

## **II-557 - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO ANTES E DEPOIS DA IMPLANTAÇÃO DE UM CONTROLE OPERACIONAL**

### **Ruam Magalhães da Silva<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Saneamento pela Universidade Federal do Ceará (DEHA/UFC). Engenheiro de Controle Operacional da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece).

### **Jane Mary Targino Moreira<sup>(2)</sup>**

Tecnóloga em Recursos Hídricos/Saneamento Ambiental (Centec). Pós-graduação em Auditoria e Perícia Ambiental (Fafire) e em Elaboração e Gerenciamento de Projetos para a Gestão Municipal de Recursos Hídricos (IFCE). Técnica Operacional da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece).

### **Ana Leila Andrade de Oliveira<sup>(3)</sup>**

Tecnóloga em Recursos Hídricos/Saneamento Ambiental (Centec). Pós-graduação em Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável (Faculdade Stella Maris). Técnica em Saneamento (Cagece).

### **Rafael Melo da Silva<sup>(4)</sup>**

Biólogo pela Universidade Estadual do Ceará (UECE). Assistente de Engenharia da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece).

### **Adayla Suellen Gonçalves Rocha<sup>(5)</sup>**

Técnica em Meio Ambiente pelo Centro de Estudo e Pesquisa em Eletrônica Profissional e Informática Ltda. Engenheira Ambiental e Sanitarista pelo Centro Universitário UniFanor Wyden. Técnica Administrativo Operacional da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Lauro Vieira Chaves, 1030 – Vila União - Fortaleza - CE - CEP: 60422-901 - Brasil - Tel: (85) 3101-5615 - e-mail: [ruam.silva@cagece.com.br](mailto:ruam.silva@cagece.com.br)

## **RESUMO**

Os objetivos principais de qualquer sistema de esgotamento sanitário, que são a proteção à saúde da população e a preservação do meio ambiente, só serão atingidos se uma lógica de ações for observada: o projeto for bem concebido, bem detalhado, bem implantado e, também, o sistema corretamente operado. É em relação a essa última ação que o controle operacional da estação de tratamento ganha importância fundamental, pois não se obtém bom desempenho operacional sem um monitoramento e controle dos procedimentos realizados em campo. Nesse sentido, o Ceará iniciou em 2017 a implantação do Controle Operacional de Esgoto (COE), um modelo de gestão da operação dos sistemas de esgotamento sanitário em que é possível gerar informações úteis ao tomador de decisão utilizando dados resultantes das atividades desenvolvidas a partir de procedimentos operacionais padronizados. Assim, mensalmente a operação das elevatórias e estações de tratamento é avaliada em um sistema informatizado do tipo *Enterprise Resource Planning* (ERP), visando conferir, retificar e validar os dados operacionais dos respectivos sistemas de esgotamento cadastrados. Com o objetivo de apresentar o impacto de um plano de controle operacional, este estudo avaliou o desempenho de uma estação de tratamento de esgoto do Ceará antes e depois da implantação do COE, ocorrida em 3 etapas: Diagnóstico, Treinamento e Ajustes. Cada uma envolveu visitas técnicas com a presença do supervisor de esgoto e o operador. Ao final das etapas, observou-se que: o treinamento deu maior conhecimento e independência ao operador, tornando-o protagonista no tratamento; a substituição das bombas e a definição de rotinas de limpezas e descartes possibilitaram a formação da manta de lodo do reator UASB e uma maior remoção de DQO e SST; a dosagem correta do hipoclorito de cálcio viabilizou a remoção constante de coliformes e o uso mais racional do produto químico; e a utilização correta dos leitos de secagem permitiu que as descargas de lodo fossem efetuadas sem interrupções. Portanto, a implantação do controle operacional de esgoto resultou em maior frequência de atendimento aos limites de DQO, SST, *E. coli* e cloro residual no efluente final. O acompanhamento mensal das informações operacionais ainda proporcionou um maior controle sobre os serviços realizados na estação, maior precisão sobre as quantidades de resíduos gerados e permitiu ainda que falhas iniciais fossem logo corrigidas em novas visitas de ajustes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Controle Operacional, Tratamento de Esgoto, Desempenho.

