

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE FATORES INTERVENIENTES NA TRANSFERÊNCIA DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO EM SISTEMAS DE LODO ATIVADO

*ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL AND OPERATIONAL EFFECTS IN TRANSFERING
OF DISSOLVED OXYGEN SYSTEMS IN ACTIVATED SLUDGE*

**Heraldo Antunes Silva Filho¹, Elivânia Vasconcelos Moraes dos Santos², Adrianus Cornelius van
Haandel³**

¹Professor do Curso de Saneamento Ambiental do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do
Ceará – IFCE, Campus Limoeiro do Norte. E-mail: heraldoifce@yahoo.com.br

²Professora do Curso de Saneamento Ambiental do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do
Ceará – IFCE, Campus Limoeiro do Norte. E-mail: elivania@ifce.edu.br

³Professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande, PB.
E-mail: adrianusvh@gmail.com

RESUMO

A aeração em sistemas de tratamento biológico aeróbio, a exemplo dos sistemas de lodo ativado, é aplicada para efetuar a transferência de oxigênio atmosférico para o licor misto, onde o oxigênio transferido vem a ser consumido, em geral, para a oxidação do material orgânico presente, com posterior liberação de energia e produção de novas células dos organismos aeróbios responsáveis pelo consumo de oxigênio. A energia para aeração é normalmente o maior fator de custos operacionais de sistemas de lodo ativado e por muitas vezes ultrapassa 50 % dos custos de manutenção devido a problemas operacionais e de dimensionamento. Foram realizadas investigações experimentais para determinar a influência que fatores como temperatura, concentração de sólidos suspensos e sais dissolvidos podem exercer sobre a capacidade de oxigenação (CO) a fim de melhorar os critérios de dimensionamento e a escolha dos aeradores. Os estudos realizados mostraram que todos esses fatores exercem influência na CO, alguns podendo reduzir sua capacidade máxima em até 50 % (como é o caso da concentração de sólidos).

Palavras-Chave: aeração, tratamento biológico, temperatura, sais, sólidos.

ABSTRACT

The aeration in the aerobic biological treatment systems, such as the activated sludge system is applied to effect the transfer of atmospheric oxygen into the mixed liquor, where the transferred oxygen is being consumed in general, for oxidation of organic material present with subsequent release of energy and production of new cells of aerobic organisms responsible for oxygen consumption. The energy for aeration is usually the largest factor in operating costs for activated sludge systems and often exceeds 50 % of maintenance costs due to operational problems and sizing. Experimental investigations were conducted to determine the influence that factors such as temperature, concentration of suspended solids and dissolved salts can exert on the oxygenation capacity (OC) in order to improve the design criteria and the choice of aerators. The studies showed that all these factors influence the OC, some may reduce its capacity by 50 % (as is the case of solids concentration).

Keywords: aeration, biological treatment, temperature, salts, solids.

1 – INTRODUÇÃO

A quantidade de oxigênio transferida do ar para a água por unidade de tempo é determinada pela solubilidade do oxigênio na água, pela passagem através da interface ar/água e pela difusão do oxigênio na água. Esses processos são influenciados pela interdependência entre diversos fatores, sendo alguns destes: temperatura, concentração de saturação de oxigênio da água, turbulência, dimensões e geometria do tanque e do sistema de aeração (VAN HAANDEL; VAN DER LUBBE, 2012).

O enunciado da lei de Henry (1810) estabelece que a solubilidade de um gás dissolvido em um líquido é proporcional à pressão parcial do gás acima do líquido. Essa lei pode ser escrita conforme a Equação 1:

$$X = K \cdot P \quad (1)$$

Em que:

X: fração molar de equilíbrio do gás em solução (sua solubilidade);

P: pressão parcial na fase gasosa;

K: constante de proporcionalidade, ou constante da lei de Henry.

Na aeração de sistemas de lodo ativado, o componente gasoso de interesse é o oxigênio, a fase gasosa é o ar e a fase líquida é o licor misto. Porém, devido ao consumo de oxigênio pelos microrganismos não existe equilíbrio entre o licor misto e o ar (CHANG *et al.*, 2014).

Nessas condições de desequilíbrio haverá uma tendência de transferência natural de oxigênio do ar para o licor misto com o conseqüente aumento de sua concentração dissolvida. Segundo Fick (1856), a taxa de transferência é proporcional à diferença existente entre a concentração de

saturação e a concentração de oxigênio dissolvido (ODs) no licor misto, denominado déficit de oxigênio. Essa taxa pode ser escrita conforme a Equação 2 (VAN HAANDEL; MARAIS, 1999):

$$\left(\frac{dOD_t}{dt}\right) = K_{la} \cdot (OD_s - OD_t) \quad (2)$$

Em que:

$\left(\frac{dOD_t}{dt}\right)$: taxa de transferência de oxigênio ($\text{mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$);

OD_s : concentração de O_2 no licor misto ($\text{mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$);

OD_t : concentração de O_2 no licor misto ($\text{mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$);

K_{la} : constante de transferência de oxigênio (h^{-1}).

