

## II-094 - INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS NA TRANSFERÊNCIA DE OXIGÊNIO EM REATORES DE LODO ATIVADO

**Fernanda Jucá de Medeiros Araújo<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

**Jéssica Ysabelly Torres Alves**

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da UFRN.

**Carolina Tavares Paula**

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da UFRN.

**Hélio Rodrigues dos Santos**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutor em Hidráulica e Saneamento na EESC/USP.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Nova Zelândia, 295 – Condomínio Colômbia, casa 06 – Parque das Nações, Parnamirim - RN - CEP: 59158-264 - Brasil - Tel: (84) 99442-4646 - e-mail: [fernanda-juca@hotmail.com](mailto:fernanda-juca@hotmail.com)

### RESUMO

Um dos parâmetros mais importantes a ser controlado em sistemas de lodo ativado é a concentração de oxigênio dissolvido (OD). Baixas concentrações de OD no tanque de aeração afetam diretamente a eficiência de remoção do substrato, prejudicando as propriedades mecânicas e biológicas do lodo. Por outro lado, concentrações elevadas de sólidos em suspensão – como as encontradas em reatores MBBR e MBR – levam a aumentos consideráveis nos gastos com energia elétrica para aeração. Nesta pesquisa foi avaliada a influência da concentração de sólidos na capacidade de transferência de oxigênio do aerador. Para isso, foram realizados testes experimentais em escala laboratorial para determinação da constante de transferência de oxigênio pelo método estacionário na presença de microrganismos, com o uso da respirometria. Um aerador era conectado ao respirômetro que controlava a aeração e submetia as diferentes concentrações de lodo analisadas a ciclos de períodos com e sem aeração, cujos momentos de início e fim eram regrados por limites superiores e inferiores de OD especificados no *software*. Os resultados mostraram que em sistemas contendo elevadas concentrações de lodo, na faixa de 8g/L, o consumo energético para aeração foi de aproximadamente 2,6 vezes maior em comparação ao mesmo sistema operando com lodo em concentração de 2,6g/L.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo ativado, Respirometria, Transferência de oxigênio, Concentração do lodo.

### INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com o meio ambiente vem exigindo cada vez mais dos sistemas de tratamento de águas residuárias, sejam elas domésticas ou industriais, através da implantação de padrões cada vez mais restritivos no que diz respeito às condições e padrões de lançamento de efluentes. Sendo assim, tem-se uma constante busca por sistemas de tratamento economicamente viáveis e eficazes no atendimento aos padrões exigidos pelos órgãos ambientais.

Dentro de tal contexto, os sistemas aeróbios merecem destaque atualmente, principalmente quando associados a reatores anaeróbios, visto que o processo aeróbio apresenta comumente uma resposta rápida e eficiente, além de permitir grande precisão no controle e operação. Dentre os sistemas aeróbios, podemos destacar os filtros biológicos, lagoas de estabilização, e os sistemas de lodo ativado, sendo este último o mais utilizado para o tratamento de despejos domésticos e industriais em situações em que são necessários reduzidos requisitos de área e elevada qualidade do efluente (VON SPERLING, 2012).

Apesar da elevada eficiência, os sistemas de lodo ativado exigem uma maior precisão e controle da concentração de oxigênio dissolvido no reator aeróbio. Para que se garanta a eficiência do reator e se mantenha uma concentração de OD adequada, são necessários sistemas de aeração robustos, responsáveis por um alto custo energético e que causam grandes impactos nos custos de manutenção dessas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs).

Mais recentemente, foram desenvolvidas variantes do sistema de lodos ativados que permitem operar o sistema com uma concentração de sólidos mais elevada e áreas ainda mais reduzidas que o sistema convencional. Um exemplo dessas variantes são os reatores que fazem uso de um meio suporte, sobre o qual se desenvolve um biofilme de massa bacteriana. Tal meio suporte pode ser de leito fixo (biomassa imobilizada) ou de leito móvel (*Moving Biological Bed Reactor* – MBBR) e suas configurações, por operarem com um biofilme de massa aderida ao leito, proporcionam uma maior concentração de lodo no reator. Essa concentração mais elevada de biomassa traz como vantagem a redução do volume do sistema ou, ainda, o aumento da carga orgânica a ser estabilizada, para o caso de reatores já existentes. Entretanto, as altas concentrações de sólidos nesses sistemas podem dificultar a transferência de oxigênio, levando a um aumento de energia por unidade de massa de oxigênio transferida.

