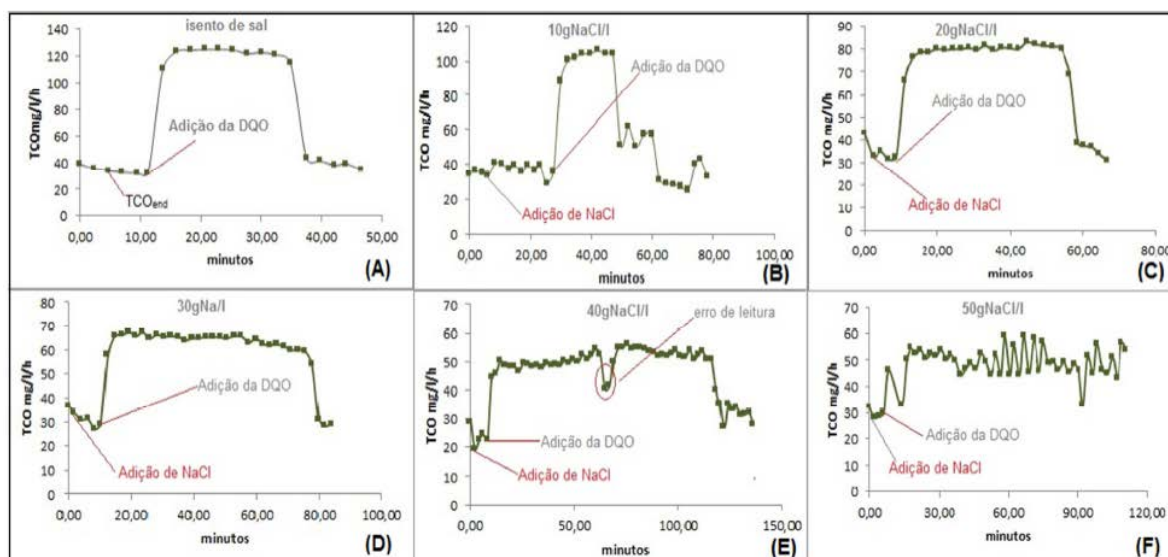


**Figura 3: Simulações para diferentes valores da concentração de sal (0 à 50 gNaCl/L) da variação da concentração de OD para valores de  $K_L a$  e a concentração experimental de OD medida em função do tempo.**

No primeiro experimento observou-se que para cada concentração do sal estudada, notou-se que a constante de transferência de aeração não dependeu da concentração do sal. Ressaltou-se que os valores de  $K_L a$  para todas as concentrações permaneceram em 1/min e os valores de ODs em 8mg/L. Tendo-se em vista que a capacidade de oxigenação do aerador é proporcional com a constante de transferência, conclui-se que em sistemas tendo licor misto com uma concentração do sal de até 50g/L, a capacidade de oxigenação do aerador não será afetada.

## RESULTADO DA SEGUNDA ETAPA

Na figura 4 observam-se os respirogramas utilizados para as determinações da TCO. Nos experimentos foram verificadas e quantificadas as atividades metabólicas das bactérias em diferentes concentrações de NaCl usando-se as mesmas concentrações de acetato de sódio (120 mg/L).



**Figura 4: Respirogramas típicos dos testes de TCO para determinação da atividade metabólica das bactérias heterotróficas em diferentes concentrações de NaCl**

A figura 4 reproduz o comportamento da atividade metabólica frente à adição do sal, a respiração endógena ( $TCO_{end}$ ) quando estabelecida adicionava-se o sal e em seguida o substrato, aumentando rapidamente a TCO até atingir o seu valor máximo. Durante o tempo a  $TCO_{exo}$  permanecia constante, refletindo a taxa máxima do metabolismo do substrato adicionado. Esta fase permitia calcular o valor máximo da taxa de respiração exógena ( $TCO_{exo}$ ). Quando o substrato adicionado era completamente consumido a  $TCO_{end}$  era restabelecida a posição anterior, com um ligeiro acréscimo a  $TCO_{end}$  inicial. A partir deste foi possível determinar alguns aspectos importantes da estequiometria da cinética do metabolismo do substrato e da massa bacteriana (heterótrofas) do lodo. No caso das bactérias heterotróficas estes aspectos são: (1) Proporção anabolismo/catabolismo, esta era calculada a partir do consumo de oxigênio para respiração exógena; (2) A concentração do lodo ativo que era calculada diretamente da  $TCO_{end}$  e (3) A constante de crescimento máximo e a constante de utilização do material orgânico eram calculados a partir do valor da respiração exógena máxima.

A figura 4 (A) corresponde o respirograma na ausência do sal, o substrato foi metabolizado no período de 25 minutos e a TCO atingiu o seu valor máximo de 122mg/L/h. A partir daí à medida que o substrato era utilizado, a TCO diminuía até restabelecer o seu valor mínimo. Esse resultado foi utilizado para comparar e avaliar o comportamento da atividade metabólica na presença de efluente salino nos ensaios subsequentes.

Em geral, a partir dos resultados subsequentes, observados nos experimentos – (B), (C), (D) e (E) – analisou-se que a  $TCO_{exo}$  diminuía, e seus valores máximos atingidos eram substancialmente inferiores aos efluentes ausentes de sal, ressalva-se que efluentes salinos dificultam a assimilação do substrato (acetato de sódio) pelas bactérias, sendo este um material considerado rapidamente biodegradável, com isto, o tempo de consumo do substrato para efluentes salinos eram elevados.

