

## **A IMPORTÂNCIA DA AVALIAÇÃO DO TIPO DE SOPRADOR NO PROJETO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

### **Beatriz Marques Rollim<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Chefe do Núcleo de Saneamento da Engecorps e Líder BIM da área de Saneamento da Engecorps Engenharia S.A.

### **Cristiano Luchesi Niciura<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil e Doutor pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Chefe do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Engecorps Engenharia S.A.

### **Nayara Batista Borges<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa, Mestre e Doutora pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), Especialista em Processo na Engecorps Engenharia S.A.

### **Adriana Gonçalves Costa<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Escola Politécnica de Jundiaí e Líder da equipe de Orçamento e Pacote Técnico na Engecorps Engenharia S.A.

### **Maria Bernadete Sousa Sender<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil e Mestre pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Diretora de Águas e Desenvolvimento Sustentável da Engecorps Engenharia S.A.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Alameda Tocantins, 125 – 12º andar – cj. 1202, Barueri – SP, CEP 06455020 – Brasil – Tel. (11) 2135-5252, e-mail: [beatriz.rollim@engecorps.com.br](mailto:beatriz.rollim@engecorps.com.br)

## **RESUMO**

A escolha do tipo de soprador de ar a empregar nos sistemas de aeração de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) merece atenção especial por parte das projetistas, uma vez que os custos de instalação e operação desses equipamentos são elevados e podem interferir de forma significativa no valor total do empreendimento. Neste contexto, o presente trabalho apresenta alguns critérios que podem ser adotados para avaliação de alternativas em estudos de concepção e projetos, aplicáveis a ETEs de pequeno a grande porte.

Para tanto, foram utilizadas informações de projetos executivos desenvolvidos pela Engecorps Engenharia S.A., em especial os relacionados a Estações de Tratamento de Esgoto com processo de Lodos Ativados com biomassa granular suspensa, com alimentação batelada, tendo em vista que a demanda de ar nesta variante tende a ser mais elevada. Os tipos de sopradores avaliados foram: Roots, Parafuso e Turbo.

Para permitir a avaliação técnica-econômica dessas alternativas de equipamentos foram elencados os seguintes indicadores primários: quantidade de equipamentos necessários ao longo do horizonte de planejamento e respectivo custo de implantação; modulação exigida para cada tipo; possibilidade de regulação do fluxo de ar; consumo de energia elétrica; eficiência energética; demanda de área para instalação/abrigo e requisitos de manutenção.

Observou-se que para Estações de Tratamento com grandes demandas de ar o modelo turbo tende a ser mais indicado, porém também pode ser vantajoso o uso de sopradores do tipo parafuso. Nesses casos, o consumo de energia e a quantidade de máquinas são os principais fatores intervenientes. Por outro lado, para situações de menor demanda, o tipo parafuso pode proporcionar condições mais favoráveis de instalação e operação, tendo em vista que apresenta melhor flexibilidade ao ajuste de vazão e adequabilidade a modulação desejada. Nesses casos, também deve ser avaliada a alternativa com máquinas do modelo roots, pois mostra-se competitivo em cenários de potências instaladas de menor porte.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sopradores de ar, redução de custo com energia, projeto de Estações de Tratamento de Esgoto, CAPEX e OPEX.

## **INTRODUÇÃO**

Usualmente, nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), cerca de 73% da potência elétrica total instalada se concentra no sistema de aeração (Wendland, 2006), representado pelo conjunto de sopradores, que também é responsável pela maior parte do consumo de energia, que representa, por sua vez, cerca de 25% a 40% do custo de operação (Panepinto et al, 2016).

Sendo assim, o dimensionamento correto dos equipamentos, sua configuração enquanto sistema e o uso das mais modernas e eficientes tecnologias disponíveis no mercado conduzem a ganhos tanto econômicos, como para o meio ambiente. Além disso, conforme destacado por EPA (2010), a consideração do período de projeto, vida útil do equipamento e quão próximo da demanda prevista encontra-se a planta, também são fatores importantes a considerar na escolha do tipo de soprador para novas ETEs ou para instalações existentes em *retrofit*. Por fim, cabe mencionar ainda que, de acordo com Lyons (2022), outros fatores que devem ser considerados na escolha do equipamento são os níveis de ruídos, pois exigem projetos específicos de acústica para o prédio onde serão instalados e a disponibilidade de assistência técnica na região.