Uma forma de avaliar a transferência de oxigênio em sistemas de lodo ativado é da respirometria, uma ferramenta aplicada em sistemas aeróbios para determinação da taxa de consumo de oxigênio (TCO). Utilizando-se a respirometria, é possível avaliar diversos parâmetros desses sistemas, como a eficiência de aeração, o metabolismo e a cinética de bactérias autotróficas e heterotróficas e a toxicidade de afluentes.

Neste sentido, esta pesquisa tem como objetivo avaliar a influência da concentração de sólidos (biomassa) na capacidade de oxigenação com o uso da respirometria. Para isso, foram determinadas, por meio de testes respirométricos, as constantes de transferência de oxigênio ( $K_{La}$ ) do lodo de um sistema de lodo ativado convencional empregado como pós-tratamento de um reator anaeróbio (UASB), proveniente de uma ETE em escala plena. O lodo foi analisado sob diferentes concentrações, o que permitiu, ainda, a avaliação do impacto da concentração de lodo nos requisitos de energia de aeração e o estabelecimento de relações específicas entre a constante de transferência de oxigênio e a concentração do lodo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Para avaliar a influência da concentração de sólidos na transferência de oxigênio em um reator de lodo ativado foram realizados testes respirométricos com o licor misto de um sistema de lodo ativado empregado no pós-tratamento de reatores UASB, proveniente de uma ETE em escala plena. Previamente à realização dos testes, o licor misto foi concentrado através de processos de filtração e sedimentação até uma concentração da ordem daquelas geralmente empregadas em sistemas MBBR (*“Moving Bed Biofilm Reactor”*) ou MBR (biorreator de membrana), próxima a 8g/L. Ao final de cada teste, era realizada a diluição do lodo, procedimento realizado sucessivamente, repetindo-se o teste respirométrico para cada concentração testada. Com os resultados dos ensaios respirométricos, calculou-se as constantes de transferência de oxigênio para cada concentração analisada.

O respirômetro utilizado foi o BelugaS4.3C, que é um respirômetro automatizado, conectado a um computador com um *software* específico para controle dos dispositivos acoplados (agitador e aerador) e obtenção de dados (eletrodo). O sistema é constituído basicamente por um reator, aerador, agitador e eletrodo de oxigênio dissolvido. Ele permite determinar a TCO semi continuamente pelo método clássico, que consiste em períodos de aeração e não aeração, baseado nos limites superiores e inferiores estabelecidos de OD. Os parâmetros adquiridos pelo *software* são concentração de OD e temperatura. A taxa de consumo de oxigênio (TCO) é calculada a partir dos valores de concentração de OD adquiridas pelo respirômetro. Para cada concentração testada, foram realizadas análises de Sólidos Suspensos Totais (SST) e Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) para caracterização do lodo.

As amostras de licor misto foram coletadas da ETE Dom Nivaldo Monte, comumente conhecida por ETE do Baldo, situada em Natal/RN e operada pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN). O tratamento na ETE se dá através da combinação de reatores UASB seguidos sistema de Lodos ativados com vistas à remoção de matéria orgânica (cerca de 90%) e parte da matéria nitrogenada (cerca de 50%). A vazão média tratada atualmente na ETE é de 325 L/s, a DQO média de 427 mg/L. O tanque de aeração opera com uma concentração média de oxigênio dissolvido de 2,93 mg/L (Fonte: CAERN). Em relação às concentrações de sólidos, foram encontradas nos dias de ensaio uma concentração média de sólidos suspensos totais (SST) de 3297mg/L e de sólidos suspensos voláteis (SSV) de 2723mg/L.

O ensaio foi realizado em dois dias: o lodo foi coletado do reator aerado na estação e concentrado em laboratório através de processos de sedimentação e filtração, retirando-se sempre uma amostra de 2 litros de lodo concentrado para ser analisado no respirômetro. Os procedimentos respirométricos foram feitos em um único dia, enquanto as análises de sólidos foram realizadas no dia seguinte, com as amostras de lodo conservadas em geladeira por no máximo 24 horas.

