

# OTIMIZAÇÃO DA OXIGENAÇÃO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS POR MEIO DA VARIAÇÃO DAS CONFIGURAÇÕES DE OPERAÇÃO DE AERADORES DE FLUXO DESCENDENTE

Michel Celso Gonçalves Moreira\*  
Eduarda de Magalhães Dias Frinhani\*\*

## Resumo

A presença de oxigênio é fundamental para a realização de determinados processos biológicos de tratamento de efluentes domésticos e industriais. O oxigênio dissolvido pode ser obtido por meio de aeradores ou difusores que terão como principal função manter a quantidade necessária e específica para o tratamento de determinada concentração de matéria orgânica. O objetivo principal deste trabalho foi determinar a melhor configuração de operação de um aerador de fluxo descendente modelo AFD5 da empresa Lindner Techno Systems. Utilizou-se uma potência de 5cv e um ângulo de inclinação de 62°; foram testados três diâmetros de hélice (165, 180 e 190 mm) e três velocidades de rotação por minuto (1000, 1750 e 2500 RPM). Os testes foram realizados na Lagoa B da Estação de Tratamento de Efluentes Domésticos do Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE) de Campos Novos, SC. Considerando-se a concentração inicial de oxigênio dissolvido do meio de aproximadamente 5,85 ppm, no intervalo de 15 minutos de teste de cada hélice com sua respectiva rotação de aerador, concluiu-se que as melhores condições de operação foram obtidas com a hélice de 190 mm, com a rotação de 1750 RPM.

Palavras-chave: Tratamento de biológico. Esgotos domésticos. Aerador fluxo descendente.

## 1 INTRODUÇÃO

As lagoas de estabilização são um exemplo de processos biológicos de tratamento de águas residuárias, consistem em reservatórios de pequena profundidade, que representam o *habitat* de uma variedade de organismos, consideradas a tecnologia de tratamento que mais se aproxima de ambientes hídricos naturais. Existem diversos tipos de lagoas de estabilização, sendo as mais citadas em literatura as lagoas anaeróbias, as facultativas, as de maturação e as lagoas aeradas mecanicamente.

As lagoas aeradas podem ser utilizadas quando se deseja um sistema predominantemente aeróbio, sendo uma solução para lagoas facultativas que operam de forma saturada e não possuem área suficiente para a sua expansão. Em decorrência da introdução de equipamentos eletromecânicos, a complexidade e a manutenção operacional do sistema são aumentadas, somando-se à necessidade de consumo de energia elétrica. As lagoas aeradas mecanicamente apresentam maior eficiência na remoção de carga orgânica, exigindo menor área para a sua construção e não apresentando problemas relacionados a odor, como as lagoas facultativas e as lagoas anaeróbias.

Uma eficiente oxigenação das lagoas aeradas mecanicamente é necessária para se garantir uma boa mistura e promover o ambiente aeróbio propício para o desenvolvimento dos micro-organismos responsáveis pela rápida degradação da matéria orgânica, além de manter um baixo consumo de energia. A injeção de ar nas estações aeróbias de tratamento passa a ser o maior item de consumo de energia em um sistema de tratamento, obrigando a busca por sistemas de aeração mais eficientes. Diversos são os tipos de aeradores disponíveis no mercado para essa finalidade, entretanto, nem sem-

\* Graduando do Curso de Engenharia de Produção da Universidade do Oeste de Santa Catarina; mimoreirared@gmail.com

\*\* Professora da Universidade do Oeste de Santa Catarina; Rua Getúlio Vargas, 2125, Bairro Flor da Serra, 89600-000, Joaçaba, SC; eduarda.frinhani@unoesc.edu.br

pre eles atuam com a eficiência exigida.

Sabe-se que parâmetros de operação como potência do motor, diâmetro e ângulo das pás e velocidade de rotação têm impactado na eficiente transferência de oxigênio para o meio líquido. Visando otimizar as configurações de operação de um aerador de fluxo descendente utilizado na aeração de efluentes domésticos, testaram-se diferentes diâmetros de hélice e velocidades de rotação.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

As mais diversas tecnologias são utilizadas para resolver a problemática do tratamento de águas residuárias (domésticas e industriais). É de conhecimento geral que não existe uma solução universal para se tratar esgoto. Cada caso deve ser analisado em decorrência do que vai ser tratado, onde vai ser tratado, o recurso disponível para o tratamento e qual o destino final do efluente tratado (OLIVEIRA et al., 2005).