Uma abordagem clássica para fenômenos envolvendo água residuária é discutida em Clark *et al.*, (1971), Viessman; Hammer (1998), van Haandel; Marais (1999), Metcalf; Eddy (2003) e Corrêa (2006). Os autores apresentam o balanço de massa do OD, sujeito ao consumo microbiano, conforme demonstrado na Equação 3:

$$\left(\frac{dOD_t}{dt}\right) = K_{la} \cdot (OD_s - OD_t) - TCO \quad (3)$$

Em que:

$\left(\frac{dOD_t}{dt}\right)$: taxa de transferência de oxigênio ($\text{mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$);

TCO: taxa de consumo de oxigênio exercida pelos microrganismos ($\text{mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$).

A segunda parcela, do segundo membro da Equação 3, é a parcela que representa o consumo microbiano (TCO). Nesse caso, o principal responsável pelo consumo de OD é a população microbiana aeróbia.

Na prática usa-se o conceito de capacidade de oxigenação (CO), que é a taxa máxima de transferência de oxigênio em condições padronizadas. A CO é obtida conforme a Equação 4 (VAN HAANDEL; MARAIS, 1999):

$$CO = K_{la} \cdot OD_s \quad (4)$$

Em que:

CO: capacidade de oxigenação ($\text{mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$).

Naturalmente o que interessa não é saber a taxa de transferência de oxigênio sob condições padronizadas (água limpa sob pressão atmosférica de 760 mm Hg a 20 °C), mas nas condições existentes no sistema de lodo ativado. Para se calcular esta taxa de transferência é preciso que se corrija o valor de K_{la} pela influência de diversos fatores que não estão em conformidade com as condições padronizadas.

Vários são os fatores que podem influenciar K_{la} , van Haandel; Marais (1999) e Schierholz *et al.* (2006), afirmam que os tipos de aeradores, impurezas no líquido, pressão atmosférica, temperatura, absorção de oxigênio atmosférico e o efeito hidráulico são os principais interferentes que podem ocorrer modificando os valores de K_{la} e CO. Segundo Codas (2001), fatores como altura do reator e seu volume útil, diâmetro das bolhas de ar impressas no sistema e a velocidade de transferência podem também afetar

significativamente o valor de K_{la} . Koide *et al.* (1976) analisaram a transferência de massa de bolhas isoladas em soluções aquosas contendo surfactantes e verificaram que o valor de K_{la} diminui na presença de tais compostos.

A influência que esses fatores exercem sobre a capacidade de aeração é resumida segundo a American Society of Civil Engineers – ASCE (1988) na Tabela 1:

Tabela 1 – Resumo dos fatores de correção da constante de transferência de oxigênio e da concentração de saturação do oxigênio na água

Fator de Correção	Provoca sobre a(s)	Parâmetro modificado
α	Características da água sob condições de processo	Coefficiente de Transferência (K_{la})
β	Características da água sob condições de processo	Concentração de Saturação (OD_s)
θ	Temperatura	Coefficiente de Transferência (K_{la})
τ	Temperatura	Concentração de Saturação (OD_s)
Ω	Pressão	Concentração de Saturação (OD_s)

FONTE: Aeration – A Wastewater Treatment Process – ASCE (1988)

Este trabalho contém experimentos realizados com água destilada em diferentes condições. Os estudos visaram verificar a influência da temperatura, da concentração de sólidos suspensos totais e da concentração de sais sobre a constante de transferência de oxigênio K_{la} e consequentemente sobre a capacidade de oxigenação. As condições selecionadas vão de encontro com situações reais observadas em escala plena em que é provável se encontrar diferentes valores para cada condição estudada, variando assim a capacidade de oxigenação de acordo com cada situação.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em reatores de 2 litros usando água destilada para todos os experimentos. Foram realizados 3 experimentos sob diferentes condições, porém todas com o objetivo de se determinar o K_{la} e a CO. Cada experimento foi realizado com compressores de ar diferentes, devendo então seus resultados ser analisados de forma distinta em relação ao valor máximo do K_{la} atingido em cada teste. Na Figura 1 é possível observar o aparato experimental utilizado.

