SISTEMA DE BOMBEAMENTO INTELIGENTE – CASE ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO (EEE) BARONESA – SANTA LUZIA (MG)

Luiz Henrique de Oliveira
Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Engenheiro de Projetos e Obras na Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA-MG)

Aline de Paula Oliveira Gomes
Engenheira Civil (FUMEC), especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental (PUC MG) e especialista em Engenharia de Estruturas (UFMG). Gerente da Unidade de Manutenção Eletromecânica de Esgoto Metropolitana da COPASA MG

Fabrício Alexandre
Engenheiro da Computação pelo Centro Universitário (UNA). Supervisor de Automação na Gerência de Manutenção Eletromecânica de Esgoto Metropolitana na Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA-MG)

Filipe Nepomuceno Bicalho Santos
Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Superintendente na Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA-MG)

Pedro Henrique de Jesus
Graduando do curso de Engenharia Civil pela Faculdade Única (Campus Ipatinga). Técnico de Edificações pelo Colégio CEST (Ipatinga). Eletricista de Manutenção pelo SENAI/Usiminas (Ipatinga). Técnico de Projetos e Obras na Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA-MG)

Endereço: Rua Mar de Espanha, 453, Santo Antônio, Belo Horizonte, MG, Brasil, CEP 30330-270. Tel.: +55 31 9850-5484 – e-mail: luiz.deoliveira@copasa.com.br

RESUMO

O trabalho analisa a aplicação de um sistema de bombeamento inteligente na EEE Baronesa, localizada em Santa Luzia/MG e operada pela COPASA MG. A estação, projetada para vazões menores, passou apresentar recorrentes entupimentos, falhas eletromecânicas, extravasamentos e alto custo operacional em função do crescimento populacional e do aumento da carga sólida afluente. Como solução, foi implantado um conjunto motobomba inteligente, equipado com inversor de frequência integrado, sensores e algoritmos de controle em malha fechada, capaz de ajustar automaticamente sua rotação às condições hidráulicas do sistema e executar funções de desobstrução.

A metodologia do estudo baseou-se em análise comparativa do desempenho operacional e energético da estação antes e após a implantação da nova tecnologia, considerando indicadores como gastos com energia, número de entupimentos, ocorrências de extravasamento e disponibilidade operacional.

Os resultados demonstraram redução significativa dos entupimentos e extravasamentos e aumento da confiabilidade e continuidade operacional. Observou-se também ligeira melhora na eficiência energética, decorrente do melhor ajuste do ponto de operação da bomba às condições reais de vazão. Além disso, houve diminuição das intervenções corretivas e maior previsibilidade da manutenção. Conclui-se que o bombeamento inteligente é tecnicamente viável e replicável, contribuindo para a modernização, sustentabilidade e eficiência dos sistemas de esgotamento sanitário.

PALAVRAS-CHAVE: Confiabilidade, automação, disponibilidade.

INTRODUÇÃO

As Estações Elevatórias de Esgoto (EEE) constituem elementos fundamentais dos sistemas de esgotamento sanitário, especialmente em regiões onde as condições topográficas ou de ocupação urbana inviabilizam o transporte dos efluentes exclusivamente por gravidade. Essas unidades têm como principal função garantir a

continuidade hidráulica do sistema, promovendo a elevação do esgoto até cotas compatíveis com os processos subsequentes de transporte e tratamento, prevenindo extravasamentos, contaminação ambiental e riscos à saúde pública (METCALF & EDDY, 2014; ABNT, 2016).

Os conjuntos motobomba (CMB) utilizados em EEE operam em condições severas, uma vez que o esgoto sanitário apresenta elevada variabilidade hidráulica, presença de sólidos grosseiros, materiais fibrosos e elevados teores de matéria orgânica. Essas características tornam os sistemas de bombeamento particularmente suscetíveis a falhas operacionais, como entupimentos, sobrecargas mecânicas e elétricas, além de desgaste prematuro dos componentes, impactando negativamente a confiabilidade, a disponibilidade operacional e os custos de operação e manutenção (TSUTIYA; SOBRINHO, 2011).

Na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA MG), por meio da Gerência de Manutenção Eletromecânica de Esgoto Metropolitana (GMME), é responsável pela operação e automação de 135 estações elevatórias de esgoto. Dentre essas unidades, destaca-se a EEE Baronesa, localizada no município de Santa Luzia/MG, projetada para operar com ponto hidráulico de 8,19 mca e vazão de 14,68 l/s, atendida originalmente por um CMB de potência nominal de 7,5 cv.

