

XI-028 - DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE TRANSFERÊNCIA DE OXIGÊNIO – OTE EM SISTEMAS DE LODOS ATIVADOS

Bruno Sidnei da Silva⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Engenheiro da Superintendência de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

Marcelo Kenji Miki

Engenheiro Civil e Mestre em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Gerente do Departamento de Projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da Superintendência de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

Endereço⁽¹⁾: Rua Costa Carvalho, 300 - Pinheiros – São Paulo - SP - CEP: 05429-900 - Brasil - Tel: (11) 3388-9751 e-mail: bsidnei@sabesp.com.br

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo para avaliação da eficiência de transferência de oxigênio dos difusores de membrana instalados nas estações de tratamento de esgotos, com o emprego da metodologia ‘off-gas’. Foram realizados três testes em duas ETEs da região metropolitana de São Paulo. Os testes preliminares permitiram fazer diagnósticos tanto para novos conjuntos de difusores como para conjuntos antigos. A principal vantagem em relação a outros testes para determinação da eficiência de transferência de oxigênio, como por exemplo, peróxido de hidrogênio (H_2O_2), é não alterar a rotina operacional da estação de tratamento e ser mais seguro do ponto de vista da segurança ocupacional. Com isso o monitoramento periódico da OTE torna-se um instrumento para gestão energética da estação. Com dados de OTE ao longo do tempo, o gestor da ETE terá subsídios para determinar o melhor momento para limpeza ou troca do conjunto de difusores de ar.

PALAVRAS-CHAVE: Transferência de Oxigênio, Difusores de Ar, Lodos Ativados.

INTRODUÇÃO

O consumo de energia pelos sistemas de aeração é, de acordo com a EPA (1999), entre 50 a 65% do consumo energético total de uma estação de tratamento de efluentes. No ano de 2012, as principais estações de tratamento de esgotos da Região Metropolitana de São Paulo consumiram 146.145.155 kWh a um custo de R\$ 17.239.464,00.

A difusão de ar em tanques de aeração com difusores de bolha fina é uma das alternativas mais eficientes de aeração. Entretanto, a sua eficiência sofre uma redução gradativa com o tempo devido, principalmente, ao processo de obstrução dos poros da membrana (Figura 1), aumentando com isso o consumo de energia pelos sopradores de ar.



Figura 1 – Difusor de Membranas EPDM novo e em operação

Para recuperar parte da perda de eficiência de transferência de oxigênio para a massa líquida dos tanques de aeração são necessárias limpezas periódicas dos difusores. No estudo realizado pela California Energy

Commission (2010), constatou-se que, com a limpeza dos difusores de ar, a eficiência de transferência de oxigênio (OTE) passou de 16,1% para 18,6%, ou seja, houve um aumento de aproximadamente 15%.

Este trabalho apresenta a metodologia “off-gas” como um instrumento para a ser adotado pelo setor operacional das ETEs com objetivo de medir e acompanhar a eficiência energética do sistema de difusores de ar. Com o emprego da metodologia do ‘off-gas’, será possível gerar um banco de dados de eficiência de transferência de oxigênio, que comparados ao consumo específico de energia dos sopradores de ar, fornecerão informações relevantes para o gestor da estação tomar decisões, como a realização de operações de limpeza ou substituição do conjunto de difusores.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição da Metodologia

A metodologia do ‘Off-gas’ tem por objetivo determinar a eficiência de transferência de oxigênio dos difusores de ar instalados em tanques de aeração de lodos ativados.

Por essa metodologia, são analisados os gases que são injetados no fundo do tanque de aeração, denominado de ‘ar de referência’ e os gases liberados pela superfície do tanque denominado de ‘off-gas’, adotando-se as seguintes hipóteses:

- Os gases inertes não são produzidos nem consumidos no processo;
- A desnitrificação é desprezível;
- A vazão de ar é constante durante o teste;
- A pressão atmosférica do local é constante durante o teste;
- A transferência de oxigênio pela superfície do líquido é desprezível;
- A concentração de oxigênio dissolvido (OD) no líquido permanece constante durante o período de teste.

Com base no balanço de massa e nas hipóteses adotadas, a eficiência de transferência de oxigênio para as condições de campo (OTE_f) pode ser estimada, de acordo com a equação 1 (Redmon et al,1983).

$$OTE_f = \frac{MR_{o/i} - MR_{og/i}}{MR_{o/i}} \quad \text{equação (1)}$$

As proporções molares do oxigênio do ar de referência ($MR_{o/i}$) e do off-gas ($MR_{og/i}$) podem ser calculadas pelas equações 2 e 3:

$$MR_{o/i} = \frac{V_R}{1 - V_R - V_{CO2(R)} - V_{H2O(R)}} \quad \text{equação (2)}$$

$$MR_{og/i} = \frac{V_{og}}{1 - V_{og} - V_{CO2(og)} - V_{H2O(og)}} \quad \text{equação (3)}$$

Onde:

- Y_R , $Y_{CO2(R)}$, $Y_{H2O(R)}$: Fração molar do oxigênio, do gás carbônico e do vapor d’água na entrada do tanque de aeração (ar de referência);
- Y_{og} , $Y_{CO2(og)}$, $Y_{H2O(og)}$: Fração molar do oxigênio, do gás carbônico e do vapor d’água na saída do tanque de aeração (off-gas).