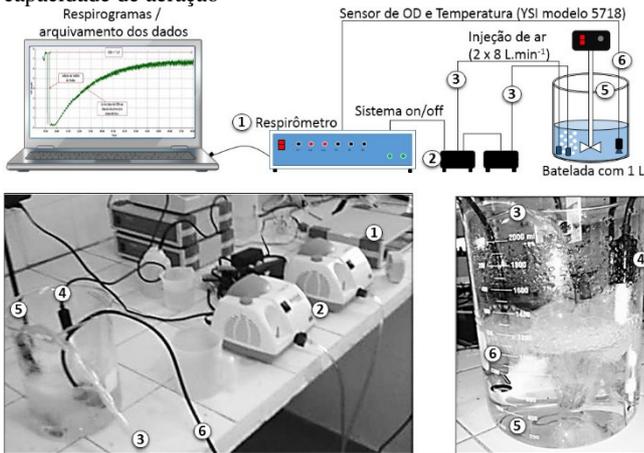
Experimento 1: Nesse experimento foram ajustadas 7 diferentes massas de sólidos suspensos totais (SST) e posteriormente determinado o valor de K_{la} para cada concentração. As massas eram ajustadas com lodo de descarte de um sistema de lodo ativado a volumes de 1 litro com água destilada. As concentrações testadas foram de 15 g/L, 10 g/L, 6 g/L, 4 g/L, 2 g/L, 0,2 g/L e 0 g/L.

Experimento 2: No segundo experimento determinou-se K_{la} em função de diferentes valores de temperatura. A temperatura foi regulada em incubadora de DBO ligada a um controlador de temperatura, que ajusta a temperatura conforme o desejado. A temperatura mínima ajustável desse controlador é de 0 °C e a máxima de 60 °C. As temperaturas

estudadas foram de 10 °C, 15 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C, 35 °C e 40 °C. Semelhante ao experimento 1, cada litro de água destilada com a temperatura ajustada foi submetido ao procedimento de cálculo do K_{la} .

Experimento 3: Nesse experimento avaliou-se o efeito da concentração de sais dissolvidos no valor de K_{la} . Para esse experimento foi utilizado como sal de teste NaCl comercial com coeficiente de solubilidade (C_s) de 360g/L. As concentrações de NaCl adicionadas a cada litro de água destilada foram de 300 g/L, 150 g/L, 75 g/L, 30 g/L, 10 g/L, 1 g/L e 0 g/L, este com água destilada sem adição de sal.

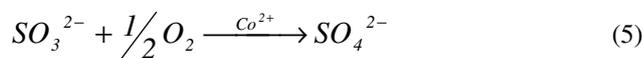
Figura 1 – Esquema instrumental utilizado para determinação da capacidade de aeração



NOTA: 1: respirômetro (medidor de OD), 2: injetores de ar, 3: linha fixa de distribuição de ar e difusores de ar (2 + 3 = sistema de aeração), 4: condutivímetro, 5: sistema de bancada, 6: sensor de oxigênio dissolvido.

Para todos os experimentos foi necessária retirada de oxigênio da água e posterior aeração com micro compressor de ar com pedra difusora na extremidade de saída de ar. 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 como será mostrado adiante.

Para se produzir déficit de oxigênio na água foi usada a desoxigenação química com sulfito de sódio P.A. (Na_2SO_3) de acordo com a demanda estequiométrica de 7,8 mg de sulfito de sódio para cada mg O_2/L , conforme Equação 5:



Foi utilizado cloreto de cobalto hexahidratado P.A. ($CoCl_2 \cdot 6 H_2O$) como catalisador para acelerar a reação do sulfito com o oxigênio.

Para determinar a CO precisou-se correlacionar a variação da concentração de ODs durante a aeração ao tempo de aeração. Esta correlação estabeleceu-se pela forma integrada da Equação 3 em função de OD_t , que se encontra na Equação 6:

$$OD_t = \left(OD_s - \frac{TCO}{K_{la}} \right) * (1 - e^{(-K_{la} * t)}) + OD_o * e^{(-K_{la} * t)} \quad (6)$$

Em que:

OD_o : concentração de oxigênio no tempo inicial ou no começo da aeração ($mg O_2 \cdot L^{-1}$);
 t : tempo (min).

A partir da Equação 6 foi determinado o valor de K_{la} , como segue:

- O aerador foi colocado nas condições normais de operação (velocidade, imersão etc.);
- Colocou-se água destilada em um becker, ajustou-se a condição teste desejada (concentração de sal ou de sólidos ou temperatura) e aplicou-se a aeração até atingir a concentração de saturação sendo a mesma determinada. Aplicou-se então cloreto de cobalto (0,5 mg/L) e o sulfito de sódio (7,8 mg de Na_2SO_3 para cada mg O_2/L). Continuou-se a aeração até ser observada a eliminação completa do OD pelo sulfito. Esse procedimento durou em torno de 15 minutos para cada teste;
- Quando, após continuada a aeração, a concentração de O_2 tornava-se novamente diferente de zero, determinava-se o seu valor continuamente. Essa leitura de OD foi feita por meio de um respirômetro beluga S32C com eletrodo da YSI que determinava OD a cada 5 segundos e plotava a leitura em planilha eletrônica (CATUNDA *et al.*, 1996);
- Com os dados obtidos na planilha eletrônica plotou-se a curva experimental de OD em função do tempo e, com a Equação 6, plotaram-se curvas teóricas também de OD em função do tempo com diferentes valores teóricos de K_{la} , sendo o valor real de K_{la} determinado por aquele que melhor correlacionou curva experimental com curva teórica.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados sobre os efeitos dos fatores intervenientes na constante K_{la} e na capacidade de aeração (CO) são apresentados a seguir:

A partir da observação das Figuras 2a e 2b é possível confirmar efeitos de subdosagens e superdosagens do sulfito de sódio.