Entretanto, o crescimento populacional acelerado e superior ao inicialmente previsto na sub-bacia de contribuição da EEE Baronesa resultou em aumento significativo das vazões afluentes e da carga sólida transportada, levando a recorrentes episódios de entupimento, falhas eletromecânicas, extravasamentos e redução expressiva da disponibilidade operacional da unidade. Tais ocorrências acarretaram impactos ambientais, riscos à saúde pública, elevação dos custos operacionais e comprometimento da imagem institucional da concessionária, além da possibilidade de sanções por parte dos órgãos reguladores e do poder concedente.

Nesse contexto, a adoção de tecnologias inovadoras de bombeamento, capazes de se adaptar dinamicamente às condições operacionais e hidráulicas do sistema, surge como alternativa estratégica para o enfrentamento dos desafios associados à gestão eficiente de EEE. Sistemas de bombeamento inteligente, equipados com eletrônica de potência integrada, controle automático em malha fechada e algoritmos de otimização, vêm sendo apontados na literatura técnica como soluções promissoras para aumento da eficiência energética, mitigação de falhas operacionais e ampliação da vida útil dos ativos, além de alinhamento aos princípios da sustentabilidade no saneamento (ÅSTRÖM; HÄGGLUND, 1995; XYLEM, 2023).

Diante desse cenário, o presente trabalho apresenta e avalia a aplicação de um sistema de bombeamento inteligente na EEE Baronesa, analisando seu desempenho operacional, energético e de confiabilidade, bem como os impactos decorrentes de sua implementação no contexto real de operação de um sistema público de esgotamento sanitário.

OBJETIVO

Melhorar a confiabilidade operacional e eficiência energética através da obtenção e instalação de sistema de bombeamento inteligente. Buscando reduzir extravasamentos de esgoto e melhorar a imagem institucional da concessionária.

METODOLOGIA UTILIZADA

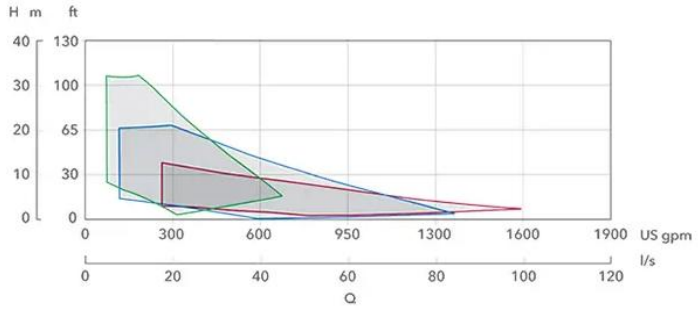
O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de natureza quantitativa e abordagem experimental, desenvolvida a partir da análise comparativa do desempenho operacional de uma Estação Elevatória de Esgoto antes e após a implantação de um sistema de bombeamento inteligente.

A pesquisa foi conduzida na Estação Elevatória de Esgoto Baronesa, localizada no município de Santa Luzia, Minas Gerais, integrante do sistema público de esgotamento sanitário operado pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA MG). A unidade é responsável pelo bombeamento de esgoto sanitário proveniente de uma sub-bacia com crescimento populacional superior ao previsto em projeto, o que resultou em aumento das vazões afluentes e da carga sólida transportada.

A EEE foi originalmente projetada para operar com vazão média de 14,68 l/s e altura manométrica de 8,19 mca, contando com conjunto motobomba de potência nominal de 7,5 cv, operando em regime de partida direta e controle por nível.

Como alternativa aos problemas operacionais recorrentes, foi implantado em julho/24 um sistema de bombeamento inteligente composto por conjunto motobomba submersível com eletrônica de potência integrada, dotado de inversor de frequência embarcado, sensores internos e algoritmos de controle em malha fechada. O sistema é capaz de ajustar automaticamente sua rotação em função das condições hidráulicas instantâneas, promovendo controle adaptativo de vazão e torque, além de funções automáticas de desobstrução e proteção operacional. A figura 1 abaixo apresenta as regiões operacionais para as bombas inteligentes. Diferente das bombas convencionais que apresentam curvas, o sistema inteligente possui regiões dentro das quais a bomba funciona automaticamente buscando sempre o ponto de melhor eficiência energética.