## APARATO EXPERIMENTAL

Os equipamentos utilizados no ensaio estão listados abaixo (Figura 1):

- Um reator de acrílico com capacidade máxima de 5L;
- Computador contendo o *software* RespS4.3C que permitia o controle do respirômetro e registro dos dados;
- Respirômetro Beluga com saída para o computador, para o aerador e uma entrada para o eletrodo de OD;
- Eletrodo de OD;
- Aerador tipo nebulizador conectado ao respirômetro com vazão de 8l/min e conectado a um difusor que insuflava bolhas de ar no fundo do reator através de três saídas de ar, acopladas a pedras porosas colocadas no fundo do reator, de forma a permitir uma melhor distribuição do ar;
- Agitador de hélice rotacional, cuja agitação permanecia ligada durante todo o ensaio e com intensidade suficiente apenas para impedir a sedimentação do lodo e manter a sua homogeneização durante todo o procedimento.



Figura 1: Equipamentos utilizados para realização dos testes respirométricos.

## DETERMINAÇÃO DA TCO

Para calcular a constante de transferência de oxigênio e a capacidade de oxigenação foram realizados testes respirométricos de forma aberta e em bateladas sequenciais. Um aerador era conectado ao respirômetro e este controlava a aeração através do *software* BelugaS4.3C. O aerador era ativado pelo respirômetro quando o eletrodo registrava uma concentração de OD mínima estabelecida e desligava quando chegava a uma concentração máxima também estabelecida no programa. Ao final do intervalo sem aeração, o *software* registrava a taxa de consumo de oxigênio (TCO), em mgO<sub>2</sub>/L/h, conforme o decaimento da concentração de OD com o tempo, até que se chegasse à concentração mínima. Dessa forma, a TCO era determinada semicontinua para ciclos de períodos com e sem aeração.

A taxa de consumo de oxigênio é calculada através da variação da concentração de OD em função do tempo, quando não se aplica aeração. Nestas condições observa-se uma diminuição linear de OD com o tempo e a TCO (mgO<sub>2</sub>/L/h) era determinada de acordo com Miranda (2012) (Equação 1).

$$TCO = \left( \frac{dOD}{dt} \right) = \frac{(OD_{MAX} - OD_{MIN})}{\Delta t} \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

$OD_{MAX}$  = Concentração de oxigênio dissolvido de referência máxima ( $mgO_2/l$ );

$OD_{MIN}$  = Concentração de oxigênio dissolvido de referência mínima ( $mgO_2/l$ );

$\Delta t$  = Variação do tempo (h).

## DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE TRANSFERÊNCIA DE OXIGÊNIO ( $K_{la}$ ) E DA CAPACIDADE DE OXIGENAÇÃO (CO)

O valor da constante de transferência de oxigênio ( $K_{la}$ ) depende do aerador utilizado e é influenciada por fatores como geometria, tamanho das bolhas insufladas, profundidade de imersão e mecanismos de aeração.

Na aeração em questão, tem-se a difusão do oxigênio do ar no licor misto e considera-se que a concentração volumétrica de oxigênio seja constante ao longo da coluna de aeração, supondo-se portanto uma mistura perfeita na fase líquida, como se é feito na maioria dos trabalhos onde se deseja modelar a transferência de oxigênio em reatores.

Considerando o que foi dito acima, caso não haja consumo de oxigênio no meio líquido (se fosse água limpa, por exemplo) a taxa de variação da concentração de OD pode ser expressa por uma reação de primeira ordem (Equação 2).

$$d \left( \frac{OD_1}{dt} \right) = K_{la}(OD_s - OD_{cr}) \quad \text{equação (2)}$$

Sendo:

$dOD_1/dt$  = Taxa de variação da concentração de oxigênio no licor misto ( $mgO_2/L/min$ );

$K_{la}$  = Constante de transferência de oxigênio ( $min^{-1}$ );

$OD_s$  = Concentração de saturação ( $mgO_2/L$ );

$OD_{cr}$  = Concentração crítica de  $O_2$  no licor misto ( $mgO_2/L$ ).

Entretanto, em sistemas de lodo ativado ocorre o consumo de oxigênio pela biomassa e, portanto, a concentração de OD no licor misto com o tempo é afetada por dois mecanismos, a aeração e o consumo (Equação 3).

$$\frac{dOD_1}{dt} = \left( \frac{dOD_1}{dt} \right) a + \left( \frac{dOD_1}{dt} \right) c = K_{la}(OD_s - OD_1) - TCO \quad \text{equação (3)}$$

Sendo:

$OD_1$  = Concentração de oxigênio dissolvido no licor misto em um tempo qualquer ( $mgO_2/L$ );

$TCO$  = Taxa de consumo de oxigênio.