Figura 2a – Experimento variando as dosagens de sulfito de sódio (subdosagem e superdosagem)

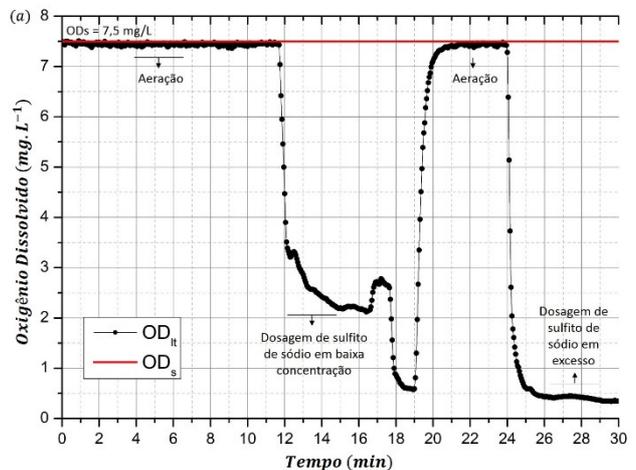
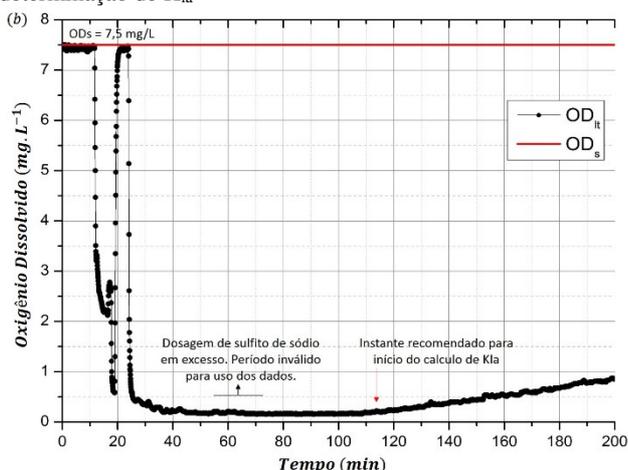


Figura 2b – Efeito da superdosagem de sulfito de sódio na determinação de K_{la}



No caso de subdosagens, a concentração de oxigênio obtida é próxima da saturação do líquido, garantindo baixa amplitude em relação a OD_s e assim, determinando poucos pontos experimentais para calcular as constantes. Já no caso de superdosagens, o sulfito de sódio rapidamente reage com o oxigênio dissolvido e deixa um residual que irá ser consumido a medida que é introduzido oxigênio e assim, subestimando a capacidade de aeração até que todo o sulfito seja eliminado e perceba-se uma inflexão na reta conduzindo ao acréscimo de OD (Figura 2b).

Entre os dois efeitos (subdosagem ou superdosagem de sulfito de sódio), a superdosagem implica no maior comprometimento da mensuração das constantes, em especial de K_{abs} . Na Figura 2b é mostrada a continuidade do experimento com superdosagem ilustrada na Figura 2a. Nessa figura é possível observar um longo período sem incremento significativo na concentração de OD devido ao excesso de sulfito de sódio e assim, o rápido consumo do OD que por hora era introduzido pela absorção atmosférica. Após um determinado tempo, percebe-se o aumento da concentração de OD de forma mais acelerada, sendo coerente afirmar que a partir deste instante o sulfito de sódio foi eliminado do sistema e é possível caracterizar a real absorção atmosférica de OD.

3.1 Resultados do experimento 1: Influência dos Sólidos Suspensos Totais (SST)

Na Tabela 2 estão relacionados os valores obtidos de K_{la} para cada concentração de SST estudada, além da sua respectiva capacidade de oxigenação.