Os tratamentos baseados em processos biológicos são os mais utilizados atualmente, uma vez que podem ser aplicados à maioria dos efluentes gerados, de origem doméstica ou industrial (FREIRE et al., 2000). O tratamento biológico é uma imitação do processo de autodepuração que ocorre normalmente na natureza (POHLMANN et al., 2009) e ocorre por meio da biodegradação da matéria orgânica pelo mecanismo de respiração celular, que promove a oxidação de compostos orgânicos com quebra de moléculas complexas, transformando-as em moléculas mais simples e mais estáveis. Nos processos aeróbios, o oxigênio é o principal acceptor de elétrons gerados a partir da degradação destes compostos. Durante o mecanismo respiratório ocorre a liberação de energia necessária para o crescimento e a manutenção das células bacterianas (VAZOLLER; GARCIA; CONCEIÇÃO NETO, 1991).

O método que mais se aproxima desse processo natural de depuração é o tratamento por lagoas de estabilização, técnica bastante difundida no Brasil, onde se tem disponibilidade de área a um custo interessante e condições climáticas favoráveis. Entre as vantagens em relação a outros métodos de tratamento está a simplicidade e o baixo custo de operação e manutenção. No entanto, podem apresentar problemas de baixa eficiência no tratamento, o que resulta em um efluente final de má qualidade (POHLMANN et al., 2009).

Nas lagoas aeradas, o suprimento de oxigênio é realizado artificialmente por dispositivos eletromecânicos, com a finalidade de manter uma concentração de oxigênio dissolvido em toda a massa líquida ou em parte dela, garantindo as reações bioquímicas que caracterizam o processo (JORDÃO; PESSOA, 2009).

Em comparação com as lagoas de estabilização facultativas fotossintéticas, as lagoas aeradas, em razão do fornecimento contínuo de oxigênio e da capacidade de mistura dos equipamentos de aeração, permitem adotar maiores profundidades, menor tempo de detenção, resultando em menor área ocupada (JORDÃO; PESSOA, 2009).

Lagoas aeradas são classificadas como facultativas ou de mistura completa em razão da densidade de potência dos equipamentos de aeração. Lagoas aeradas de mistura completa apresentam densidade de potência dos aeradores maior que 3 W/m, tempo de detenção hidráulico compreendido entre dois e quatro dias, e são seguidas por lagoas de sedimentação. A potência dos equipamentos de aeração é responsável pela agitação e mistura da massa líquida, perfazendo a desejada mistura completa do reator biológico, e pela transferência de massa de oxigênio necessária à manutenção de concentração de oxigênio dissolvido em torno de 2 mg/l (MATOS, 2005).

Pohlmann et al. (2009) compararam a eficiência de uma lagoa facultativa sem aeração mecânica e com aeração mecânica durante um período de 30 dias de operação e observaram que os resultados obtidos chegaram a superar 93% na redução de demanda bioquímica de oxigenação (DBO) atingindo valores absolutos de 40 mg/L, enquadrando o efluente final dentro dos limites estabelecidos na legislação ambiental do Estado de São Paulo. O oxigênio dissolvido (OD) que era zero no efluente final foi aumentando progressivamente até atingir valores de 7 mg/L, reduzindo o impacto do lançamento no corpo receptor. Da mesma forma, a contagem de coliformes fecais chegou a reduzir em até 94,2% quando comparada à média dos resultados obtidos antes da aeração, e o valor médio de pH passou de 7,5 para 8 no esgoto tratado. Não houve aumento nos resíduos sedimentáveis, mantendo-se inferior a 1 mL/L durante todo o período de monitoramento da lagoa. A turbidez apresentou significativa melhora, favorecendo o aspecto visual do efluente final.

Segundo Jordão e Pessoa (2009), os sistemas de aeração podem introduzir oxigênio puro diretamente às unidades do tratamento biológico, ou podem introduzir ar, sendo esta a modalidade convencional e mais usual nos processos biológicos. Os sistemas convencionais de aeração podem ser classificados segundo a forma pela qual o ar é introduzido nos tanques de aeração, normalmente por meio de difusores, agitadores ou uma combinação dos dois sistemas.