O respirômetro calcula a TCO automaticamente para cada período sem aeração. Este dado pode ser usado para encontrar a constante de transferência ( $K_{la}$ ) e a concentração de oxigênio de saturação ( $OD_s$ ) no período de aeração referente a cada TCO calculada pelo equipamento. Sabendo que no período de aeração a concentração de OD aumenta conforme a Equação 3 e supondo-se o valor constante de TCO no intervalo de integração, a solução da equação diferencial é dada por (Van Haandel e Catunda, 2013) (Equação 4).

$$OD_1 = \left( OD_s - \frac{TCO}{K_{la}} \right) * (1 - \exp(-K_{la} \cdot t)) + OD_o * \exp(-K_{la} \cdot t) \quad \text{equação (4)}$$

Onde:

$OD_o$  = Concentração inicial de  $O_2$ , ( $mgO_2/L$ );

$t$  = Tempo (min).

Encontrados o  $K_{la}$  e o  $OD_s$  através da Equação 4, a capacidade de oxigenação pode ser determinada conforme a Equação 5.

$$CO_{MÁX} = K_{la} \cdot (OD_s - OD_{cr})$$

equação (5)

Sendo:

$CO_{MÁX}$  = Capacidade de oxigenação.

## PROCEDIMENTO DOS ENSAIOS

Após etapas de coleta e concentração do lodo, seguia-se o seguinte procedimento:

- Colocava-se 2 litros do lodo concentrado no reator, ligava-se o equipamento e esperava-se de 10 a 15 min para calibração do eletrodo em ar saturado com água;
- Estabelecia-se o limite superior de OD em uma concentração inalcançável de 8mg/l (de forma que o equipamento fornecesse aeração durante 5min, tempo máximo permitido pelo respirômetro), o limite inferior de OD em 1,0mg/l e o desvio padrão da TCO ( $Sd_{(TCO)}$ ) em 0,1;
- Isto feito, deixava-se o lodo concentrado submetido a uma agitação constante e emergia-se o eletrodo de OD para dar início aos ciclos com e sem aeração. Os ciclos seguiam-se conforme os parâmetros adotados: iniciavam-se automaticamente ciclos de períodos com aeração (sempre de 5min) e sem aeração. A TCO era marcada a cada final de ciclo, sempre no final do período sem aeração. Um novo ciclo se iniciava sempre quando o  $OD_{\min}$  chegava em 1,0mg/l ou  $Sd_{(TCO)}$  chegasse em 0,1;
- Determinava-se repetidamente o valor da TCO e as variações de concentração de OD em função do tempo. Os dados de OD eram traçados a partir das leituras contínuas realizadas pelo eletrodo nos períodos de aeração e sem aeração. O *software* calculava os valores de TCO por regressão linear através dos dados de decaimento de OD nos períodos sem aeração. Os ciclos seguiam-se até que fosse estabelecida a respiração endógena, caracterizada por uma TCO constante mostrada no gráfico de TCO pelo tempo (respirograma). Os valores de OD, TCO, temperatura e desvio padrão eram armazenados no computador;
- Com os dados armazenados, plotavam-se em gráficos os pontos experimentais de OD em função do tempo para cada período de aeração que precedia cada ponto de TCO plotado no gráfico. Bem como também eram criadas curvas teóricas de  $OD_t$  em função do tempo com o auxílio da Equação 4 para o mesmo período. Para tanto, arbitrava-se inicialmente valores de  $K_{la}$  e  $OD_s$  quaisquer, e utilizava-se a função “*solver*” do Excel para que se encontrassem, através de iterações, valores de  $K_{la}$  e  $OD_s$  que fornecessem uma melhor correlação entre a curva teórica e os pontos experimentais. Os valores de  $K_{la}$  e  $OD_s$  eram adotados como verdadeiros para aquela concentração de lodo que estava sendo testada;
- Após estabelecida a respiração endógena mostrada no respirômetro, dava-se início as diluições. Para tanto, retirava-se uma alíquota de 250 ml (1/4 do volume) do reator e adicionava-se 250ml de água destilada, garantindo-se assim uma concentração menor de lodo. Parte da amostra retirada do reator era usada para fazer as análises de SSV e SST e o restante era descartado;
- Seguiam-se os ciclos com aeração e sem aeração para determinação da TCO, bem como os procedimentos para a determinação de  $OD_s$  e  $K_{la}$  para a concentração reduzida. O teste seguia para sucessivas diluições e determinações dos valores de  $K_{la}$  e  $OD_s$  para as diferentes concentrações. Foram realizadas cinco diluições, obtendo-se, portanto, seis concentrações diferentes de lodo.

## PROCEDIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DE $K_{la}$ E $OD_s$

Os valores da constante de transferência de oxigênio foram determinados para cada ponto de TCO mostrado no gráfico referente a cada concentração de sólidos. Foram plotados em gráficos os pontos experimentais de OD no tempo para cada período de aeração. Plotou-se uma curva teórica de  $OD_t$  no gráfico, adotando-se o valor de  $OD_0$  como sendo o valor armazenado pelo equipamento para  $t=0$  no início de cada aeração, e arbitrando-se inicialmente valores quaisquer de  $K_{la}$  e  $OD_s$ . Com o auxílio da função “*solver*” do Excel, calcularam-se valores de  $K_{la}$  e  $OD_s$  que fornecessem a melhor correlação entre os pontos experimentais e a curva de OD teórico.

Abaixo temos um exemplo do ajuste entre a curva teórica de  $OD_t$  e os pontos experimentais para um  $OD_s$  e  $K_{la}$  encontrados pela função “*solver*” (Figura 2). Os dados obtidos pelo respirômetro foram os dados de OD experimental ( $OD_{exp}$ ), a hora em que cada ponto foi obtido e a TCO para cada ciclo. Pode-se perceber que o equipamento fornecia uma leitura de OD a cada 5 segundos, já os da TCO eram obtidos a cada final de ciclo sem aeração, conforme os critérios de parada explicados anteriormente (Figura 2).

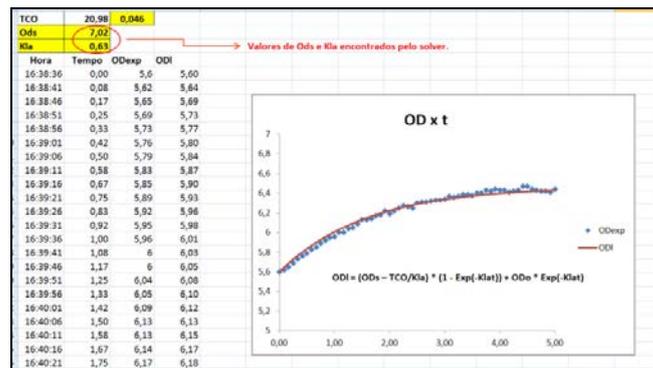


Figura 2: Gráfico para obtenção de K<sub>la</sub> e OD<sub>s</sub>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir temos o respirograma obtido na realização do ensaio para as determinações do K<sub>la</sub> (Figura 3). Nele estão apresentados os gráficos de OD (expresso em mg/L) em função do tempo (gráfico superior), no qual podem ser observados vários ciclos de períodos com e sem aeração. Já no gráfico inferior (Figura 3), vemos a TCO em função do tempo expressa em mg/L/h para as diferentes concentrações de lodo.

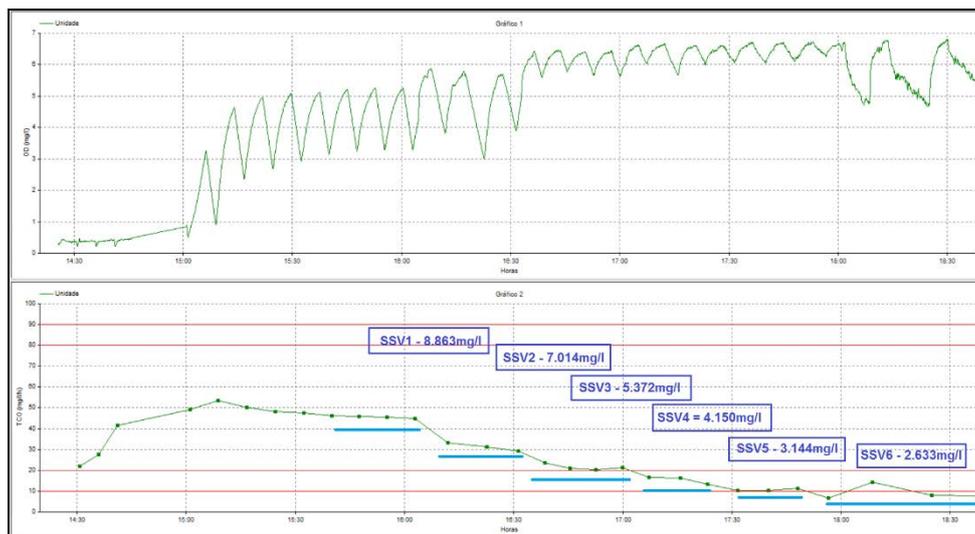


Figura 3: Respirograma de lodo, realizado a 26°C, com períodos de 5 min de aeração.