Figura 1 – Regiões de operação das bombas inteligentes



Fonte: Xylem, 2023.

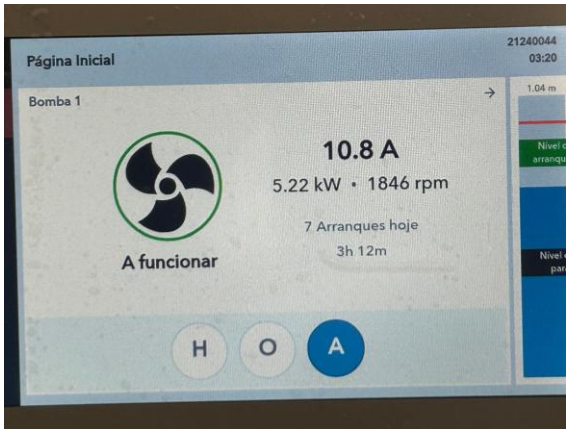
A implantação do novo sistema envolveu a substituição do conjunto motobomba convencional pelo equipamento de bombeamento inteligente, mantendo-se inalteradas as características civis da estação e as condições hidráulicas do sistema. Após a instalação, foram realizados os procedimentos de comissionamento, parametrização e integração com o painel de comando local acessório ao equipamento, conforme foto 1 abaixo, assegurando a correta operação nas condições reais da EEE. A foto 2 abaixo enfatiza a tela da interface homem máquina (IHM) instalada no painel de comando para visualização *in loco* dos dados operacionais tais como: status de funcionamento, número de partidas, tempo de operação, consumo energético e rotação. A foto 3 a seguir apresenta a tela da IHM para parametrização dos níveis de operação da bomba possibilitando ajuste dos pontos de liga e desliga. A foto 4 a seguir mostra a tela da IHM com os parâmetros funcionais da bomba.

Foto 1 - Painel de comando da bomba inteligente



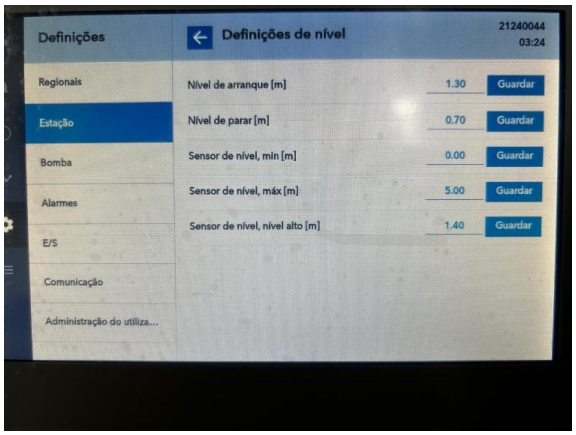
Fonte: Arquivo pessoal

Foto 2 - IHM painel de comando da bomba inteligente



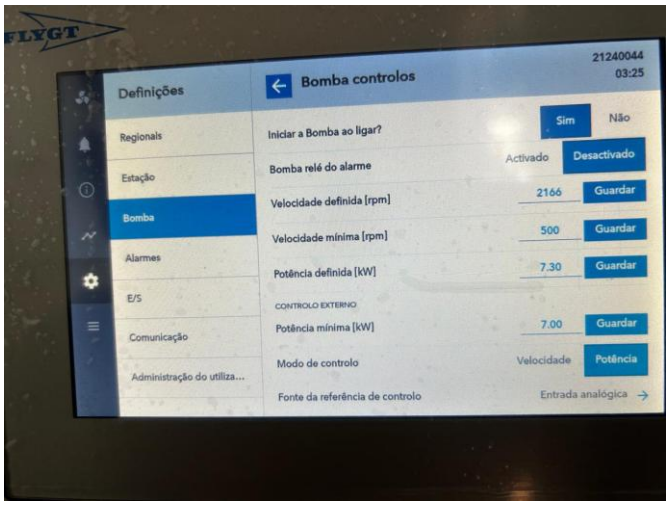
Fonte: Arquivo pessoal

Foto 3 - Tela de parametrização dos níveis de liga e desliga



Fonte: Arquivo pessoal

Foto 4 – Tela de parâmetros funcionais da bomba inteligente



Fonte: Arquivo pessoal

A avaliação do desempenho foi realizada por meio da análise de dados operacionais registrados em dois períodos distintos:
(i) período de 13 meses anterior à implantação do sistema inteligente, com operação do sistema convencional;
(ii) período de 13 meses posterior à implantação, com o novo sistema em operação contínua.