Na aeração por meio de difusores, o ar é fornecido mediante compressores instalados fora do tanque de aeração, e chega aos difusores por tubulações de um sistema de tubulações. Os difusores podem ser fixos ou montados em um sistema móvel (*swing-difusers*), sendo fabricados em diferentes materiais cerâmicos ou não cerâmicos e não porosos. Podem ser classificados de acordo com os tipos de bolhas formadas (finas, médias ou grossas). Os difusores são localizados em vários pontos abaixo da superfície líquida (JORDÃO; PESSOA, 2009; VON SPERLING, 2012).

Nos sistemas de aeração mecânica superficial, o oxigênio é introduzido no tanque em decorrência da ação de agitadores mecânicos que promovem a exposição à atmosfera de pequenas partículas e filmes delgados do líquido, o qual é levantado em grande quantidade e sob forte agitação até uma altura acima do nível da água no tanque, permitindo, assim, a transferência do oxigênio e a dispersão e incorporação do ar no meio líquido (JORDÃO; PESSOA, 2009; VON SPERLING, 2012).

Segundo Jordão e Pessoa (2009), os aeradores são fabricados com potência variando de 1 a 150 kW, caracterizando-se por sua capacidade de transferência de oxigênio, ou capacidade de oxigenação medida em  $\text{kgO}_2/\text{kWh}$  ou  $\text{kgO}_2/\text{HP}$ , e por transferir ao meio líquido uma parcela de energia para manter os sólidos em suspensão e impedir a sedimentação no tanque (densidade de potência).

Os aeradores mecânicos mais comumente utilizados são de eixo vertical com alta rotação, flutuantes ou fixos. Estes equipamentos atingem profundidades superiores a 2,5 m e, da mesma forma que os aeradores submersos, acabam por revolver o lodo de fundo, transferindo a camada anaeróbia de lugar. Normalmente são instalados no primeiro terço das lagoas facultativas com a intenção de aliviar a sobrecarga localizada na região de entrada dos esgotos (POHLMANN et al., 2009).

O impelidor pode apresentar rotor dos tipos prato, cone ou hélice, podendo o eixo de rotação ser vertical (mais comum) ou horizontal, utilizados em valos de oxidação (JORDÃO; PESSOA, 2009).

Segundo Von Sperling (2012), a taxa de transferência de oxigênio do equipamento de aeração a ser instalado em uma estação é frequentemente determinada em condições distintas daquelas nas quais ele operará; vários são os fatores que influenciam na taxa de transferência de oxigênio. A elevação da temperatura causa uma redução da concentração de saturação, o que, por sua vez, implica a redução da taxa de transferência. A altitude exerce uma influência na solubilidade de um gás, por ser inversamente proporcional à pressão atmosférica. Quanto maior a altitude, menor a pressão atmosférica; e quanto menor a pressão atmosférica, menor a pressão para que o gás se dissolva na água (VON SPERLING, 2012).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

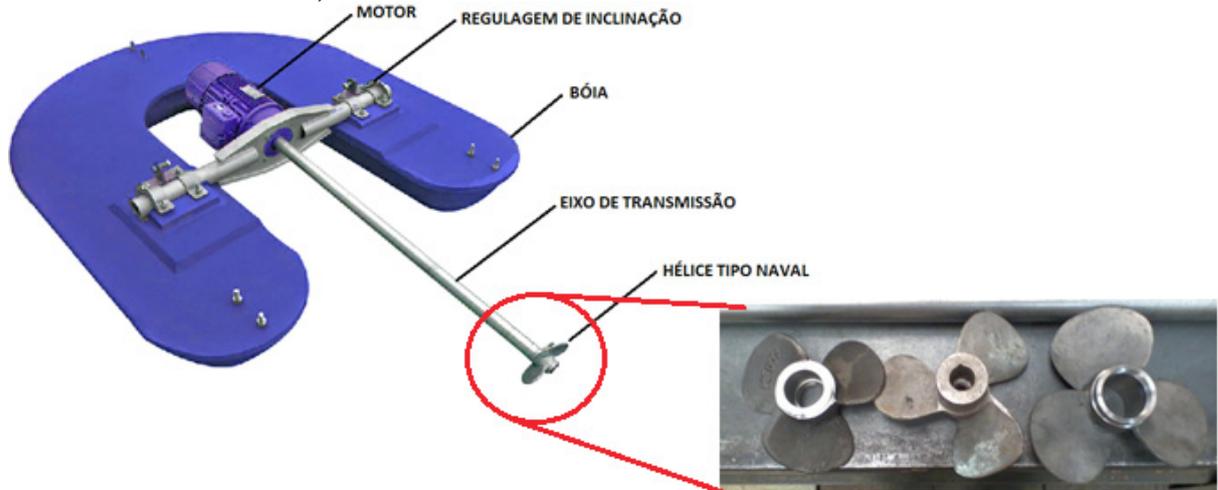
#### 3.1. AERADOR

Com o objetivo de obter as melhores condições de operação de um aerador destinado ao tratamento de efluentes domésticos e industriais, testou-se um aerador de fluxo descendente modelo AFD5, fabricado e comercializado pela empresa Lindner Techno Systems.