Para evitar danos ao sensor do analisador, o vapor d’água foi removido do ar por meio de uma coluna de adsorção de sílica gel instalado no quadro de análise.

A eficiência de transferência do oxigênio do tanque de aeração, para as condições de campo, foi calculada por meio da média ponderada da OTE_{fi} em relação as vazões para cada um dos pontos monitorados, através da equação 4.

$$OTE_{f,tanque} = \frac{\sum_{i=1}^n OTE_{fi} \times q_i}{\sum_{i=1}^n q_i} \quad \text{equação (4)}$$

A variável q_i é a vazão do gás para as condições padrão (1 atm e 20 °C). Já a eficiência de transferência do oxigênio para água de processo e para as condições padrão – $SOTE_{pw}$ (1 atm e 20°C), em cada ponto monitorado, é calculada através da equação 5 (ASCE, 1997).

$$SOTE_{pw} = OTE_{sp20} \times C_{\infty 20}^* \times \beta \quad \text{equação (5)}$$

O valor de OTE_{sp20} é calculado através da equação 6 (ASCE, 1997).

$$OTE_{sp20} = \frac{OTE_f}{(C_{\infty f}^* - C)} \times 1,027^{(20-T)} \quad \text{equação (6)}$$

Onde:

- $C_{\infty f}^*$: Concentração de saturação de OD na água de processo para as condições de campo (mg/L)
- C: Concentração de OD na água de processo (mg/L);
- T: Temperatura da água de processo (°C).

Em sistemas de aeração por ar difuso, o valor de $C_{\infty f}^*$ pode ser estimado através da equação 7 (ASCE, 1997).

$$C_{\infty f}^* = C_{\infty 20}^* \times \frac{P_f}{P_0} \times \frac{C_s}{C_{s20}} \times \beta \quad \text{equação (7)}$$

Sendo:

- P_f : Pressão atmosférica do local (atm);
- C_s : Concentração de saturação de OD para água limpa e para as condições do campo (mg/L);
- C_{s20} : Concentração de saturação de OD para água limpa e para as condições padrão (mg/L);
- $C_{\infty 20}^*$: Concentração de saturação de OD da água limpa para as condições padrão e específica para as características do tanque e do sistema de aeração (mg/L);
- P_0 : Pressão atmosférica ao nível do mar (1 atm);
- β : Relação entre a concentração de saturação do OD na água de processo e na água limpa.

Para sistemas de aeração por ar difuso, o valor de $C_{\infty 20}^*$ pode ser estimado através da equação 8 (Stenstrom et al, 2006).

$$C_{\infty 20}^* = C_s \left[\frac{P_0 + CF \left(\frac{h}{2} \right)}{P_0} \right] \quad \text{equação (8)}$$

Onde:

- CF: Fator de conversão de pressão (0,09664 para pressão em atm);
- h: Lâmina d'água sobre o difusor (m).

Caso não se disponha da pressão atmosférica do local, o valor de P_f pode ser estimado através da equação 9.

$$P_f = 1 - 1,15 \times 10^{-4} \times H \quad \text{equação (9)}$$

Onde:

- H: altitude do local de teste em relação ao nível do mar, em metros.

O valor de β pode ser estimado através da equação 10 (ASCE, 1997).

$$\beta = 1,00 - \frac{0,01 \times SDT}{1.000} \quad \text{equação (10)}$$

Onde:

- SDT é a concentração de sólidos dissolvidos totais, em mg/L.

A eficiência de transferência de oxigênio do tanque de aeração ($SOTE_{pw.tanque}$) para água de processo e para as condições padrões (1 atm e 20°C) foi calculada através da equação 11.

$$SOTE_{pw.tanque} = \frac{\sum_{i=1}^n SOTE_{pwi} \cdot q_i}{\sum_{i=1}^n q_i} \quad \text{equação (11)}$$

Onde:

- $SOTE_{pwi}$: Eficiência de transferência de OD do ponto de monitoramento i para a água de processo nas condições padrões de temperatura e pressão (%);
- q_i : vazão do 'off-gas' no ponto i para as condições padrões (1atm e 20 °C).

Espaço Amostral

A metodologia do 'Off-gas' recomenda que a área mínima de amostragem seja igual ou superior a 2% da área superficial do tanque de aeração (ASCE, 1997). Assim, a área mínima de amostragem foi calculada através da equação 12.

$$A_{amostragem} = 0,02 * AT \quad \text{equação (12)}$$

Onde:

- AT é a Área Superficial do Tanque de Aeração.