## INTRODUÇÃO

Os objetivos principais de qualquer sistema de esgotamento sanitário são a proteção à saúde da população e a preservação do meio ambiente, mas só serão atingidos se uma lógica de ações for observada: o projeto for bem concebido, bem detalhado, bem implantado e, também, o sistema corretamente operado (VON SPERLING; CHERNICHARO, 2018).

É em relação a essa última ação que o controle operacional das estações ganha importância fundamental, pois não se obtém bom desempenho operacional sem um monitoramento e controle dos procedimentos realizados em campo (CAGECE; FUNPEC, 2005). Paiva *et al.* (2022) afirmam que a devida organização e planejamento das atividades operacionais facilita a melhoria na eficiência das estações de tratamento e elevatórias. Para tanto, é necessário planejar, executar, mensurar, monitorar e armazenar as informações das atividades operacionais tendo como objetivo, principalmente, o atendimento às legislações e normativas vigentes.

Nesse sentido, a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) iniciou em 2017 a implantação do Controle Operacional de Esgoto (COE), um modelo de gestão da operação dos sistemas de esgotamento sanitário baseado em instrumentos de registro de dados e informações, controle de tarefas, instruções de procedimento e transmissão de informações, concebido e elaborado em função dos tipos básicos de ETEs utilizadas no estado. O modelo é capaz de gerar informações úteis ao tomador de decisão utilizando dados resultantes das atividades desenvolvidas em campo conforme os procedimentos operacionais padronizados (CAGECE; FUNPEC, 2005; CAGECE, 2022).

No Módulo COE, um sistema informatizado do tipo *Enterprise Resource Planning* (ERP), as características dos sistemas de esgotamento sanitário são devidamente cadastradas, os dados operacionais de campo são registrados todo mês e os indicadores e relatórios podem ser gerados pelo usuário. Assim, mensalmente a operação das elevatórias e estações de tratamento é avaliada visando conferir, retificar e validar os dados operacionais dos respectivos sistemas de esgotamento cadastrados (CAGECE, 2022).

Desta forma, o controle operacional torna-se uma importante ferramenta de melhoria da eficiência do tratamento de esgoto, uma vez que trata desde os procedimentos que devem ser executados pelo operador em campo até a análise crítica dos registros desses procedimentos e das condições das estações, tornando-se peça fundamental nos processos de melhoria, planejamento, aquisição e gestão estratégica da empresa (FILHO *et al.*, 2021).

## OBJETIVOS

Este trabalho visa avaliar o desempenho de uma estação de tratamento de esgoto operada pela Cagece antes e depois da implantação de um controle operacional no período entre 2019 e 2021.

## METODOLOGIA UTILIZADA

A estação objeto deste trabalho está situada dentro de um espaço administrativo do governo estadual no município de Fortaleza, é composta por grade, desarenador, calha Parshall, bombeamento, reator UASB, filtro submerso aerado, decantador lamelar, tanque de contato e leitos de secagem. Foi concebida para atender 450 pessoas, uma vazão máxima de 32,4 m<sup>3</sup>/dia e tratar esgoto doméstico com 400 mg/L de DBO, 850 mg/L de DQO e 5·10<sup>7</sup> NMP/100 mL de *E. coli*.

A abordagem metodológica foi quantitativa, pois baseou-se em números, métricas e cálculos matemáticos que comprovassem o objetivo geral do trabalho. Para tanto, foram calculadas as principais medidas de tendência central dos parâmetros físico-químicos do efluente final da ETE (DQO, SST, *E. coli* e cloro residual). Além de ter fornecido um panorama dos valores médios e do grau de variabilidade dos dados, a estatística descritiva também serviu para auxiliar na comparação com valores comumente reportados pela literatura para os mesmos parâmetros.