As três hélices testadas foram fabricadas em aço inoxidável AISI 304, utilizando moldes para a fundição. A boia foi fabricada conforme modelo padrão AFD5, utilizando como matéria-prima poliéster revestido por fibra de vidro (PRFV) e suporte do motor em aço inoxidável AISI 304.

O aerador de fluxo descendente consiste em um eixo vertical acoplado em um motor que fica suspenso a partir de uma boia, conforme ilustrado na Imagem 1.

Imagem 1 – Composição de um aerador de fluxo descendente, tendo em destaque as três hélices testadas (165, 180 e 190 mm de diâmetro)



Fonte: adaptada de Lindner Techno Systems.

As configurações das hélices e as configurações de operações testadas são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Configurações de operação (potência, diâmetro da hélice, ângulo das pás e rotação) do modelo de testes aerador de fluxo descendente modelo AFD5 testado

Potência	Ø da hélice, mm	Ângulo das pás	Rotação do motor
5cv 4 polos	165	62°	1000; 1750; 2500 RPM
5cv 4 polos	180	62°	1000; 1750; 2500 RPM
5cv 4 polos	190	62°	1000; 1750; 2500 RPM

Fonte: os autores.

### 3.2 REALIZAÇÃO DOS TESTES DE AERAÇÃO

Para a realização dos testes de aeração, um único aerador foi instalado na primeira lagoa facultativa do sistema de tratamento de esgotos denominada “Lagoa B” do SAMAE do Município de Campos Novos, que apresenta largura de 20 m, comprimento de 50 m e profundidade total no centro de 5,5 m. O sistema de tratamento de esgoto é composto por um reator UASB seguido de duas lagoas facultativas. Os equipamentos utilizados na realização dos testes são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Equipamentos utilizados na monitoração e controle dos testes

Equipamento	Modelo	Função
Aerador	AFD5	Aerador modelo de testes
Oxímetro	HI 9146-10	Medir o oxigênio e a temperatura do efluente
Multiteste	265 CLAMP METER	Monitorar a corrente do motor
Inversor de frequência	CFW700	Monitorar e controlar a rotação do motor
Cronometro	M3710	Marcar o tempo das anotações

Fonte: os autores.

A sonda para a medição da concentração de oxigênio dissolvido foi fixada em um suporte paralelo ao eixo do aerador, mantendo-se uma distância de 10 cm da hélice para que pudesse ter melhor leitura do oxigênio que fosse transportado pelo eixo de transmissão e misturado pela própria hélice, como pode ser observado na Fotografia 1.

Fotografia 1 – Instalação da sonda do oxímetro a 10 cm da hélice e monitoramento da oxigenação utilizando-se oxímetro



Fonte: os autores.

A oxigenação em cada parâmetro descrito no Quadro 1 foi monitorada durante 15 minutos, com intervalos de um minuto a cada medição. Todos os testes foram iniciados quando a concentração inicial de oxigênio no efluente voltava ao normal, aproximadamente 5,85 ppm. Em todos os dias de teste a temperatura da água foi monitorada e manteve-se praticamente constante, com média diária de 17,5 °C.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme apresentado no Quadro 1, mantendo-se uma potência de 5cv, testaram-se três diâmetros de hélice (165, 180 e 190 mm) com seus respectivos ângulos; cada hélice foi testada em três rotações diferentes (1000; 1750 e 2500 RPM), mantendo-se um ângulo do eixo de 62°.

Na Fotografia 2 é apresentado o aerador em funcionamento, nas condições de testes citadas no Quadro 1.