O número de pontos de amostragem – NP foi calculado pela razão entre a Área de Amostragem e a Área Interna do Coletor de 'Off-gas', conforme equação 13 e 14.

$$NP = \frac{A_{amostragem}}{\text{Área Interna do Coletor}} \quad \text{equação (13)}$$

$$NP = \frac{0,02 * AT}{\text{Área Interna do Coletor}} \quad \text{equação (14)}$$

Após definido o número de pontos de amostragem – NP, a distribuição destes pontos no tanque de aeração considera um dos seguintes critérios:

- Se a distribuição de difusores no tanque for homogênea (uma única zona de densidade), os pontos de amostragem deverão ser distribuídos de forma equidistante ao longo do tanque, conforme ilustrado na Figura 2.

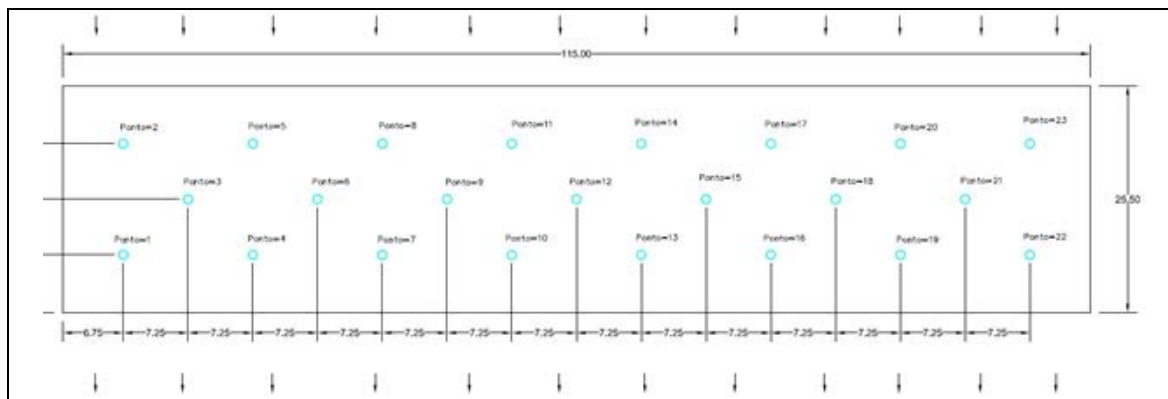


Figura 2 – Croqui de Distribuição dos Pontos de Análise do 'Off-gas' no Tanque de Aeração Com Uma Única Densidade de Difusores (Situação da ETE ABC da SABESP)

- Se a densidade de difusores for escalonada pelo tanque, o número de pontos de amostragem - NP será dividido pela quantidade de Zonas de Aeração – ZA (equação 15).

$$NPZ = \frac{NP}{ZA} \quad \text{equação (15)}$$

Quando o resultado de NPZ for inferior a 2, é adotado no mínimo 2 pontos de amostragem por zona, ou seja, NPZ = 2.

A figura 3 abaixo apresenta a distribuição dos pontos de amostragem em um tanque com várias zonas de densidade dos difusores de ar.

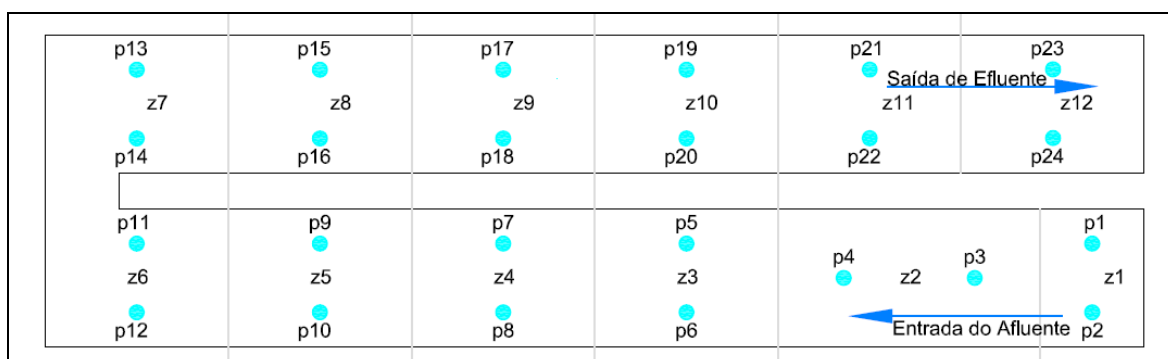


Figura 3 – Croqui de Distribuição dos Pontos de Análise do 'Off-gas' no Tanque de Aeração com Zonas de Aeração Escalonada de Difusores (Situação da ETE São Miguel da SABESP)

Equipamentos

O protótipo desenvolvido para avaliação da eficiência de transferência de oxigênio dos difusores de ar possui duas estruturas principais: equipamento coletor de 'off-gas' e quadro de análises.

O equipamento coletor de 'off-gas' foi construído com placas de alumínio, e possui as seguintes dimensões:

- Comprimento: 1,80 metros
- Largura: 0,90 metros
- Área Interna: 1,51 m² (1,76m x 0,86m)

Este equipamento possui flutuadores laterais projetados com placas de isopor, fixados nas suas paredes laterais internas (ao longo de seu comprimento), conforme ilustrado na Figura 4.