O período de abrangência do estudo foi de fevereiro de 2019 a fevereiro de 2021, 12 meses antes e 12 meses depois da data da implantação do controle operacional, fevereiro de 2020. A opção por um período de análise mais longo visou evitar que o impacto de eventos pontuais (quebra de equipamento, hiatos de produtos,

ausência do operador, quadra chuvosa, etc) pudesse mascarar o desempenho médio da estação antes e depois do trabalho desenvolvido na ETE.

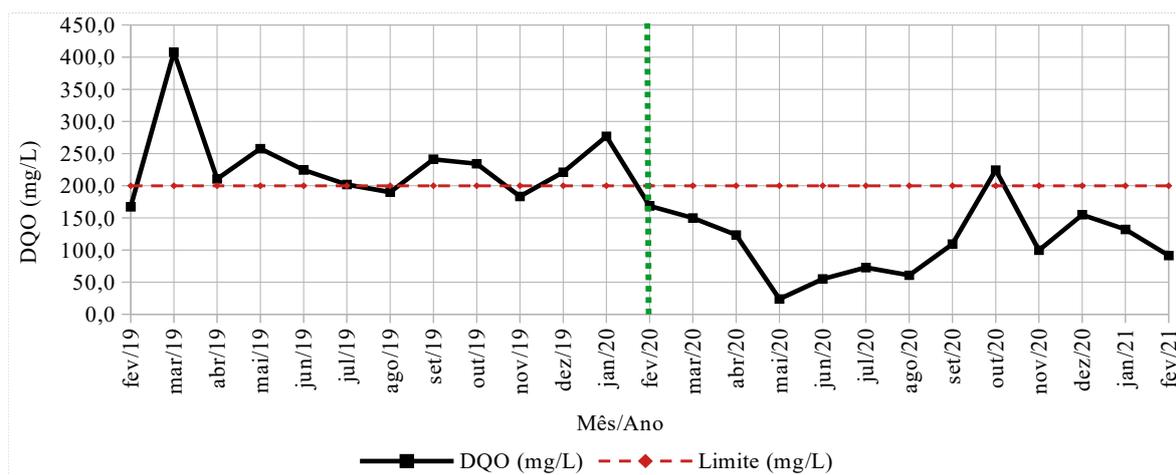
Quanto à metodologia de implantação do COE, ocorreu em três etapas: Diagnóstico, Treinamento e Ajustes. Cada uma envolveu visitas técnicas com a presença do supervisor de esgoto e do operador. Na etapa de Diagnóstico, o foco foi identificar as principais deficiências que contribuíam para o não atendimento aos padrões de lançamento da legislação ambiental. Antes da visita, foram analisados os projetos e relatórios já produzidos sobre a estação, os resultados dos últimos 12 meses da qualidade do efluente final e os principais problemas operacionais apontados pela supervisão. Durante a visita técnica, foi aplicado um checklist com o operador, foram realizados ensaios de campo (sólidos sedimentáveis, cloro residual, etc) e o registro fotográfico dos componentes da unidade, bem como dos problemas observados. Por fim, de posse dessas e outras informações relevantes (vazão medida, ensaios físico-químicos das unidades do tratamento, etc) foi realizado um relatório com diagnóstico da estação, definição de rotinas iniciais, dosagens de produtos e um plano de trabalho pra implementar essas soluções.

Após a resolução das principais pendências apontadas no relatório de diagnóstico, procedeu-se à segunda etapa do processo, o Treinamento. Portanto, uma nova visita foi realizada à estação com foco em explicar ao operador a importância do seu trabalho, o funcionamento das unidades de tratamento e como executar corretamente os procedimentos operacionais padrão. A visita também serviu para apresentar as fichas de preenchimento onde seriam registradas as informações coletadas em campo e apresentar os equipamentos necessários à realização segura dos procedimentos.