Fotografia 2 – Modelo de testes em funcionamento

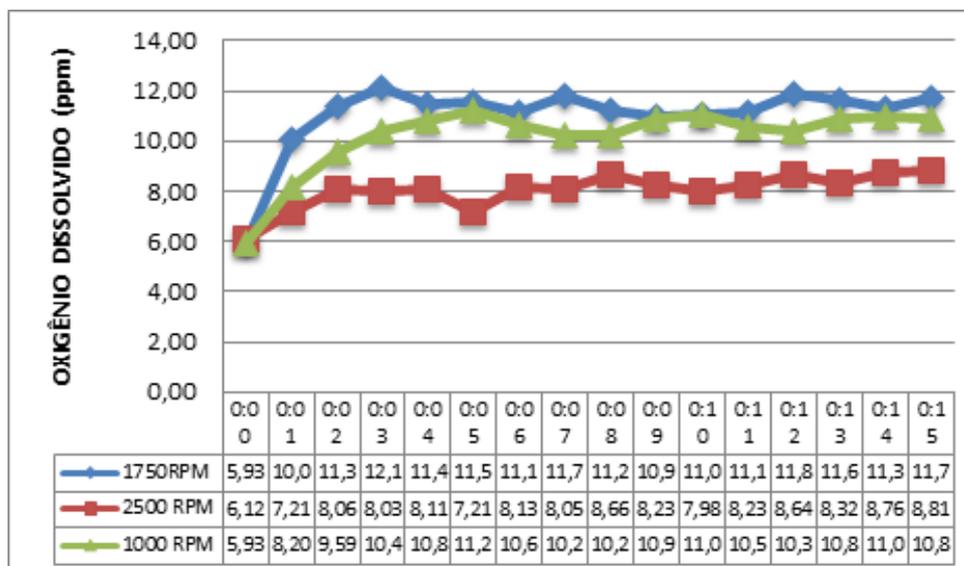


Fonte: os autores.

Nos aeradores de fluxo descendente, o eixo transmite o movimento para a hélice, a qual promoverá o turbilhamento. A hélice também promove uma força de empuxo, que “suga” o ar para dentro do líquido por meio de orifícios localizados na parte superior do eixo de transmissão.

Inicialmente, testou-se a hélice com diâmetro de 190 mm nas três rotações, os resultados do teste denominado T01 D190A62° são expostos no Gráfico 1, no qual são apresentadas as concentrações de oxigênio dissolvido (RPM) durante o tempo de teste (15 minutos), com intervalo de um minuto.

Gráfico 1 – Concentração de oxigênio dissolvido no decorrer de tempo para o teste da hélice com diâmetro 190 mm e com rotações de 1000, 1750 e 2500 RPM – Teste T01 D190A62°



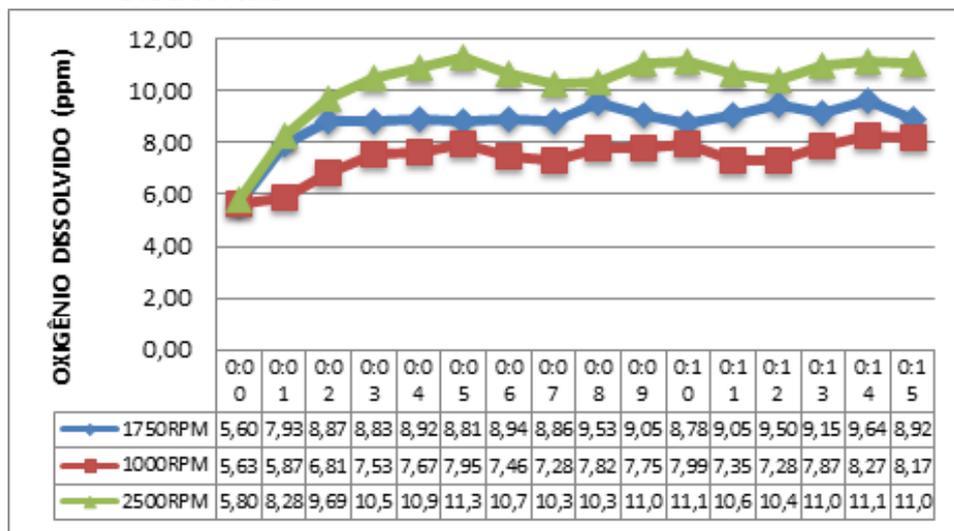
Fonte: os autores.