Tabela 2 – Valores de K_{la} e OD_s obtidos em função da variação da concentração de SST inativos (sem TCO)

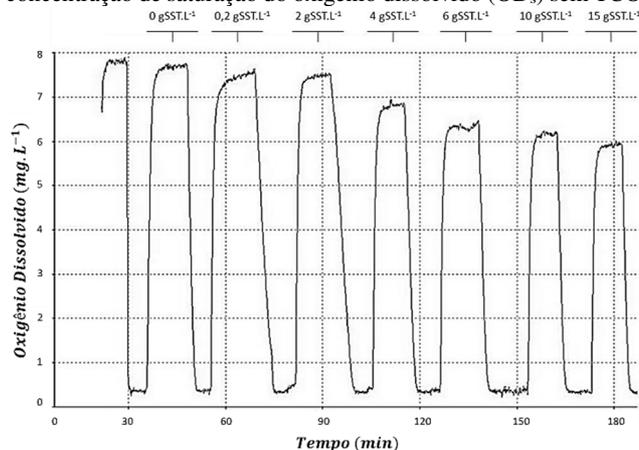
Concentrações de Sólidos ($g\ SST \cdot L^{-1}$)	K_{la} (min^{-1})	OD_s obtido
0,0	1,48	7,7
0,2	1,39	7,7
2,0	1,27	7,7
4,0	1,00	6,9
6,0	0,93	6,7
10,0	0,85	6,7
15,0	0,62	6,6

A partir desses dados é possível observar que, à medida que aumentam os sólidos, os valores de K_{la} e CO tendem a diminuir. Isso ocorre devido ao aumento da viscosidade do líquido, o que dificulta a transferência de oxigênio. Com a concentração de sólidos totais até $4\ g \cdot L^{-1}$, a redução da constante de transferência de oxigênio (e, consequentemente, da capacidade de aeração) é de 6 % do valor original para $SST = 0,2\ g \cdot L^{-1}$, 14 % para $SST = 2\ g \cdot L^{-1}$ e 32 % para $SST = 4\ g \cdot L^{-1}$. Esses percentuais são determinados tendo como referência o valor de K_{la} obtido sem adição ou presença de sólidos. No teste em questão, o valor de referência foi determinado com água destilada e apresentado na Tabela 2 na linha correspondente ao zero $g\ SST \cdot L^{-1}$ ($1,48\ min^{-1}$). À medida que se acrescenta sólidos na amostra é feita uma nova determinação de K_{la} e, então, é possível perceber sua redução em função da concentração de SST.

Para o valor da concentração de saturação de oxigênio dissolvido, a redução do valor original só é observada quando aplicada uma concentração de $4\ g \cdot L^{-1}$ (efeito sem TCO), reduzindo 10,3 % do seu valor original. Para concentrações de sólidos totais acima de $4\ g \cdot L^{-1}$, encontrou-se uma redução para o K_{la} de 37,6 % para $SST = 6\ g \cdot L^{-1}$, 42,5 % com $SST = 10\ g \cdot L^{-1}$ e 58,1 % para $SST = 15\ g \cdot L^{-1}$. Na concentração de saturação de OD, o efeito de redução foi menor chegando apenas a 12 % para $SST = 6$ e $10\ g \cdot L^{-1}$ e 15 % para $SST = 15\ g \cdot L^{-1}$. Da mesma maneira que no procedimento anterior, na Tabela 2 é mostrado o valor de referência obtido para o oxigênio de saturação (OD_s), que, por sua vez, vai diminuindo à medida que os sólidos são adicionados.

Na Figura 3 é apresentado o perfil obtido das curvas de incremento de OD e saturação em cada teste variando as concentrações de sólidos com efeito nulo da TCO, ilustrando com maiores detalhes os resultados apresentados da Tabela 2. Para evitar o efeito da redução de K_{la} com o aumento de SST, aplicou-se um valor considerado elevado de K_{la} garantindo assim a saturação de OD em todos os casos da Figura 3.

Figura 3 – Efeito da concentração de sólidos suspensos totais na concentração de saturação do oxigênio dissolvido (OD_s) sem TCO



Para sistemas de lodo ativado, por exemplo, os resultados encontrados (Tabela 2) podem ser considerados positivos, pois a concentração de SST presente neste tipo de

sistema apresenta-se comumente dentro de uma faixa média de 2 a 6 g SST.L⁻¹, e por isso estima-se que não ocorrerão influências significativas devido à concentração de SST. Em termos gerais, as concentrações de 10 e 15 g SST.L⁻¹ são muito elevadas para a operação de um sistema de lodo ativado, sendo o efeito dos sólidos insignificante quando a sua concentração é inferior a 9 g SST.L⁻¹.

3.2 Resultados do experimento 2: Influência da Temperatura

Na Figura 4 são apresentados os resultados encontrados de K_{la} para as temperaturas estudadas. A temperatura influi na transferência de oxigênio porque afeta tanto o valor de K_{la} como o valor de OD_s. Esta influência pode ser descrita pela equação de Arrhenius Equação 7 (ECKENFELDER; FORD, 1968; STILLER, 1989):