No experimento (F), observou-se que não foi possível determinar a cinética do metabolismo do substrato através das bactérias heterotróficas com o auxílio da respirometria, ficando claramente visível que as bactérias não metabolizaram o substrato com a presença de 50gNaCl/L. Sendo provável a inibição e/ou perda da atividade metabólica para essa concentrações do sal.

Na tabela 1 estão descritos os valores calculados da concentração de lodo ativo ( $X_a$ ), constante de utilização do substrato ( $R_{us}$ ), constante de utilização do material orgânico ( $K_{ms}$ ) e constante de crescimento máximo ( $\mu_m$ ).

**Tabela 1: Dados calculados das constantes cinéticas do metabolismo**

Conc. de NaCl (g/l)	TCO <sub>max</sub>	TCO <sub>end</sub>	TCO <sub>exo</sub>	X <sub>a</sub>	R <sub>us</sub>	K <sub>ms</sub>	μ <sub>m</sub>
0	122,60	33,06	89,54	2361,32	6612,18	2,80	1,26
10	103,78	29,36	72,14	2097,14	5327,26	2,54	1,14
20	80,28	33,06	47,22	2361,43	3487,02	1,48	0,66
30	63,58	27,83	35,75	1987,86	2640,00	1,33	0,60
40	51,48	25,12	26,37	1883,57	1855,02	0,98	0,44

Na tabela 1 observa-se que a influência de efluente salino no sistema de lodo ativado resultou numa diminuição da taxa do consumo de oxigênio da biomassa, sem que esteja relacionada a uma diminuição da carga orgânica aplicada nos testes. Apesar de ter sido observado uma leve diminuição da concentração da biomassa ativa dentro do reator durante o período dos testes, a taxa de utilização do substrato diminuiu muito com o aumento da concentração de sal no licor misto, apontando um efeito inibitório do sal.

## CONCLUSÕES

Os resultados da investigação experimental com objetivos de determinar a influência da concentração de sal sobre a capacidade de aeração do aerador, e determinar o efeito de diferentes concentrações do sal sobre a atividade metabólica do lodo, levaram as seguintes conclusões:

Para as concentrações do sal analisadas, observou-se que a constante de transferência de aeração ( $K_{La}$ ) permaneceu constante em todos os ensaios, deste modo, concluiu-se que concentrações do sal (NaCl) até 50g/L, não afetou diretamente na capacidade de oxigenação do aerador.

A relação específica entre a presença de NaCl com a constante de transferência de aeração obteve resultados confiáveis, verificando que a presença elevada de sal não afetou diretamente a constante  $K_{La}$ . Os resultados mostraram que embora as relações lineares entre  $K_{La}$  e concentração de sal tenham sido observadas com frequência em todos os ensaios, os valores de  $K_{La}$  são fortemente dependentes do sistema estudado, em particular, do tipo de difusor de ar e principalmente da característica do licor misto.

O aumento da concentração do sal (NaCl) acarretou decréscimo na taxa de consumo de oxigênio (TCO<sub>exo</sub>), que caiu de 122,6mg/L/h para 51,48mg/L/, com a concentração de sal de 40g/L. Os experimentos utilizados ao longo de uma batelada de ensaio, permitiram verificar que o incremento do teor de sal causou efeito deletério sobre a taxa específica de consumo do substrato. O efeito inibitório do sal em sistemas de lodo ativado resulta numa diminuição repentina da atividade bacteriológica, o qual foi detectado pelo respirômetro.

A constante de utilização do material orgânico ( $K_{ms}$ ) e a constante de crescimento máximo ( $\mu_m$ ) observados nos ensaios atingiram uma redução de 65%. A concentração de lodo reduziu 20% da concentração inicial, uma redução relativamente baixa, no entanto, a capacidade metabólica do lodo ativo foi afetada como observado nos respirogramas dos experimentos. Por este fato, considera-se que o tempo de aclimação é necessário para permitir que os microrganismos responsáveis pela oxidação do substrato realizem suas atividades metabólicas do lodo adequadamente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE). **Aeration - A Wastewater Treatment Process** (ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 68); 1988.
2. KARGI, F., UYGUR, A., 2005. **Improved Nutrient Removal from Saline Wastewater in an SBR by Halobacter Supplemented Activated Sludge**, Environmental Engineering Science, v. 22, p: 170-176.
3. KARGI, F.; DINÇER, A. R. **Effect of salt concentration on biological treatment of saline wastewater by fed-batch operation**. Enzyme & Microbial Technol., v. 19, p: 529-537, 1996.
4. OLIVEIRA, G.S.S.; ARAÚJO, C.V.M.; FERNANDES, J.G.S. **Activated sludge system microbiology and its relationship with the industrial effluents treatment: the experience of the Cetrel**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 14, n. 2, p: 183-192, 2009.
5. SOBRINHO, P. A. **Estudo dos fatores que influem no desempenho do processo de lodos ativados determinação de parâmetros de projeto para esgotos predominantemente domésticos**. Revista DAE. n. 132. P: 49-85. 1983.
6. STENSTROM, M. K.; Shao-Yuan, B. L.; JIANG P. **Theory to Practice: Oxygen Transfer and the New ASCE Standard**. Water Environment Foundation, p: 4838-4852, 2006.
7. VAN HAANDEL, A. C. e MARAIS, G. **O comportamento do sistema de lodo ativado: Teoria e aplicações para projetos e operações**. Campina Grande: Epgraf, 1999.