Como pode ser observado no Gráfico 1, a condição de 1750 rotações por minuto evidenciou melhor *performance*, ou seja, maior inserção de oxigênio no meio. A menor oxigenação foi obtida com a rotação de 2500 RPM. Quando se tem uma rotação muito elevada, a velocidade prejudica a

sucção do ar pelo eixo de transmissão, pois quanto maior a velocidade menor é o efeito de empuxo produzido pelas pás nesse diâmetro, perdendo-se eficiência.

No segundo teste, denominado T02 D180 A62°, utilizou-se o aerador com diâmetro de hélice de 180 mm e três velocidades de rotação. Iniciaram-se os testes quando a concentração de oxigênio dissolvido voltou aos níveis iniciais (aproximadamente 5,85 ppm). Os resultados são apresentados no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Concentração de oxigênio dissolvido no decorrer de tempo para teste da hélice com diâmetro 180 mm e com rotações de 1000, 1750 e 2500 RPM – Teste T02 D180 A62°

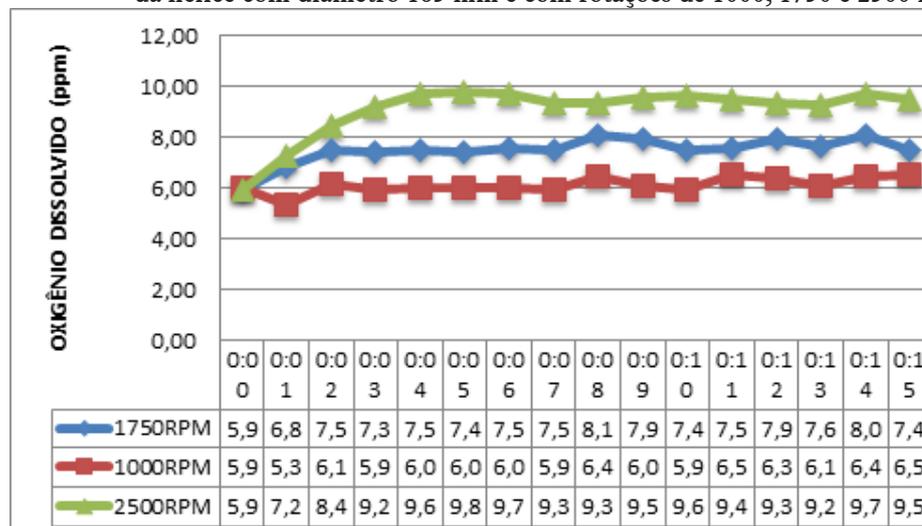


Fonte: os autores.

Como pode ser observado no Gráfico 2, com a utilização de uma hélice com um diâmetro menor (180 mm) em comparação à testada anteriormente (190 mm), obteve-se maior eficiência de aeração com a maior velocidade de rotação (2500 RPM).

No terceiro e último teste, T03 D190 A62°, cujos resultados são apresentados no Gráfico 3, foi testada a hélice com menor diâmetro (165 mm), e a mesma situação foi evidenciada: obteve-se melhor oxigenação com maior rotação (2500 RPM), seguida da segunda maior rotação (1750 RPM).

Gráfico 3 – Concentração de oxigênio dissolvido no decorrer de tempo para o teste da hélice com diâmetro 165 mm e com rotações de 1000, 1750 e 2500 RPM

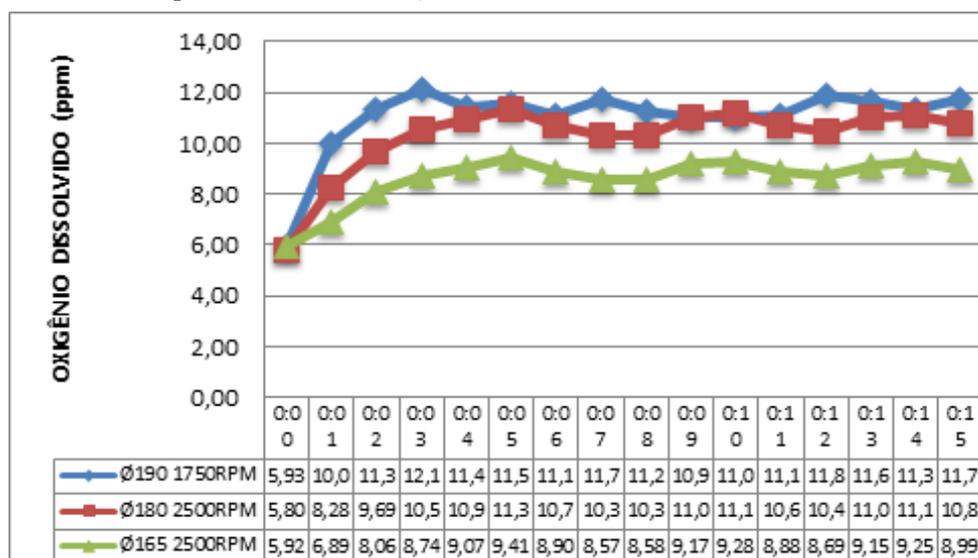


Fonte: os autores.