Foram analisados indicadores de desempenho operacional e energético, incluindo gastos com energia elétrica, número de ocorrências de entupimentos, registros de extravasamento, tempo de indisponibilidade da estação e demanda por intervenções de manutenção corretiva.

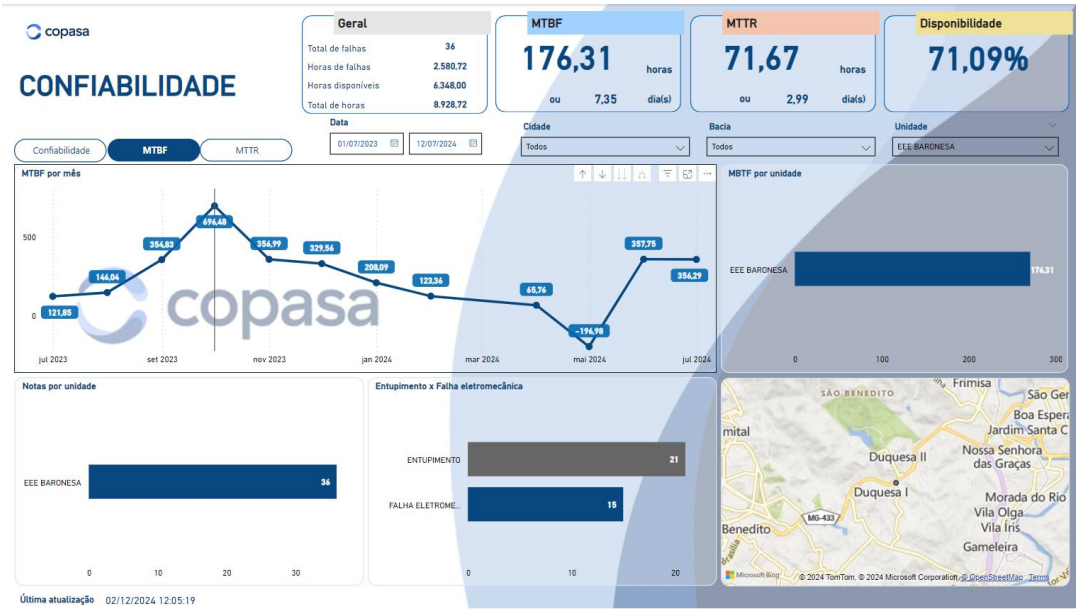
Os dados coletados foram organizados e comparados de forma descritiva, permitindo a avaliação dos impactos da tecnologia de bombeamento inteligente sobre a confiabilidade operacional, eficiência energética e disponibilidade da estação elevatória. A análise buscou evidenciar as melhorias obtidas, bem como identificar eventuais limitações e aprendizados associados à aplicação da tecnologia em ambiente real de operação de um sistema público de esgotamento sanitário.

RESULTADOS OBTIDOS

Na figura 2 abaixo estão demonstrados os indicadores para a EEE Baronesa referentes ao período de julho/2023 a 12/07/2024 (13 meses), data em que foi instalada a bomba inteligente.

- Total de falhas: 36 falhas (15 falhas eletromecânicas e 21 entupimentos) – média: 2,88/mês;
- Total de horas no período: 8.928h;
- Horas falhas: 2.580h;
- Horas disponíveis: 6.348h;
- MTBF (*Mean time between failure*): 176,31h (7,35 dias);
- MTTR (*Mean time to repair*): 71,67h (2,99 dias);
- Disponibilidade: 71,09%;
- Custos com energia elétrica: R$ 50.376,63 – média: R$ 3.875,13/mês.