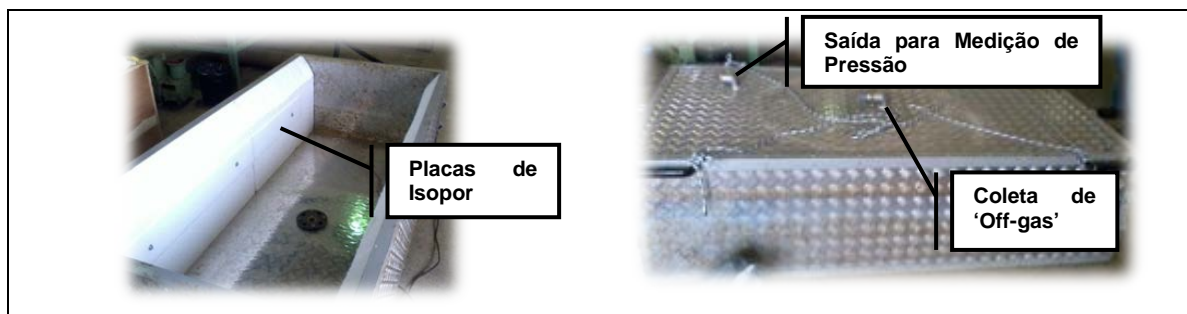


Figura 4 – Equipamento Coletor de ‘Off-gas’

Para fazer a análise dos gases confinados no equipamento coletor de ‘off-gas’, foi montada uma estrutura denominada de quadro de análises. No quadro, foram instalados os seguintes dispositivos de medição: rotâmetro, manômetro, vacuômetro e termômetro.

Junto ao quadro de análise foi alocado um analisador de gases, cuja função é medir as concentrações de O₂ e CO₂ do ‘off-gas’ e do ar de referência. O quadro apresenta a configuração apresentada na figura 5 abaixo.

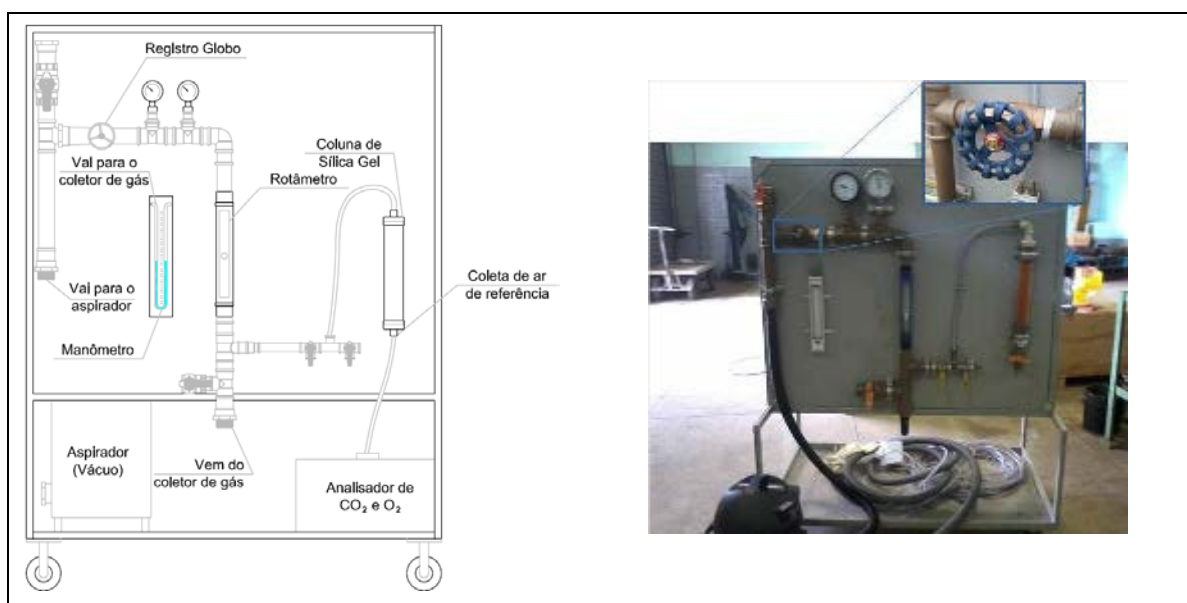


Figura 5: Quadro de análise do ‘Off-gas’ com Detalhe para o Registro Globo

Durante a realização do teste, o gás liberado pela superfície do tanque de aeração é confinado no interior da câmara do equipamento coletor de ‘off-gas’ e encaminhado por sucção ao quadro de análise com o auxílio de um mangote flexível ligado a um aspirador de pó.