Pode-se notar que quanto menor a concentração de sólidos no licor misto, menor é a TCO medida e mais próximo se apresenta o OD do limite superior estabelecido em 8mg/l (Figura 3). Pode-se perceber também que, após estabelecida a respiração endógena, o reinício da aeração dava-se antes do limite inferior de OD ser atingido, pois o *software* entendia que o número de medições de OD era suficiente para calcular uma reta com  $Sd = 0,1$ .

Para o primeiro ensaio, foram considerados quatro pontos para o cálculo de K<sub>la</sub>, pois foi quando a TCO apresentou-se constante, caracterizando-se a endogenia do lodo. Para as demais concentrações, foram considerados de três a quatro pontos para o cálculo da constante de cada concentração (Figura 3). De posse dos valores de TCO, foram calculados os valores de K<sub>la</sub> e OD<sub>s</sub> com base na Equação 4 para as seis concentrações de lodo mostradas (Figura 3). Os valores de oxigênio experimentais foram ajustados aos valores teóricos em função do tempo de aeração.

Na Figura 4 são apresentados alguns exemplos dos ajustes realizados com a Equação 4 para diferentes concentrações, mostrando-se que há uma correlação bem próxima entre o OD teórico e o experimental, embora se observe uma tendência do valor experimental ser um pouco mais baixo que o teórico no início da curva. Este efeito pode ser normalmente associado ao efeito de relaxação do eletrodo: no início, a variação da

concentração do oxigênio é tão rápida que a inércia do eletrodo não permitia acompanhar tal variação, fazendo com que o valor medido não representasse exatamente o valor verdadeiro. Nesse caso, a curva teórica representa a melhor estimativa do valor real. Já no final, à medida que a concentração de OD aumentava, a taxa de aeração diminuía e os valores teóricos se aproximavam mais dos experimentais.

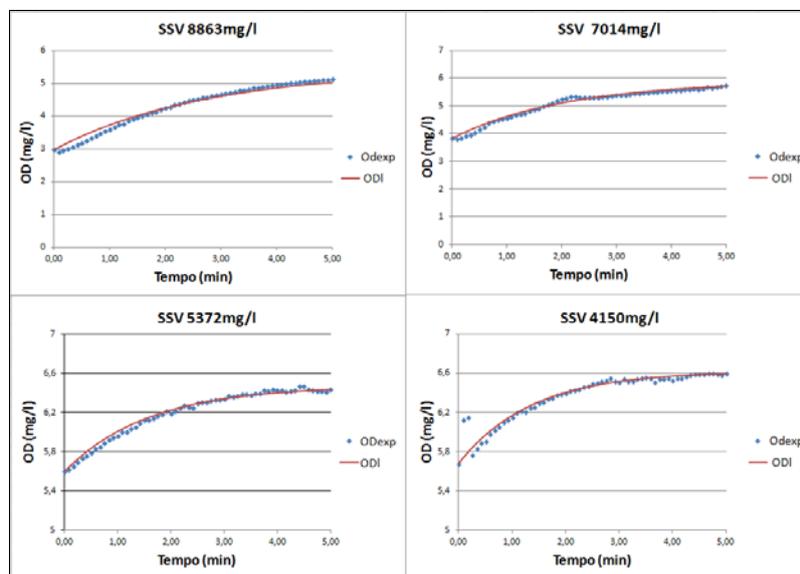


Figura 4 - Gráfico para obtenção de  $K_{la}$  e  $OD_s$ .

Apresentam-se abaixo os valores médios calculados de  $K_{la}$  para o respirograma apresentado na Figura 3 (Tabela 1). Os valores encontrados de  $K_{la}$  para cada concentração apresentaram-se praticamente constantes, mostrando que os ajustes feitos às curvas pela Equação 4 foram satisfatórios e resultaram em valores de  $K_{la}$  bastante precisos. Através da tabela, é possível observar que à medida que a concentração de lodo diminui, os valores da constante de transferência de oxigênio aumentam. Isso se deve ao fato de que, quanto maior a concentração de sólidos no lodo, maior a sua viscosidade, dificultando a transferência de oxigênio e consequentemente diminuindo a taxa de aeração. Este comportamento também foi observado por Miranda (2012).