Após implantação dos procedimentos operacionais e preenchimentos das fichas de registro, as informações colhidas em campo foram cadastradas em um sistema ERP para que os dados fossem criticados e fossem gerados indicadores e gráficos de desempenho da estação. A partir dessas informações, foram realizadas novas visitas com o intuito de fazer pequenos ajustes operacionais (descargas, dosagem, etc) e atender a legislação. Essa foi a fase de Ajustes, última etapa da implantação do COE.

## RESULTADOS OBTIDOS

A seguir é apresentada a Figura 01 com os resultados mensais de DQO (mg/L) do efluente final da ETE antes e depois da implantação do COE em fevereiro de 2020 (tracejado vertical):

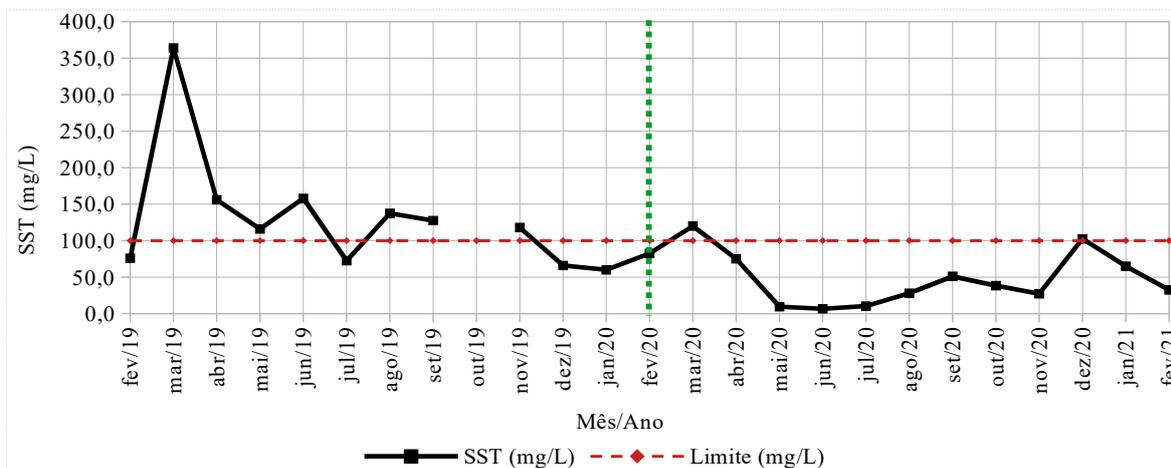


**Figura 01: DQO (mg/L) efluente final**

Nos 12 meses anteriores à implantação, em 9 ocasiões a DQO ficou acima do limite máximo de 200 mg/L preconizado pela Cagece. A média nesse período foi 234,7 mg/L, o maior valor foi 407,7 mg/L e o menor 167,2 mg/L. A partir de fev/20, apenas em outubro a determinação da empresa não foi atendida. A média no período caiu para 112,8 mg/L, o maior valor foi 224,4 mg/L e o menor 23,8 mg/L. Carvalho (2020) encontrou média de 222,0 mg/L para DQO analisando o efluente tratado de 15 ETEs da mesma tecnologia no Ceará

entre 2018 e 2019. Von Sperling (2014) reporta valores médios entre 60 e 150 mg/L para o mesmo parâmetro em tecnologias similares.