O ajuste da vazão de gás extraído do coletor é realizado com o auxílio de um manômetro e por manobra de abertura ou fechamento do registro globo. Quando a pressão relativa no interior da câmara, em cada ponto de coleta, apresentava-se próxima à zero, derivava-se uma fração do gás coletado para o analisador paramagnético de alta precisão (figura 6), para medição das concentrações de oxigênio e gás carbônico. O sensor do analisador possui exatidão de 0,1% em uma faixa de medição de O₂ de 0 a 25 % em volume, e

exatidão de 0,2% em uma faixa de medição de CO_2 de 0 a 10 % em volume. A cada ponto coletado registrava-se em planilha de campo, as concentrações de O_2 e CO_2 e os valores de vazão de sucção, pressão e temperatura.

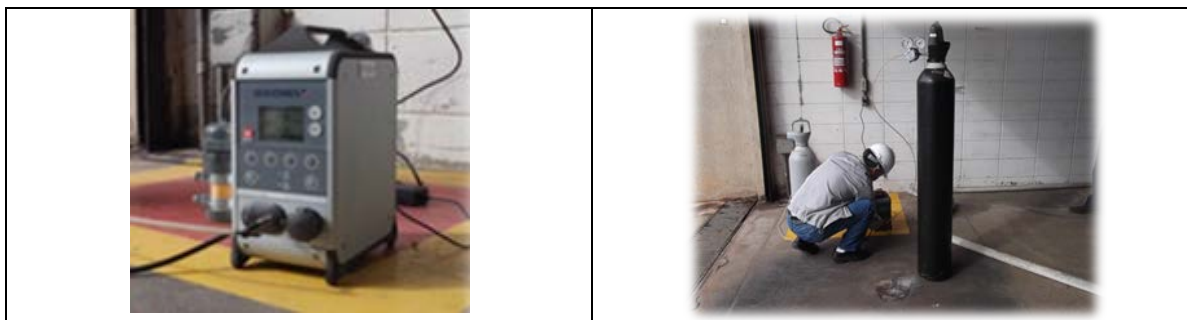


Figura 6: Analisador de Gases – O_2 e CO_2 e Processo de Calibração do Analisador

Para a medição do Oxigênio Dissolvido no interior do Tanque de Aeração utilizou-se um oxímetro de membrana portátil. As medições de OD foram realizadas o mais próximo possível do ponto de amostragem, e a uma profundidade de aproximadamente $\frac{1}{2}$ (metade) da submersão (profundidade) dos difusores de ar.

O desenvolvimento de todo o equipamento (protótipo e quadro de análises) e aquisição do analisador de gases necessitou de um investimento total em torno de R\$ 47.000,00, ou seja, inferior a 0,3% do gasto global com energia elétrica das ETEs da RMSP em 2012. A aquisição do analisador paramagnético de alta precisão contribuiu com o maior percentual, em torno de 80 % do investimento.

RESULTADOS

Foram realizados três testes para avaliar o desempenho operacional do protótipo e sua acurácia na medição da eficiência de transferência de oxigênio dos difusores de ar. Estes testes iniciais não tiveram o propósito de monitorar a OTE ao longo do tempo. O propósito foi testar o equipamento, e verificar sua aplicabilidade para atividades futuras de monitoramento.

Os dois primeiros testes foram realizados na Estação de Tratamento de Esgotos do ABC, cujo tanque de aeração apresenta distribuição homogênea dos difusores e regime de mistura completa. O terceiro teste foi realizado na Estação de Tratamento de Esgotos de São Miguel, que apresenta distribuição de difusores não homogênea (várias densidades de difusores) e tanque de aeração por fluxo em pistão. As duas estações ficam localizadas no Município de São Paulo. A figura 7 apresenta imagens da execução dos testes.



Figura 7: Testes na ETE ABC e ETE São Miguel

O primeiro teste no primeiro tanque de aeração da ETE ABC apresentou resultado médio em termos de OTE_f na ordem de 21,7%. O segundo teste no mesmo tanque de aeração apresentou resultados de OTE_f na ordem de 25,6%.

Este aumento na eficiência de transferência de oxigênio no campo era esperado devido à ocorrência de chuvas na noite que antecedeu a realização do teste. Com a diluição da concentração de DBO no esgoto afluente, a

concentração de agentes interferentes como substâncias surfactantes diminui, aumentando a eficiência de transferência de oxigênio nestas condições.

Contudo, observa-se que a $SOTE_{pw, \text{tanque}}$ apresentou menor variação em termos percentuais, de 32,4 % no primeiro teste para 33,6% no segundo teste, ou seja, uma variação inferior a 4%. Os valores de SOTE são calculados para as condições padrão de temperatura, pressão e concentração de saturação de oxigênio, considerando concentrações nulas de oxigênio dissolvido no tanque. As figuras 8 e 9, abaixo, apresentam os gráficos com a dispersão dos resultados pontuais de OTE_i e $SOTE_{pwi}$, realizados na ETE ABC, em agosto de 2012 (1º Teste) e novembro de 2012 (2º Teste).