Tabela 1 - Valores calculados de  $K_{la}$  e  $OD_s$  para as concentrações de SSV testadas.

| SSV (mg/l) | TCO (mg/l/h) | $OD_{sat}$ (mg/l) | $K_{la}$ (min <sup>-1</sup> ) | Sd(TCO) |
|------------|--------------|-------------------|-------------------------------|---------|
| 8863       | 45,53        | 7,51              | 0,38                          | 0,10    |
| 7014       | 31,15        | 6,96              | 0,50                          | 0,10    |
| 5372       | 21,52        | 7,01              | 0,60                          | 0,10    |
| 4150       | 15,34        | 6,92              | 0,73                          | 0,10    |
| 3144       | 10,64        | 6,73              | 1,16                          | 0,10    |
| 2633       | 9,23         | 6,58              | 2,98                          | 0,15    |

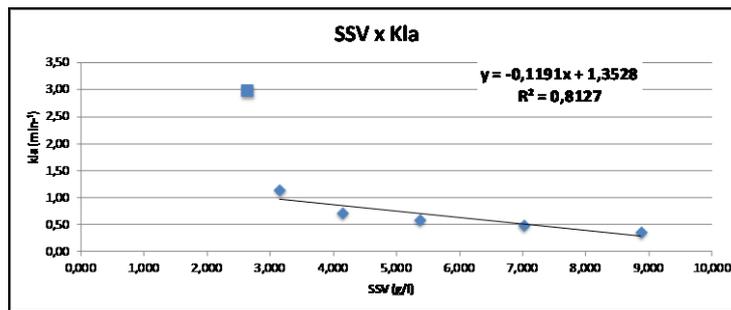
Observa-se que há uma relação entre a constante de transferência e a concentração do licor misto: a taxa de OD transferido aumenta consideravelmente à medida que a concentração de lodo diminui (Tabela 1). A partir disso, foi possível estabelecer uma relação entre a concentração de lodo e o  $K_{la}$  que permite a determinação do coeficiente de transferência de oxigênio para diferentes concentrações de lodo, como mostra a Figura 5 (Equação 6).

$$K_{la} = 1,35 - 0,12X_t$$

equação (6)

Onde:

$X_t$  = Concentração de SSV presente no licor misto (gSSV/L)



**Figura 5: Relação entre  $K_{La}$  e concentração de sólidos. Para uma relação mais precisa, o ponto de  $K_{La}$  para a concentração de 2633mg/l foi desprezado, por ser considerado um outlier.**

A Equação 6 permite determinar o  $K_{La}$  para diferentes concentrações de lodo, entretanto a realização de testes com diferentes concentrações ainda se apresenta como uma boa alternativa para corrigir os valores da constante de transferência.

Os dados apresentados na Tabela 1 ainda foram utilizados para avaliar a relação da concentração de lodo com a capacidade de oxigenação através da Equação 5 e considerando-se  $OD_{cr}$  igual a 1mg/l conforme recomenda-se na literatura (VAN HAANDEL E CATUNDA, 2013), embora não se descarte uma possibilidade de aumento deste valor, conforme haja aumento da concentração de lodo e da TCO. A Tabela 2 apresenta a capacidade de oxigenação (CO) determinada para os valores médios de TCO,  $K_{La}$  e  $OD_s$  mostrados anteriormente para cada concentração de lodo testada no ensaio. Pode-se perceber através dos dados apresentados que a concentração de lodo tem influência bastante significativa na capacidade de aeração, apresentando uma diminuição considerável conforme se aumenta a concentração de sólidos no licor misto.

**Tabela 2 - Capacidade de oxigenação.**

| SSV (mg/l) | TCO (mg/l/h) | $OD_s$ (mg/l) | $K_{La}$ (min-1) | $OD_{cr}$ (mg/l) | CO (mgO <sub>2</sub> /l.min) |
|------------|--------------|---------------|------------------|------------------|------------------------------|
| 8863       | 45,53        | 7,51          | 0,38             | 1,00             | 2,45                         |
| 7014       | 31,15        | 6,96          | 0,50             | 1,00             | 2,97                         |
| 5372       | 21,52        | 7,01          | 0,60             | 1,00             | 3,60                         |
| 4150       | 15,34        | 6,92          | 0,73             | 1,00             | 4,33                         |
| 3144       | 10,64        | 6,73          | 1,16             | 1,00             | 6,63                         |
| 2633       | 9,23         | 6,58          | 2,98             | 1,00             | 16,64                        |