$$K_{la,t} = K_{la,20} \cdot \theta^{(t-20)} \quad (7)$$

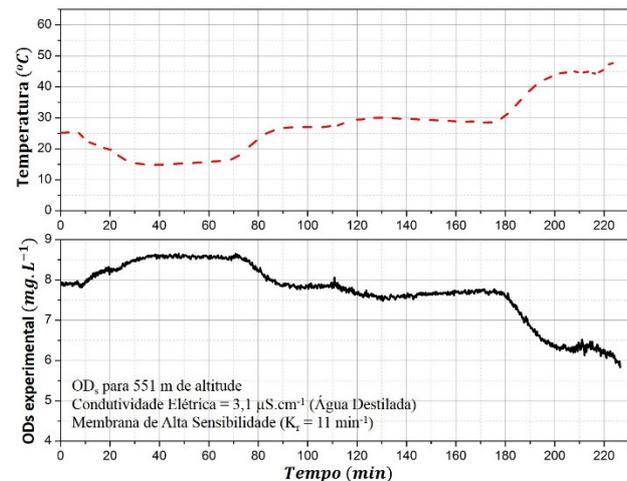
Em que:

K_{la,t}: constante de transferência a qualquer temperatura t °C;

K_{la,20}: constante de transferência a 20 °C;

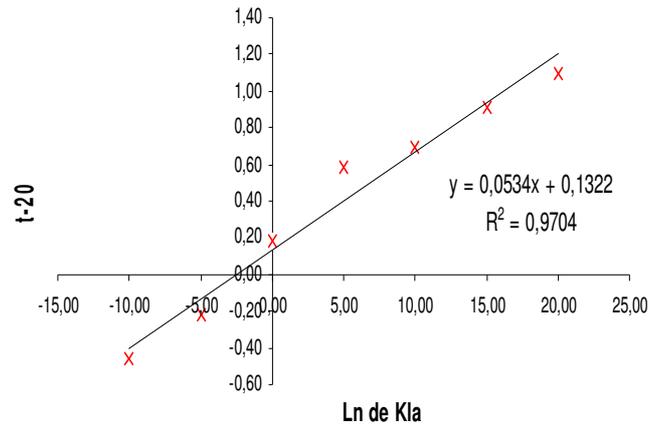
θ: Fator de influência da temperatura;

Figura 4 – Perfil da saturação de oxigênio dissolvido em água limpa com diferentes temperaturas



Com os dados da Figura 4 e da Equação 7 foi possível determinar o valor de θ experimentalmente, como é mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Curva do logaritmo natural de K_{la} e (t-20) com coeficiente de correlação de 97 %, onde t são os valores de temperatura usados em cada teste



Por meio da declividade da reta é possível determinar o valor de θ. Para os valores obtidos para o experimento 2, o valor de θ foi de 1,055. O valor de θ tem sido determinado por diversos pesquisadores no decorrer do tempo tendo assumido diversos valores como 1,012 (LANDBERG; GRANLICH; KIPPLE, 1969), 1,015 (STREETER; PHELPS, 1926), 1,022 (ELOMORE; WEST, 1961; e TSIVOGLU, 1967) e 1,028 (ECKENFELDER; FORD, 1968). Conforme o encontrado para θ, é possível afirmar que para cada elevação de 1° centígrado, obtemos um aumento aproximadamente de 5 % no valor de K_{la}.

3.3 Resultados do experimento 3: Influência da Concentração de Sais Dissolvidos

Na Figura 6 é mostrado o respirograma obtido com a variação das concentrações de sal. Avaliando a Figura 6 e considerando esse valor obtido de OD_s (7,2 mg.L⁻¹) 100 % de saturação, plotou-se na Figura 7 o efeito de redução da saturação de OD_s (%) em função da concentração de sal aplicada e na Figura 8 em função da condutividade elétrica obtida.

Percebem-se dois aspectos importantes nas Figuras 7 e 8. Inicialmente, pode-se relatar que ambos os parâmetros, concentração de sal e condutividade elétrica, apresentam uma relação linear com a concentração de oxigênio dissolvido de saturação. Um segundo aspecto é que, apesar de haver influência da concentração de sal no OD_s e ser efetiva, as concentrações necessárias para que a redução seja de 10 % é em torno de 15 g.L⁻¹ de sal ou entre 12 e 15 mS/cm² de condutividade elétrica. Esses valores são considerados elevados e de difícil ocorrência em águas residuárias domésticas.

Por meio do experimento realizado não é possível estimar a influência do sal na constante global de transferência de oxigênio (K_{la} global), pois a capacidade de oxigenação apenas do soprador não foi alterada, contudo, as características do sistema de aeração foram modificadas, sendo necessário portanto a repetição do experimento 3 para cada concentração de sal.