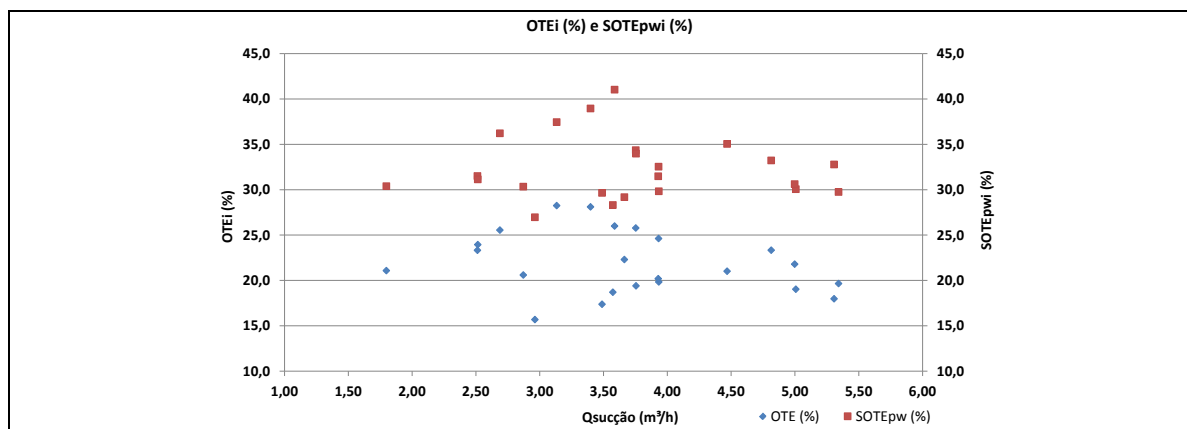


Figura 8: Resultados de OTE_i e $SOTE_{pwi}$ no 1º Teste na ETE ABC

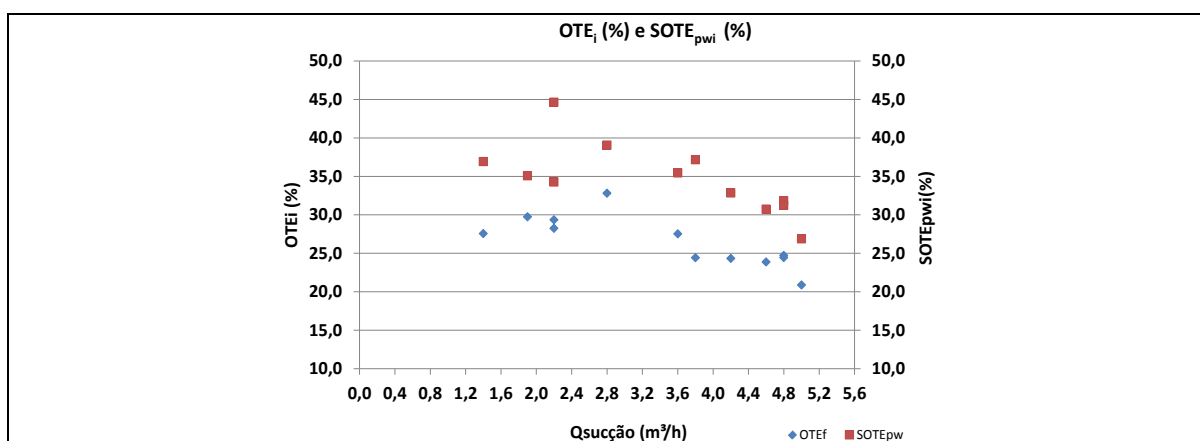


Figura 9: Resultados de OTE_i e $SOTE_{pwi}$ no 2º Teste na ETE ABC.

Os resultados de OTE_i e $SOTE_{pwi}$ nas curvas de dispersão indicam uma tendência de redução da eficiência de transferência de oxigênio, a partir de uma determinada faixa de vazão de ar. Esta tendência de redução pode ter relação com a expansão dos poros da membrana do difusor, indicando que a partir de uma determinada vazão de ar, o difusor perde eficiência devido à expansão excessiva dos poros, acarretando formação de bolhas de maior diâmetro e menor área superficial (prevalência de bolhas médias em relação a bolhas finas). Esta informação pode ser uma recomendação para projetos de novos sistemas de aeração. A vazão de ar por difusor é função da vazão de ar fornecida pelos sopradores e pela quantidade de difusores instalados no tanque (densidade de difusores). A vazão por difusor terá consequência na eficiência de transferência de oxigênio de todo o sistema de aeração.

O terceiro teste com este protótipo, utilizando a metodologia do 'off-gas', foi realizado na ETE São Miguel em dezembro de 2012, e apresentou resultados de OTE_f e $SOTE_{pw}$ bastante variáveis, conforme ilustrado na figura 10.