Nesse contexto, o presente trabalho apresenta ponderações advindas de projetos recentes de ETEs do tipo Lodos Ativados com Lodo Granular, nos quais foram avaliados modelos diversos de sopradores disponíveis no mercado, com comparação da quantidade de equipamentos necessários ao longo do horizonte de planejamento, eficiências em termos de energia e condições de implantação e operação, compondo estudos de alternativas para cada caso, cujos resultados podem servir de referência a trabalhos similares. Pretende-se com isso compartilhar validações práticas de estudos de alternativas desses equipamentos, provenientes de experiências adquiridas em projetos de ETEs e com isso promover a discussão em torno do tema. Nesse cenário, torna-se importante mencionar que não objetiva indicar e/ou recomendar determinado tipo ou modelo de soprador, mas divulgar as conclusões obtidas nestes projetos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os estudos de alternativas de sopradores foram desenvolvidos no âmbito de projetos executivos de Estações de Tratamento de Esgoto com processo de Lodos Ativados com biomassa granular suspensa, com alimentação em batelada. Tendo em vista que a demanda de ar nessa variante tende a ser mais elevada, justamente em função das operações em batelada, tornou-se imperioso avaliar os tipos de equipamentos disponíveis, para posterior comparação técnica-econômica das opções disponíveis.

Para tanto, foram elencados os seguintes indicadores primários de avaliação: quantidade de equipamentos necessários ao longo do horizonte de planejamento e respectivo custo de implantação; modulação exigida para cada tipo; possibilidade de regulação do fluxo de ar; consumo de energia elétrica; eficiência energética; demanda de área para instalação/abrigo e requisitos de manutenção.

Nesse contexto, foram avaliados sopradores com capacidade de atendimento das seguintes condições previstas nesses projetos: tanques de reação/aeração com altura útil variando de 5,0 a 7,0 metros, com consequente pressão de descarga entre 0,65 e 0,80 bar; demanda de ar variando de 25.000 a 120.000 m<sup>3</sup>N/h; possibilidade de alimentação em 380 V e/ou 440V; e possibilidade de implantação em até 4 etapas em alguns casos. Com isso, os seguintes tipos/modelos foram analisados:

- Roots (lôbulos): trata-se de tecnologia mais antiga, com deslocamento positivo do ar através de lóbulos sincronizados e geralmente com refrigeração com ar e isenta de óleo, exceto em sua caixa de engrenagens. Usualmente é aplicado para condições de pressão de trabalho mais reduzidas e para vazões moderadas. O fluxo de ar pode ser controlado com inversores de frequência;
- Parafusos (rotativos): o deslocamento de ar decorre da ação de lóbulos helicoidais, com compressão interna com menor consumo de energia e consequente maior eficiência, quando comparado ao modelo Roots. O acionamento é direto, sem necessidade de polias e correias. A possibilidade de atuação com velocidade variável permite obter janela operacional mais ampla;
- Turbo (centrífugos): constitui-se de tecnologia mais recente, com emprego de rotor centrífugo e caracterizado pela ausência de fricção interna com a carcaça e consequente menor demanda de energia. Pode funcionar com uma janela operacional mais restrita em torno do ponto “ótimo” de operação, com possibilidade de controle de vazão mediante uso de restritores de fluxo de ar na admissão ou na saída ou, a depender do modelo/fabricante, o controle de vazão é feito através da variação de frequência nos motores do tipo ímãs permanentes, acoplados a mancais do tipo magnético ou pneumático.

Merece comentário o fato de que, de maneira similar ao que ocorre com as bombas, a utilização do variador de velocidade é um método eficaz para o controle da vazão de ar, considerando-se o consumo de energia. Todavia, deve ser observado que as tecnologias dos sopradores têm avançado rapidamente e as informações mais recentes devem ser consultadas para avaliar a aplicação dos turbosopradores (Metcafl & Eddy, 2016).

Nesse cenário, as informações obtidas com fornecedores permitiram a montagem de matrizes de avaliação para cada ETE, contendo os indicadores mencionados anteriormente, incluindo os custos de instalação e operação que, neste trabalho, estão divulgados com notas variando de 1 a 3.

## RESULTADOS

Estão apresentados na sequência as matrizes de avaliação de sopradores em dois cases de projetos, cujos resultados proporcionam a obtenção de análise criteriosa do tipo de equipamento a utilizar em cada situação e as consequentes ponderações e recomendações sobre o tema.