Figura 6 – Perfil de OD ao variar as dosagens de sal

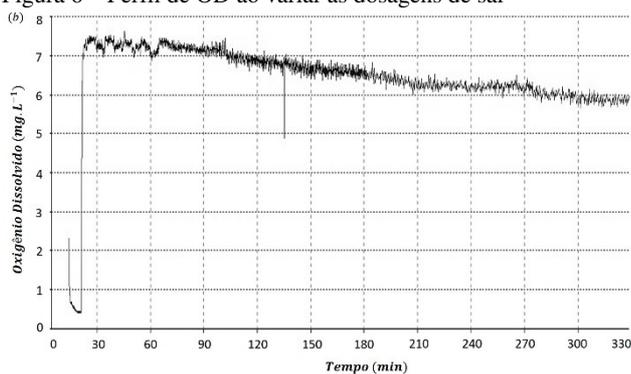


Figura 7 – Efeito da concentração de sal na saturação do oxigênio dissolvido em água limpa

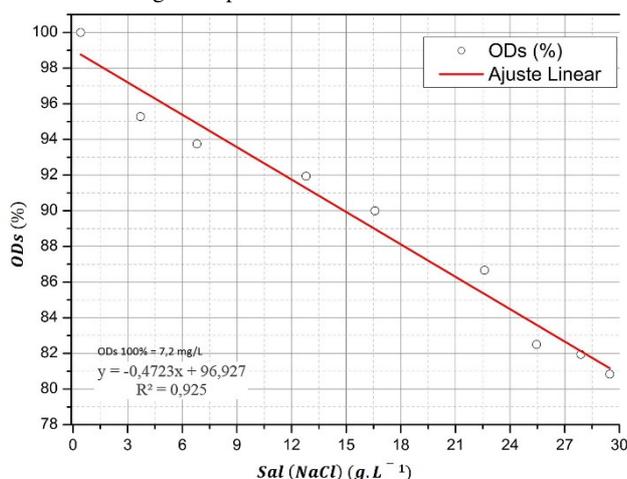
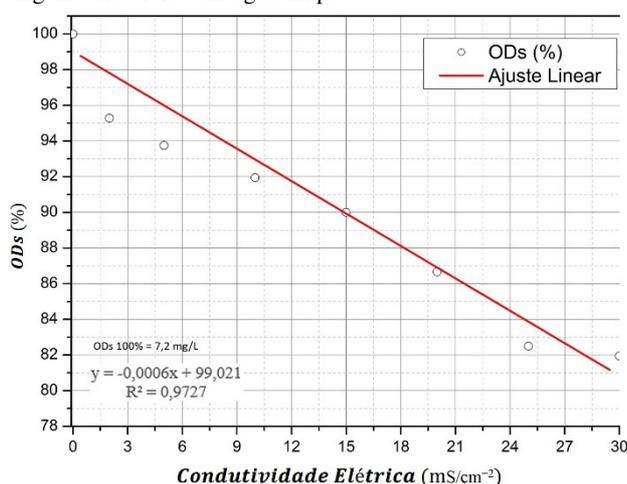


Figura 8 – Efeito da condutividade elétrica na saturação do oxigênio dissolvido em água limpa



Com os valores e OD_s em cada concentração de sal e mantendo fixo o valor de K_{la} é possível traçar uma estimativa das novas capacidades de oxigenação (Tabela 3). Porém, é provável que o valor de K_{la} seja também dinâmico com as mudanças da concentração de sal, sendo necessário portanto considerar essa influência.

Tabela 3 – Capacidades de oxigenação do sistema de aeração em função da concentração de sal e da condutividade elétrica.

Concentração de sal ($g \cdot L^{-1}$)	CE (mS/cm^2)	OD_s ($mg \cdot L^{-1}$)	Capacidade de oxigenação	$mg \cdot L^{-1} \cdot min^{-1}$	$mg \cdot L^{-1} \cdot h^{-1}$
0	0,417	7,20	CO _g (global)	17,21	1032,5
2	3,7	6,86		16,40	983,7
5	6,8	6,75		16,13	968,0
10	12,8	6,62		15,82	949,3
15	16,58	6,48		15,49	929,2
20	22,59	6,24		14,91	894,8
25	25,45	5,94		14,20	851,8
30	27,88	5,90		14,10	846,1
40	29,47	5,82		13,91	834,6

(Valor de OD_s variável em cada concentração de sal e valor de K_{la} fixo em $2,39 \text{ min}^{-1}$)

Dessa forma, pode-se assumir que o efeito da concentração de sal e da condutividade elétrica influencia a concentração de saturação de OD_s e, pode ainda, modificar o valor de K_{la} , haja visto que o sistema de aeração foi modificado.