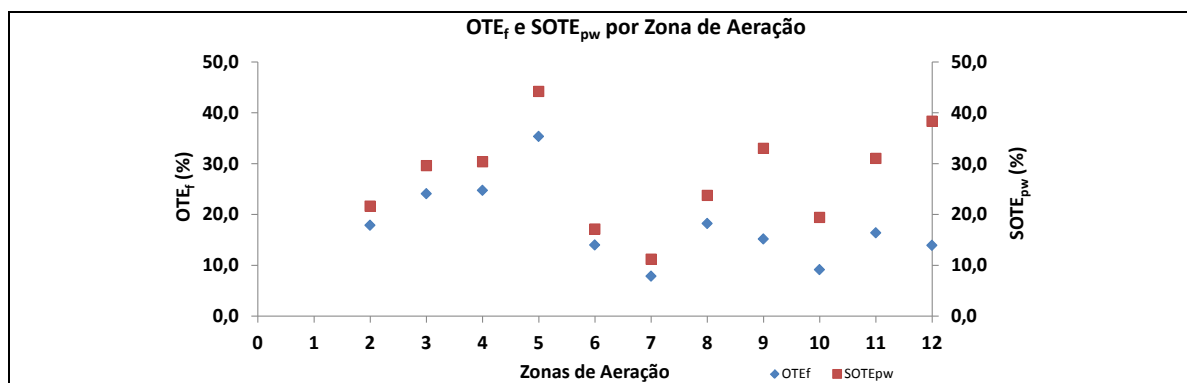


Figura 10: a) Resultados de OTE_f e SOTE_{pw} do Teste na ETE São Miguel

A grande variação dos resultados de OTE_f entre as zonas de aeração é devido, principalmente, a densidade heterogênea de difusores no tanque e presença de zonas com forte agitação do licor misto, ocasionada por rompimento de membranas e avarias nos barriletes de distribuição de ar.

Devido às características de fluxo em pistão, a concentração de oxigênio dissolvido no compartimento de entrada e no compartimento de saída do tanque de aeração variou bastante (ver Figura 2). Além disso, a análise de ‘off-gas’ no primeiro compartimento foi prejudicada devido ao grande número de pontos com forte agitação do licor misto, vulgarmente conhecido pela área operacional das ETEs como vulcões. Nestes pontos, a campânula do equipamento coletor tendia a se deslocar para as zonas de menor agitação, o que acabava majorando os resultados de eficiência de transferência de oxigênio deste compartimento, pois os pontos de forte agitação não eram efetivamente medidos.

Assim, para efeito de comparação com os resultados encontrados nos dois primeiros testes, os resultados de OTE_f e SOTE_{pw} para o teste realizado na ETE São Miguel foram calculados a partir das medições realizadas no segundo compartimento (compartimento de saída), onde as interferências (e por consequência os erros de medição) mencionadas no parágrafo anterior eram menos significativas. A ordem de grandeza para eficiência de transferência de oxigênio foi de 12,0 % em termos de OTE_{f,tanque} e 25,4% em termos de SOTE_{pw,tanque}.

A tabela 1 abaixo apresenta a síntese dos resultados de OTE_{f,tanque} e SOTE_{pw,tanque} obtidas nos testes realizados com o protótipo.

Tabela 1: Síntese dos Resultados sobre o Teste Off-gas

Teste	Local	OD médio (mg/l)	Vazão média do off-gas (m³/h)	OTE _{f,tanque} (%)	SOTE _{pw,tanque} (%)	Submersão Difusores (m)	SSOTE (%/m)	Idade dos Difusores (Anos)
1º Teste	ETE ABC	2,04	3,71	21,7	32,3	5,7	5,7	< 1
2º Teste	ETE ABC	0,98	3,00	25,6	33,6	5,7	5,9	< 1
3º Teste	ETE São Miguel	2,68	4,12	12,0	25,4	5,5	4,6	> 14

CONCLUSÃO

Os três testes realizados com o protótipo, utilizando-se a metodologia do ‘off-gas’, permitiram concluir que a metodologia é viável para o monitoramento da eficiência de transferência de oxigênio de sistemas de difusores de ar, desde que o sistema não apresente avarias severas no sistema de aeração, como difusores com membranas rompidas ou barriletes de distribuição de ar arrebentados.

Assim como relatado na literatura, os resultados de OTE_{f,tanque} nos dois primeiros testes (21,7 % no primeiro teste e 25,6% no segundo teste) demonstram que a transferência de oxigênio é também influenciada pelas

condições do esgoto afluente a estação. Portanto, o monitoramento da OTE ao longo do tempo com a metodologia do ‘off-gas’ deve ser realizado em condições típicas de esgoto afluente à estação.

A operação do equipamento coletor de ‘off-gas’ é bastante simples, necessitando de treinamento prévio apenas para o operador do quadro de análises, que será o responsável pela execução do teste.

Outro ponto relevante é o número de colaboradores necessários para realização do teste, bem como o tempo necessário para sua realização. Na ETE ABC e ETE São Miguel, que são estações de tratamento de esgotos de grande porte (vazão média afluente de aproximadamente 1 m³/s), foram utilizados quatro colaboradores. Os testes foram realizados durante um dia de trabalho (6 a 8 horas). Como o tempo para realização do teste é função da quantidade de pontos a ser amostrado, em estações de médio e pequeno porte, estima-se que a execução do teste seja realizada em menos de 4 horas.