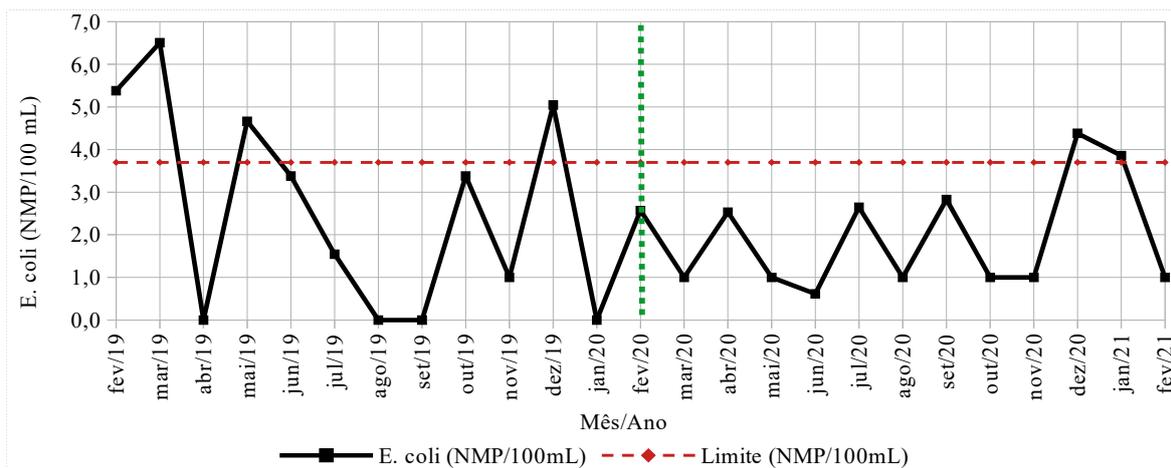
A Figura 02 apresenta os resultados mensais de SST (mg/L) antes e depois da implantação do COE:



**Figura 02: SST (mg/L) do efluente final**

Nos 12 meses anteriores à implantação, em 7 ocasiões o SST ficou acima do limite máximo de 100 mg/L preconizado pela Resolução Coema nº 02/2017. A média nesse período foi 132,0 mg/L, o maior valor da série foi 364,0 mg/L e o menor 60,0 mg/L. Em out/19 o ensaio não foi realizado para a estação. A partir de fev/20, apenas em março e dezembro a legislação ambiental não foi atendida. A média no período caiu para 49,9 mg/L, o maior valor foi 120,0 mg/L e o menor 6,7 mg/L. Carvalho (2020) encontrou média de 69,0 mg/L para SST analisando o efluente tratado de 15 ETEs da mesma tecnologia no Ceará entre 2018 e 2019. Von Sperling (2014) reporta valores médios entre 20 e 40 mg/L para o mesmo parâmetro em tecnologias similares.

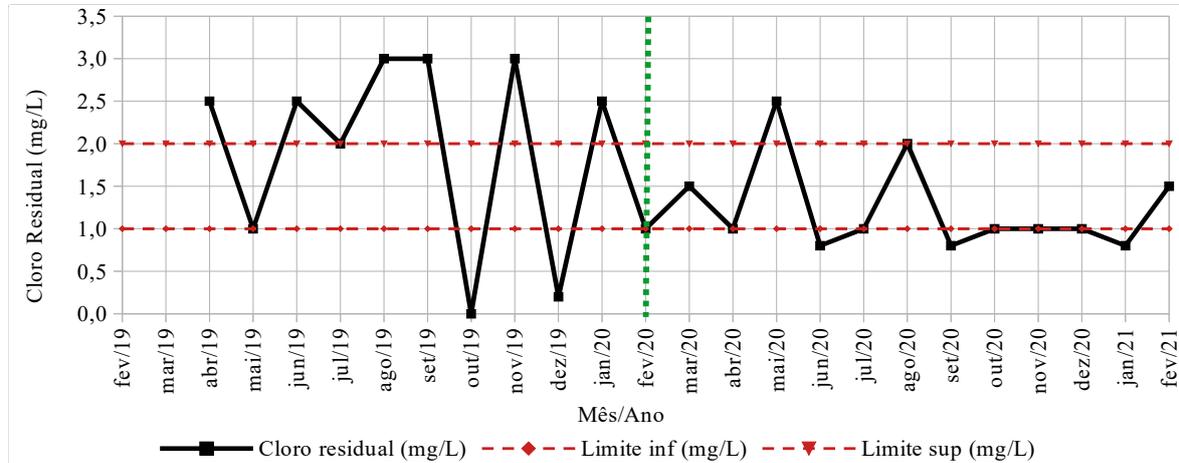
A seguir é apresentada a Figura 03 com os resultados de *E. coli* mensal em NMP/100 mL antes e depois da implantação do COE. A fim de facilitar a visualização dos resultados, o gráfico foi apresentado em escala logarítmica:



**Figura 03: E. coli (NMP/100 mL) do efluente final**

Nos 12 meses anteriores à implantação do controle operacional, em 4 deles o parâmetro *E. coli* ficou acima de 3,7, valor logarítmico que representa o limite máximo de  $5 \cdot 10^3$  NMP/100 mL preconizado pela Coema nº 02/2017. A média nesse período foi 2,6, o maior valor da série foi 6,5 e o menor 0,0. A partir de fev/2020, apenas em dezembro e janeiro a legislação ambiental não foi atendida. A média no período caiu para 2,0, o maior valor foi 4,4 e o menor 0,6.

A seguir é apresentada a Figura 04 com os resultados mensais de cloro residual (mg/L) do efluente final antes e depois da implantação do COE:



**Figura 04: Cloro residual (mg/L) no efluente final**

Nos 12 meses anteriores à implantação, em 8 deles o cloro residual ficou fora da faixa de 1,0 a 2,0 mg/L recomendada pela companhia de saneamento do Ceará. O maior valor foi 3,0 mg/L e o menor 0,0 mg/L. A partir de fev/2020, apenas em 4 oportunidades a recomendação da companhia não foi atendida. Os valores passaram a oscilar mais próximos dos limites mínimo e máximo, sem grandes amplitudes. O maior valor foi 2,5 mg/L e o menor 0,8 mg/L.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Durante o diagnóstico, constatou-se que alguns serviços eram realizados rotineiramente, como limpeza da grade, do desarenador e dosagem de hipoclorito de cálcio. Entretanto, o operador não registrava volume dos resíduos gerados e nem realizava monitoramento do cloro residual livre. Apesar da boa infraestrutura, nem todas as ferramentas estavam disponíveis para a execução dos novos procedimentos.

Notou-se que não havia contribuição de esgoto fora do horário comercial. Além disso, a vazão de bombeamento estava 70% superior à de projeto, excedendo os parâmetros hidráulicos e dificultando a formação da manta de lodo no reator UASB. Os registros de descarga não funcionavam adequadamente e impediam a realização dos descartes de lodo. A limpeza da rosa de distribuição e a remoção manual de espuma também não eram realizadas. Nenhum volume de lodo estava sendo registrado, bem como nenhum ensaio de sólidos sedimentáveis. No filtro submerso aerado, os sopradores funcionavam apenas 10 horas/dia e produziam muita espuma. No decantador, as descargas de fundo não eram dadas com frequência. Quanto ao tanque de contato, o operador estava usando o dobro de cloro recomendável. Já nos leitos de secagem, não havia critério na utilização das unidades.

Após a resolução das principais pendências estruturais apontadas no diagnóstico e o treinamento do operador quanto a procedimentos, rotinas e registro dos dados, as informações operacionais começaram a ser alimentadas e criticadas no sistema ERP em fevereiro de 2020. A partir dessas informações, foi possível observar que: o treinamento deu maior conhecimento e independência ao operador, tornando-o protagonista no tratamento; a substituição das bombas e a definição de rotinas de limpezas e descartes possibilitaram a formação da manta de lodo do reator UASB e uma maior remoção de DQO e SST; a dosagem correta do hipoclorito de cálcio viabilizou a remoção constante de coliformes e o uso mais racional do produto químico; e a utilização correta dos leitos de secagem permitiu que as descargas de lodo fossem efetuadas sem interrupções.