Como pode ser observado no Gráfico 3, a hélice de 165 mm de diâmetro praticamente não proporcionou inserção de oxigênio na rotação de 1000 RPM. Como suas pás são menores e a rotação era baixa, a força de empuxo foi proporcionalmente menor, demonstrando baixa inserção de oxigênio. Compensando o menor diâmetro da hélice, melhores resultados foram obtidos com a maior rotação (2500 RPM).

Considerando-se a rotação que proporcionou a maior inserção de oxigênio dissolvido no efluente para cada diâmetro de hélice testado, plotou-se o Gráfico 4.

Gráfico 4 – Comparação das hélices com diâmetro de 190, 180 e 165 mm, e rotação, respectivamente de 1750, 2500 e 2500 RPM



Fonte: os autores.

A maior hélice, com 190 mm de diâmetro, rotacionando com a configuração média de 1750 RPM, obteve a maior eficiência (Gráfico 4). O segundo melhor resultado foi obtido com a hélice de 180 mm de diâmetro e 2500 rotações por minuto. Nesse caso, a redução do tamanho da hélice foi compensada com um aumento da velocidade de rotação.

A menor inserção de oxigênio foi observada para a menor hélice testada (165 mm), mesmo operando a 2500 RPM, maior velocidade testada. Novamente, uma maior velocidade teve que ser empregada para compensar a menor área de contato das pás com o efluente.

Os resultados indicam que o maior diâmetro da hélice permite uma maior área de contato das pás da hélice com o efluente, gerando maior empuxo e succionando maior quantidade de ar para dentro do efluente.

Em todas as condições testadas, a estabilização da inserção de oxigênio ocorreu após, aproximadamente, três minutos do início do acionamento.

## 5 CONCLUSÃO

Visando otimizar as configurações de operação do aerador de fluxo descendente modelo AFD5 da empresa Lindner Techno Systems, realizaram-se testes de inserção de oxigênio na Lagoa de Estabilização da ETE de Campos Novos, SC. Mantendo-se uma potência de 5cv e um ângulo de inclinação de 62°, testaram-se três diâmetros de hélice (165, 180 e 190 mm) e três velocidades de rotação por minuto (1000, 1750 e 2500 RPM).

Considerando-se a concentração inicial de oxigênio dissolvido do meio de aproximadamente 5,85 ppm, no intervalo de 15 minutos de teste de cada hélice com sua respectiva rotação de aerador, concluiu-se que as melhores condições de operação foram obtidas com a hélice de 190 mm, com a rotação de 1750 RPM. Observou-se que quanto menor for o diâmetro da hélice maior terá que ser a rotação para compensar a menor área de contato das pás com o líquido.

## REFERÊNCIAS

- DUARTE, M. A. C. et al. Avaliação comparativa da eficiência de três sistemas de tratamento de esgotos domésticos, em Natal-RN. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.
- FREIRE, R. S. et al. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Química Nova**, v. 23, p. 504-511, 2000.
- JORDÃO, E. P.; PÊSSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 5. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009.
- MATOS, O. S. de. Condições de mistura, oxigenação e desempenho de uma lagoa aerada de mistura completa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.
- OLIVEIRA, E. C. Assis de et al. Avaliação da remoção da matéria orgânica na estação de tratamento de esgotos de Ponta Negra/RN In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.
- POHLMANN, M. et al. Lagoa facultativa aerada superficialmente: um conceito de baixo custo para aumento de eficiência. Estudo de caso distrito de Rechã-SP. **Hydro**, p. 29-33, ago. 2009.
- VAZOLLER, R. F.; GARCIA, A. D.; CONCEIÇÃO NETO, J. **Microbiologia de lodos ativados: série manuais**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1991.
- VON SPERLING, M. **Lodos ativados**. 3. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2012.