Figura 2 - Indicadores EEE Baronesa (julho/2023 à 12/07/2024)



Fonte: Arquivo pessoal

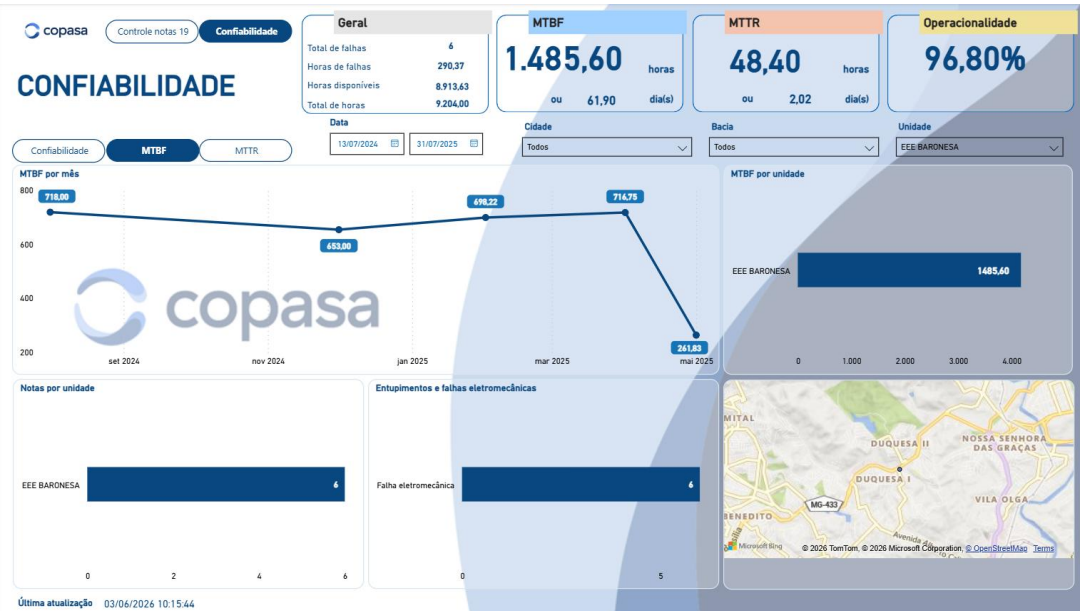
A figura 3 a seguir apresenta os mesmos indicadores listados acima, porém para o período de 13/07/2024 a julho/2025, após a instalação da bomba inteligente:

- Total de falhas: 6 falhas (6 falhas eletromecânicas e 0 entupimentos) – média: 0,48/mês;
- Total de horas no período: 9.204h;
- Horas falhas: 290,37h;
- Horas disponíveis: 8.913,63h;
- MTBF (*Mean time between failure*): 1.485,6h (61,9 dias);
- MTTR (*Mean time to repair*): 48,4h (2,02 dias);
- Disponibilidade: 96,8%;
- Energia elétrica: R$ 49.632,53 – média: R$ 3.817,89.

Abaixo, apresentam-se as substanciais diferenças relativas entre um período e outro. Comparando o antes e depois da implantação da solução:

- Redução de falhas: 30 falhas a menos, redução de 83,3%;
- Horas falhas: 2.290h de redução das horas paradas, ou seja, decréscimo de 88,8%;
- MTBF (*Mean time between failure*): crescimento de 843%;
- MTTR (*Mean time to repair*): redução de 32%;
- Disponibilidade: aumento de 25,7 ponto percentual;
- Energia elétrica: redução de 1,5%.

Figura 3 - Indicadores EEE Baronesa (13/07/2024 a julho/2025)



Fonte: Arquivo pessoal

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A implantação do sistema de bombeamento inteligente na Estação Elevatória de Esgoto Baronesa resultou em melhorias significativas no desempenho operacional, energético e na confiabilidade do sistema, quando comparado ao período de operação com o conjunto motobomba convencional.

Durante o período de operação antecedente à implantação do novo sistema, a EEE Baronesa apresentou recorrentes episódios de entupimento dos conjuntos motobomba, associados à elevada carga de sólidos e materiais fibrosos presentes no esgoto afluente. Tais ocorrências implicavam paradas não programadas, intervenções frequentes de manutenção corretiva e redução da disponibilidade operacional da unidade.

Após a implantação do sistema de bombeamento inteligente, observou-se redução expressiva na frequência de entupimentos, atribuída às funções automáticas de adaptação hidráulica e desobstrução do equipamento. Como resultado, a estação passou a operar de forma mais estável, com menor número de falhas operacionais e aumento da continuidade do bombeamento.

A análise do consumo de energia elétrica indicou ligeira melhoria na eficiência energética do sistema após a implementação do bombeamento inteligente. O controle automático da rotação do motor, ajustado às condições instantâneas de vazão e nível do poço de sucção, permitiu reduzir o consumo energético, especialmente em períodos de menor contribuição hidráulica. Ressalta-se que não foi objeto deste trabalho o consumo específico da unidade, ou seja, o consumo de kWh/m³ bombeado que aponta melhora considerável após a instalação da bomba inteligente uma vez que a EEE aumentou a disponibilidade de 71 para 97% do tempo e ainda assim apresentou um custo com energia ligeiramente inferior. Ou seja, o equipamento funcionou durante um período de tempo muito maior, reduzindo o extravasamento com consequente aumento do volume bombeado e ainda assim consumiu menos energia.