As características das estações são:

### Estação de Tratamento de Esgoto 1

- Vazão média de esgoto bruto: 400 L/s;
- Modulação prevista de obras: 2 etapas;
- Demanda de ar: máxima de 25.000m<sup>3</sup>N/h e mínima de 7.500 m<sup>3</sup>N/h;
- Tensão de alimentação desejada: 440 V

### Estação de Tratamento de Esgoto 2

- Vazão média de esgoto bruto: 1.900 L/s;
- Modulação prevista de obras: 2 etapas;
- Demanda de ar: máxima de 115.000 m<sup>3</sup>N/h e mínima de 35.000 m<sup>3</sup>N/h;
- Tensão de alimentação desejada: 380 V

Nas Tabelas 1 e 2 estão apresentadas as matrizes de avaliação desses cases.

**Tabela 1 – Representação da matriz de avaliação dos sopradores da ETE 1**

Tipo de Soprador	Roots	Parafuso	Turbo
Adequabilidade da quantidade de equipamentos	1	3	2
Atendimento pleno a modulação prevista na ETE	3	3	1
Adequabilidade do controle do fluxo de ar	2	3	2
Demanda de área	3	2	1
Requisitos de manutenção	1	3	2
Eficiência operacional	1	3	3
Potência Instalada	2	3	3
Potência consumida	2	3	3
Custo de Instalação	3	2	2
Total	18	25	19

**Tabela 2 – Representação da matriz de avaliação dos sopradores da ETE 2**

Tipo de Soprador	Roots	Parafuso	Turbo
Adequabilidade da quantidade de equipamentos	1	3	3
Atendimento pleno a modulação prevista na ETE	1	3	3
Adequabilidade do controle do fluxo de ar	3	3	2
Demanda de área	1	2	3
Requisitos de manutenção	1	3	3
Eficiência operacional	1	2	3
Potência Instalada	1	3	3
Potência consumida	1	3	3
Custo de Instalação	3	1	1
Total	13	23	24

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Diante dos resultados apresentados e considerando as particularidades de cada ETE, a comparação entre modelos para cada caso permite a seguinte análise:

- Adequabilidade da quantidade de equipamentos: na condição de plantas com alta demanda de ar, os modelos do tipo turbo usualmente mostram-se indicados por necessitarem de número menor de máquinas. No caso da ETE 2, alguns modelos do tipo Roots ou Parafuso levaram a uma modulação com mais de 15 máquinas, que se mostrou inviável para o cliente, frente a complexidade maior da instalação e manutenção;
- Atendimento pleno a modulação prevista na ETE: houve casos em que o número de equipamentos sugeridos pelo fornecedor não foi favorável para a modulação desejada, ou seja, ao definir o modelo e a quantidade para a vazão de fim de plano da ETE, poder-se-ia incorrer em “superdimensionamento” para as

etapas intermediárias. Além disso, para a análise econômica em valor presente, observou-se que é mais vantajosa a modulação que prevê a postergação dos investimentos, com redução da quantidade sopradores a serem adquiridos em primeira etapa;

- Adequabilidade do controle do fluxo de ar: como cada modelo de soprador possui sua tecnologia de controle da vazão de ar, pode ser que o cliente final possua preferências por um modelo ou outro. Além disso, quando a variação de vazão unitária é muito alta, os modelos Roots e Parafuso são mais adequados, podendo atender usualmente vazões mínimas até 4 vezes inferiores à normal de operação. A faixa de operação de um modelo turbo tende a ser mais reduzida, e portanto, para absorver variações mais expressivas de demanda de ar no sistema, todos os equipamentos são ajustados para um novo ponto comum de operação. No caso dos modelos Roots e Parafuso, uma queda repentina de demanda de ar por exemplo, pode ser absorvida por um único equipamento, independente, mantendo as demais máquinas do sistema em operação no ponto mais próximo do “ótimo”;
- Demanda de área: em termos de área ocupada, de modo geral, o tipo turbo apresenta menor demanda para uma mesma vazão unitária. Porém, o fator que mais interfere sobre a área dispendida para o abrigo de sopradores é a quantidade de máquinas prevista em final de plano, prevalecendo, nesse caso, a alternativa cuja modulação seja mais otimizada;
- Requisitos de manutenção: usualmente, o tipo Roots é um modelo com maior quantidade de partes mecânicas expostas, o que pode implicar em uma manutenção usualmente mais frequente. O modelo turbo demanda relativa menor manutenção, de acordo com informações dos fabricantes, porém, por ter a parte do controle e automação integrados, exige mão de obra mais especializada e atenção especial para as manutenções preventivas;
- Eficiência operacional: os sopradores do tipo Turbo e Parafuso apresentam maior eficiência do que os modelos Roots. Destaca-se que o modelo turbo é mais sensível a variações da faixa operacional, podendo ocorrer os fenômenos de *purge* e *choke*, caso sejam operados com vazões menores ou pressões maiores para as quais foram dimensionados;
- Potência Instalada: esta condicionante também deve ser considerada na avaliação dos sopradores, pois também tem custo de energia elétrica associado. Torna-se oportuno mencionar ainda que a tensão de alimentação pode ser uma restrição na avaliação dos equipamentos, a depender do contexto. No caso da ETE 2, alguns equipamentos foram desfavorecidos na avaliação pois, pelas condições da concessionária de energia local, os motores deveriam ser alimentados em média tensão, o que não era uma opção desejada pelo cliente;
- Potência consumida: de forma análoga aos resultados para a avaliação de eficiência, os sopradores do tipo Turbo e Parafuso possuem relativo menor consumo energético que os modelos Roots;
- Custo de Instalação: o modelo Roots tende a ser menos oneroso, porém, com aplicação limitada a vazões mais modestas. Em sistemas com demandas de ar maiores, o modelo Turbo, embora possua custos unitários maiores, pode ser vantajoso na avaliação econômica, devido a quantidade menor de máquinas necessárias.