CONCLUSÕES

De acordo com os experimentos realizados, conforme as condições estabelecidas e, citadas anteriormente, torna-se possível concluir que:

- Os fatores estudados (sólidos suspensos totais, temperatura e concentração de sais) afetaram o valor da capacidade de oxigenação, implicando em reduções significativas de capacidade quando extrapolados certos valores;
- À medida que a concentração de sólidos suspensos totais foi aumentada, o valor de CO foi afetado negativamente, ou seja, ocorreu diminuição da CO. A maior depleção ocorreu nas concentrações entre 6 e 10 g/L de SST, em que a diminuição da CO máxima chegou a 50 %. Para valores de STS inferiores a 6 g/L a redução da CO não afetou significativamente a eficiência da aeração;
- A temperatura influenciou no valor de K_{la} e no OD_s . À medida que se aumentava a temperatura, observava-se um aumento no valor de K_{la} . As temperaturas de 10 °C e 40 °C, por exemplo, quando comparadas, apresentaram acréscimo de até 300 %;
- A variação da concentração de sais não afetou o valor de K_{la} , porém determinou diferentes valores de OD_s , o que condicionou diferentes valores de CO. A maior redução da eficiência de CO observada foi de 35 % (concentração de NaCl de 300 g/L).

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS – ASCE. **Aeration – A Wastewater Treatment Process**, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, n. 68, 1988.
- BARBOSA JÚNIOR, A. R. **Desenvolvimento de metodologia para a determinação do coeficiente de reaeração dos escoamentos naturais da água com o emprego de traçador gasoso**. Dissertação (Mestrado),

- Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, USP, 1989.
- CATUNDA, S. Y. C.; DEEP, G. S.; VAN HAANDEL, A. C.; FREIRE, R. C. S. Fast on-line measurement of the respiration rate in activated sludge systems. **IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference**. Bruxelas, Bélgica, Junho, 4-6, 1996.
- CHANG, G.; WU, J.; JIANG, C.; TIAN, G.; WU, Q.; CHANG, M.; WANG, X. The relationship of oxygen uptake rate and k_{La} with rheological properties in high cell density cultivation of docosahexaenoic acid by *Schizochytrium* sp. S31. **Bioresource Technology**, v. 152, p. 234-240, Jan. 2014.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.11.002>.
- CLARK, J. W.; VIESSMAN JR., W.; HAMMER, M. J. Oxygen transfer and air requirements. **Water Supply and Pollution control**, 2nd ed., edited by internacional Text Book Company, p. 523-529, 1971.
- CODAS, B. V. B. **Transferência de oxigênio em um biorreator aerado submerso com enchimento**. São Paulo, 2001, 124 p.
- CORRÊA, L. C. **Controle do processo da transferência de oxigênio em corpos hídricos**. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006, 95 p.
- ECKENFELDER, W. W.; FORD, D. L., **Engineering Aspects of Surface Aeration Design**, 22nd PIWC, 279-291, 1968.
- ELMORE, H. L.; WEST, W. F. Effects of water temperature on stream reaeration. **Journal of the Sanitary Engineering Division**, ASCE 91: 59-71, 1961.
- FICK, A. **Die medicinische physik**. Braunschweig: Vieweg, 1856.
- HENRY'S (Dr. Wm.) **Elements of experimental chemistry**, 6th edition, 2 v., 8 v., London, 1810.
- KOIDE, K.; HAYASHI, T.; SUMINO K.; IWAMOTO, S. Mass transfer from single bubbles in an aqueous solution of surfactants. **Chemical Engineering Science**, 31, p. 963-967, 1976. [http://dx.doi.org/10.1016/0009-2509\(76\)87048-0](http://dx.doi.org/10.1016/0009-2509(76)87048-0).
- LANDBERG G. G.; GRAULICH, B. P.; KIPPLE, W. H. Experimental problems associated with the tasting of surface aeration equipment. **Water Research**, 3, 6, 445-455, 1969. [http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354\(69\)90006-2](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354(69)90006-2).
- METCALF; EDDY, Inc. **Wastewater engineering treatment disposal reuse**. 4. ed., New York, McGraw-Hill Book, 2003, 1815 p.
- SCHIERHOLZ, E. L.; GULLIVER, J. S.; WILHELMS, S. C.; HENNEMAN, H. E. Gas transfer from air diffusers. **Water Research**, v. 40, n. 5, p. 1018-1026, mar. 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2005.12.033>.
- STILLER, W. **Arrhenius equation and non-equilibrium kinetics: 100 years Arrhenius equation**, Teubner-Texte zur Physik – Band 21, Leipzig, 1989, 160 p.
- STREETER, H. W.; PHELPS, E. B. A Study of the pollution and natural purification of the Ohio River. **Public Health Bulletin**, 146, U. S. Public Health Service, Washington, D. C., 1926.
- TSIVOGLOU, E. C. **Tracer measurements of stream reaeration**. Federal Water Pollution Control Administration, U.S. Department of the Interior, Washington, D.C., 1967.
- 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.
- VAN HAANDEL, A. C.; VAN DER LUBBE, J. **Handbook biological wastewater treatment-design and optimization of activated sludge systems**. Quist Publishing Leidschendam Hol., 2012.
- VISSMAN JR., W.; HAMMER, M. J. **Water supply and pollution control**, 6th ed. U.S.A., Addison-Wesley, 1998, 827 p.