Essa condição representou melhor adequação do ponto de operação do conjunto motobomba à curva do sistema, minimizando perdas por operação fora do ponto de melhor rendimento e reduzindo a solicitação elétrica do equipamento.

Como consequência direta da diminuição de falhas por entupimento e da redução das paradas corretivas, foi verificado aumento da disponibilidade operacional da EEE Baronesa. O número de intervenções emergenciais diminuiu, assim como a necessidade de atuação manual das equipes de operação, refletindo ganhos em confiabilidade e segurança operacional.

Adicionalmente, durante o período avaliado após a implantação, não foram registrados episódios de extravasamento associados à falha do sistema de bombeamento por entupimento, evidenciando maior robustez da estação frente às variações de vazão e carga sólida.

No aspecto de manutenção, observou-se redução na demanda por serviços corretivos, bem como maior previsibilidade das ações operacionais. A automação intrínseca do sistema e os mecanismos de autoproteção contribuíram para mitigar sobrecargas mecânicas e elétricas, potencialmente ampliando a vida útil dos componentes do conjunto motobomba.

CONCLUSÕES

O presente trabalho avaliou a aplicação de um sistema de bombeamento inteligente na Estação Elevatória de Esgoto Baronesa, evidenciando os impactos da tecnologia sobre o desempenho operacional, a eficiência energética e a confiabilidade do sistema em condições reais de operação.

Os resultados demonstraram que a implantação do bombeamento inteligente contribuiu significativamente para a mitigação de problemas recorrentes observados na operação convencional, especialmente no que se refere à redução de entupimentos, eliminação de eventos de extravasamento e aumento da disponibilidade operacional da estação. Tais melhorias estão diretamente associadas à capacidade do sistema de ajustar dinamicamente sua rotação e torque às condições hidráulicas instantâneas, promovendo maior estabilidade operacional.

No aspecto energético, verificou-se melhor adequação do ponto de operação do conjunto motobomba à curva do sistema, refletindo em redução do consumo energético e maior eficiência global do processo de bombeamento. Esses ganhos reforçam o potencial da tecnologia como ferramenta estratégica para a otimização do uso de energia em sistemas de esgotamento sanitário.

Adicionalmente, a redução da necessidade de intervenções corretivas e emergenciais representa avanço relevante para a gestão operacional, com impactos positivos na alocação de recursos, na segurança do trabalho e na sustentabilidade da operação. Nesse contexto, o estudo evidencia que sistemas de bombeamento inteligente constituem alternativa tecnicamente viável e alinhada às demandas atuais do setor de saneamento, especialmente em unidades submetidas a variações hidráulicas e elevadas cargas sólidas. Salientando que o fato de bombas inteligentes possuírem regiões de operação e não curvas trazem um ganho substancial quanto a flexibilidade de utilização de um único modelo em unidades com diferentes pontos operacionais desde que estejam no interior da região de operação.

Tais práticas alinham-se aos Objetivos Sustentáveis da Organização das Nações Unidas (ONU), com destaque para: 6 - Água Potável e Saneamento; 3 - Saúde e Bem-Estar; 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura; 14 – Vida na Água.

Por fim, os resultados obtidos indicam que a adoção dessa tecnologia pode ser replicada em outras estações elevatórias com características semelhantes, contribuindo para a modernização dos sistemas de esgotamento sanitário e para o aumento da confiabilidade e da eficiência dos serviços prestados à população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12208: Projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 2016.
2. ÅSTRÖM, K. J.; HÄGGLUND, T. PID Controllers: Theory, Design, and Tuning. 2. ed. Research Triangle Park: ISA, 1995.
3. METCALF & EDDY. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. 5. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014.
4. TSUTIYA, M. T.; SOBRINHO, P. A. Coleta e transporte de esgoto sanitário. 3. ed. São Paulo: ABES, 2011.

5. XYLEM INC. Flygt Concertor™ – Intelligent Wastewater Pumping Systems. Technical Manual. Estocolmo, 2023.