A capacidade de aeração do lodo com uma concentração de 8863mg/l representa apenas uma fração de  $2,45/6,63 = 0,37$  da capacidade do mesmo aerador com uma concentração de 3144 mg/l (Tabela 2). Tendo-se em vista que a capacidade de oxigenação do aerador é proporcional à constante de transferência de oxigênio, observou-se que o consumo de energia com aeração para transferência de oxigênio num sistema com concentração de lodo da ordem de 8 gSSV/L é aproximadamente 2,6 vezes maior que para um sistema com o mesmo aerador e com uma concentração próxima de 2,6 gSSV/L. Se estas análises forem consideradas para reatores em escala real, deve-se considerar o impacto do aumento dos custos de operação na hora de decidir se realmente é viável instalar um sistema que opere com concentrações de lodo elevadas. O aumento dos custos de operação devido aos gastos energéticos deverá ser compensado com uma redução dos custos de investimento na construção de reatores com volumes menores (ou o aumento da capacidade de tratamento para reatores já existentes). Considerando que a energia gasta com aeração representa um dos maiores custos em estações de lodo ativado, é importante que se analise cuidadosamente viabilidade econômica de se aplicar sistemas com alta concentração de lodo, pois quanto maior a concentração de lodo, maior será o gasto para transferir oxigênio necessário aos processos de tratamento.

Esse efeito da concentração de sólidos na taxa de aeração se torna mais considerável somente quando a concentração de lodo for maior que 8 g/l, o que raramente será o caso para o licor misto de lodo ativado convencional, que normalmente tem 2 a 5 g/L de sólidos suspensos. Concentrações mais elevadas ocorrem principalmente em sistemas onde a retenção de lodo é aumentada por membranas (MBR) ou pela introdução de leitos suportes no licor misto, no qual o lodo se adere (MBBR).

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos através da investigação experimental com o intuito de determinar a influência da concentração de lodo sobre a capacidade de aeração do aerador levaram às seguintes conclusões:

- O respirômetro automatizado, como o modelo testado, é uma importante ferramenta na determinação da constante de transferência de oxigênio e da capacidade de oxigenação do aerador;
- Para concentrações de lodo na faixa de 8 g/L, o consumo energético é aproximadamente 2,6 vezes maior em comparação ao lodo com concentração de 2,6 g/L de sólidos. Assim, o custo de operação de sistemas com alta concentração de lodo, como por exemplo os reatores aerados de leito móvel (MBBR), pode tornar-se elevado devido especialmente ao alto requisito de energia de aeração, o que implica na necessidade de um estudo cuidadoso de viabilidade econômica para esses sistemas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DERKS, Y. M. Uso da respirometria para avaliar a influência de fatores operacionais e ambientais sobre a cinética de nitrificação. 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina: UFCG, Campina Grande, PB. 2007.
2. MEDEIROS, U. T. P.; VAN HAANDEL, A. C.; CATUNDA, P.F.C. Influência da concentração de oxigênio dissolvido sobre o desempenho de sistemas de lodo ativado. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, Campo Grande/MS.
3. MIRANDA, A. C. Influência da concentração de lodo sobre a capacidade de oxigenação do aerador e a influência da concentração do sal sobre a capacidade metabólica do lodo. 89p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande: UFCG, Campina Grande, PB. 2012.
4. SANTOS, S. L. Estudo comparativo dos métodos contínuo e semicontínuo de determinação da TCO. 113p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande: UFCG, Campina Grande, PB. 2013.
5. VAN HAANDEL, A. C.; et al. Análise da influência de fatores intervenientes na transferência de oxigênio dissolvido em sistemas de lodo ativado. 7p. In: *Ciência&Engenharia*, v. 23, n. 2, p.49 – 55. 2014.
6. VAN HAANDEL, A. C.; CATUNDA, S. Y. C. *Respirometria aplicada ao sistema de lodo ativado: teoria e aplicações*. Campina Grande – PB, 2013.
7. VAN HAANDEL, A. C.; MARAIS, G. v. R. *O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projetos e operações*. Campina Grande: egraf, 1999.
8. VON SPERLING, M. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*. Vol. 4. *Lodos Ativados*. 3ª ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2012.