Foi avaliada a possibilidade de os bons resultados serem advindos também do período de isolamento imposto pela pandemia a partir de 19 de março de 2020 e não somente das vantagens do COE. A hipótese foi baseada no fato da estação ser alimentada exclusivamente pelo esgoto de prédios administrativos que diminuíram

significativamente a presença de funcionários nesse período, reduzindo assim a vazão média e possivelmente a concentração de alguns poluentes. Entretanto, com a retomada dos trabalhos presenciais em Fortaleza a partir da metade do segundo semestre de 2020, não houve piora na qualidade do efluente final em nenhum parâmetro e os bons resultados se mantiveram durante e depois até do isolamento de 2021.

Portanto, a implantação do controle operacional de esgoto resultou em maior frequência de atendimento aos limites de DQO, SST, *E. coli* e cloro residual no efluente final. Os dados mensais oriundos dos preenchimentos das fichas, a informatização dos dados e a criação do histórico operacional da estação ainda permitiram maior agilidade na troca de informações e na tomada de decisões dentro da empresa.

## CONCLUSÕES

Nos 12 meses anteriores à implantação do Controle Operacional de Esgoto na estação, algumas unidades do tratamento não funcionavam adequadamente, não havia rotinas bem estabelecidas de descarga e limpeza, não havia uso eficiente de produtos químicos e o operador não registrava nenhuma das atividades realizadas em campo. Isso se refletia numa concentração elevada de parâmetros como DQO, SST, *E. coli* e Cloro Residual no efluente final, constantemente fora dos limites preconizados pela legislação.

Durante e após a implantação do COE, problemas pontuais de infraestrutura foram sanados, o operador da estação passou a executar suas atividades conforme os procedimentos operacionais padrão, rotinas de descarga e limpeza nos reatores foram implementadas, dosagens corretas de hipoclorito de cálcio foram calculadas e o acompanhamento mensal das informações ainda proporcionou um maior controle sobre os serviços realizados na estação, maior precisão das quantidades de resíduos gerados e permitiu que falhas fossem logo corrigidas nas visitas de ajustes.

Essas melhorias impactaram positivamente no desempenho da estação, aumentando a frequência de atendimento à legislação e reduzindo as concentrações de DQO, SST, *E. coli* e Cloro Residual no efluente final.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Carvalho, A. C. **Análise da eficiência de estações de tratamento de esgoto com tipologia UASB seguida de pós-tratamento operadas pela Cagece**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação Engenharia Civil) - CUUC - Centro Universitário Estácio do Ceará. Orientador: Ana Laryssa Rocha Sabóia;
2. Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE; Fundação Norte Rio-Grandense de Pesquisa e Cultura – FUNPEC. **Plano de Controle Operacional das Estações de Tratamento de Esgoto da Cagece**. Fortaleza, 2005;
3. Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE. Procedimento Operacional Padrão 048: **Análise Crítica das Informações Operacionais de Esgoto**. Versão 5, Fortaleza, Ce. 2022;
4. FILHO, R. L. O. *et al.* Módulo Controle Operacional de Esgoto: vantagens da utilização de um SIG no controle operacional e desempenho nos sistemas de esgotamento sanitário no estado do Ceará. *In*: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 31., 2021, Curitiba. **Anais** [...]. Curitiba, 2021;
5. PAIVA, M. V. C. *et al.* Utilização de sistema de gestão de serviços de saneamento para melhoria da eficiência do tratamento de esgoto. *In*: PANIAGUA, C. E. S (org.). **Engenharia sanitária e ambiental: Recursos hídricos e tratamento de água 2**. Ponta Grossa, PR: Atena, 2022. cap. 5;
6. VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1);
7. VON SPERLING, M; CHERNICHARO, C. A. L. **O manejo de estações de tratamento de forma tecnicamente segura e com minimização de custos**. Portal Tratamento de Água. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/estacoes-tratamento-custos/>. Acesso em: 15 dez. 2022, 13:40.