## CONCLUSÕES

As experiências recentes nos projetos de ETEs do tipo Lodos Ativados com Lodo Granular indicam que a avaliação do tipo do soprador a empregar no sistema de aeração deve ser desenvolvida considerando critérios técnico-econômicos, envolvendo pelo menos nove variáveis.

Geralmente, para Estações de Tratamento com grandes demandas de ar o modelo turbo tende a ser mais indicado, porém também pode ser vantajoso o uso de sopradores do tipo parafuso. Nesses casos, o consumo de energia e a quantidade de máquinas são os principais fatores intervenientes.

Por outro lado, para situações de menor demanda, o tipo parafuso pode proporcionar condições mais favoráveis de instalação e operação, tendo em vista que apresenta melhor flexibilidade ao ajuste de vazão e adequabilidade a modulação desejada. Nesses casos, também deve ser avaliada a alternativa com máquinas do modelo roots, pois mostra-se competitivo em cenários de potências instaladas de menor porte.

Na comparação final dos custos de implantação e operação/manutenção, em valor presente, observou-se que o investimento inicial (CAPEX) corresponde a cerca de 10% do montante total, ou seja, o consumo de energia (OPEX) tem participação primordial neste tipo de avaliação.

Ainda como conclusão, merece destaque o fato de que a análise do tipo de equipamento a empregar deve ser feita considerando todo o horizonte de planejamento, com atenção especial a modulação prevista, pois nem sempre a mais vantajosa a longo prazo mostra-se favorável às condições iniciais de operação. Em situações em que as etapas de implantação são distantes, pode ser interessante determinada modulação para começo de plano e novo arranjo para os períodos subsequentes.



Portanto, recomenda-se que a análise do tipo de soprador a empregar em sistemas de aeração de Estações de Tratamento de Esgoto seja desenvolvida considerando, pelo menos, os nove critérios mencionados neste trabalho, e em estrita consonância com os anseios e critérios solicitados pelos clientes finais.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. EPA, 2010. Evaluation of Energy Conservation Measures for Wastewater Treatment Facilities. U.S. Environmental Protection Agency. EPA 832-R-10-005, September 2010.
2. LYONS, KIRK, 2022. How to select the right air blower technology for water and wastewater treatment plants. Water Magazine, Outubro, 2022. Disponível em: [How to select the right air blower technology for water and wastewater treatment plants - Water Magazine](#), acessado em 31/03/2023.
3. METCALF & EDDY, 2016. Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos. Tradução: Ivanildo Hespanhol / José Carlos Mierzwa, 5 ed., Porto Alegre: AMGH.
4. PANEPINTO, D. et al, 2016, Evaluation of the energy efficiency of a large wastewater treatment plant in Italy. Applied Energy 161 (2016) 404–411.
5. WENDLAND, ARND, 2005, Operation Costs of Wastewater Treatment Plants. Efficient Management of Wastewater, its Treatment and Reuse in the Mediterranean Countries. Disponível em <https://cgi.tu-harburg.de/~awwwweb/wbt/emwater/>, acessado em 16/12/2022.