CONSIDERAÇÕES

A realização dos testes com o protótipo desenvolvido neste estudo permitiu identificar alguns aspectos relevantes durante a execução do teste, tais como (tabela 2):

Tabela 2: Considerações sobre o Teste Off-gas

ASPECTO	CONSIDERAÇÃO
Coleta dos Dados de OTE	A tomada de dados deve ser realizada quando a pressão na campânula estiver estabilizada, e próxima da pressão atmosférica (variação ≤ 5 mmca).
Colaboradores	Para realização do teste são necessários quatro colaboradores.
Tempo de Duração	Estima-se que o tempo para realização dos testes varie de 4 a 8 horas para ETEs de grande porte. Para sistemas de médio e pequeno porte estima-se que a execução do teste seja realizada em menos de 4 horas.
Métodos de Limpeza	O teste ‘off-gas’ pode ser um instrumento útil para comparar dois ou mais métodos de limpeza de difusores. A efetividade de um método de limpeza pode ser avaliada com a determinação da eficiência de transferência de oxigênio, e determinação da perda de carga nos difusores, antes e depois da operação de limpeza.

RECOMENDAÇÕES

Para o monitoramento da evolução temporal da eficiência de transferência de oxigênio e comparação dos resultados entre dois ou mais sistemas semelhantes, apresentam-se as seguintes recomendações (tabela 3):

Tabela 3: Recomendações para Aplicação da Metodologia ‘Off-gas’

ASPECTO	RECOMENDAÇÃO
Densidade de Difusores	Sob condições similares de projeto e operação, tanques com maior quantidade de difusores por área (maior densidade) apresentarão maiores eficiência de transferência de oxigênio.
Regime de Mistura no Tanque de Aeração	A comparação entre sistemas semelhantes deve considerar o regime de mistura do tanque. A literatura relata que tanques com fluxo em pistão, geralmente apresentam maior eficiência de transferência de oxigênio.
Vazão por Difusor	Os difusores de ar apresentam uma faixa ótima de vazão de operação. Acima da faixa ótima de operação, a eficiência de transferência do difusor tende a decrescer, provavelmente associada a uma expansão excessiva dos poros da membrana.
Concentração de OD	Não se recomenda realizar o teste ‘off-gas’, quando a concentração de OD no tanque de aeração for $\leq 0,5$ mg/l.
Características do Esgoto Afluente	A literatura relata que com o aumento da DBO afluente, aumenta também a concentração de agentes interferentes, como substâncias surfactantes, diminuindo a eficiência de transferência de oxigênio. Portanto, para efeitos de monitoramento da evolução temporal da OTE, os testes devem ser realizados em condições típicas do esgoto afluente à estação, e preferencialmente durante um mesmo período do dia.
Perda de Carga nos Difusores	O aumento do consumo de energia dos sopradores é influenciado pela diminuição da eficiência de transferência de oxigênio e pela evolução da perda de carga dos difusores. Para monitorar a perda de carga do sistema de difusores, recomenda-se instalar medidor de pressão no corpo do difusor, conforme recomendado no Manual de Projetos para Sistemas de Aeração com Bolhas Finas (U.S. EPA, 1989) e Manual de Orientação para Plantas de Tratamento de Esgoto – Auditoria de Processos (Ontario Ministry of the Environment, 2006).
Gestão Energética dos Sopradores	Para o processo de gestão energética dos sopradores, os dados de OTE (SOTE) e Perda de Carga dos difusores devem ser comparados com os dados de consumo de energia elétrica dos sopradores de ar.
Vazão de Ar do Sistema	Para calcular a vazão mássica de ar fornecida ao sistema, deverá a estação prever a instalação de medidor de vazão, temperatura e pressão na linha de distribuição de ar para os difusores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASCE. Standard Guidelines for in Process Oxygen Transfer Testing, New York, NY. 1997
2. CALIFORNIA ENERGY COMMISSION. A Digital Control System for Optimal Oxygen Transfer Efficiency. Los Angeles. 2010.
3. REDMON, D. ET AL. Oxygen Transfer Efficiency Measurements in Mixed Liquor Using Off-gas Techniques. Journal WPCF, Vol. 55, n. 11. 2006.
4. STENSTROM, M.K. ET AL. Theory to Practice: Oxygen Transfer and the New ASCE Standard. Civil and Environmental Engineering Dept, UCLA, Los Angeles, Ca. (2006).
5. ONTARIO MINISTRY OF THE ENVIRONMENT. Guidance For Sewage Treatment Plant. Process Audits. 2006.
6. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OFFICE OF RESEARCH AND DEVELOPMENT- EPA. Fine Pore Aeration Systems - Design Manual. 1989.
7. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OFFICE OF RESEARCH AND DEVELOPMENT- EPA. Wastewater Technology Fact Sheet – Fine Bubble Aeration. Washington, DC. 1999.