OTIMIZAÇÃO DA FILTRAÇÃO NA ETA ARAPIRACA: IMPLEMENTAÇÃO LEAN SIX SIGMA

Luiz Ricardo Alves dos Santos (1)
Graduando em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário Internacional (UNINTER). Formado no curso tecnólogo em Gestão de Produção pela UNINTER e curso técnico em Edificações pela Escola Politécnica. Dispõe, também, formação no curso técnico em Paisagismo pela Universidade de Araras.
Jozelita Maria dos Santos Neta (2)
Graduanda em Engenharia Civil pelo Instituto Federal de Alagoas (IFAL). Formada no curso técnico em Edificações pelo IFAL.
Victória Regina Martins Silva (3)
Engenheira Civil formada pelo IFAL.
Eduardo Henrique Albuquerque Batalha (4)
Engenheiro Civil pelo Centro de Ensinos Superior de Maceió (CESMAC) e engenheiro de segurança do Trabalho pela Faculdade Figueiredo Costa (FIC - UNIFAL)
Mayara Carla Alves Leandro (5)
Tecnóloga em Hotelaria formada pelo (IFAL)

Endereço (1): Rua Severino de Vasconcelos Oliveira, Número 122 – Bairro Jardim Esperança – Arapiraca-AL – CEP: 57307-768 – Brasil – Tel: + 55 (82) 99829-0827 – e-mail: luiz.alves@igua.com.br.

RESUMO

A filtração é um processo físico-químico utilizado para remover partículas coloidais presentes na fase líquida, passando-as por um meio granular. É fundamental que essa camada apresente altura e granulometria adequadas para garantir a eficácia na remoção das partículas sólidas. Contudo, constatou-se na Estação de Tratamento de Água (ETA) em Arapiraca que o nível do leito filtrante foi reduzido, o qual havia sido substituído há 10 anos. Como consequência, a eficiência do sistema de filtragem foi comprometida, mostrando-se minorada. Nessa perspectiva, o objetivo deste trabalho é aplicar o método Lean Six Sigma na reforma dos filtros da ETA Arapiraca. Ademais, busca-se descrever o processo sistêmico operacional que foi aplicado nessa intervenção e avaliar os impactos sob a perspectiva da gestão de qualidade. Para isso, realizou-se o planejamento das atividades, baseando-se nos princípios do Lean Six Sigma com ênfase no ciclo DMAIC. Em seguida, foram executadas as etapas relacionadas à revitalização do sistema de filtração. Por fim, ressalta-se que o método em estudo nesta pesquisa mostrou-se uma alternativa viável para o aprimoramento da eficiência e qualidade dos processos. Observou-se também que a recuperação do sistema de filtração dessa ETA apresentou resultados favoráveis, com aumento da performance dos filtros e redução da turbidez.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência, Filtração, Lean Six Sigma.

1. INTRODUÇÃO

Conforme Libânio (2010), a filtração é um processo físico-químico empregado para remoção das partículas coloidais que conferem cor e turbidez à fase líquida da água. É importante ressaltar que a presença desses sólidos pode comprometer a eficácia da desinfecção, prejudicando a capacidade de inativação dos microrganismos patogênicos. Nessa perspectiva, torna-se evidente que a etapa de filtração exerce uma influência substancial na qualidade da água, uma vez que é durante esse processo que eventuais falhas ocorridas na coagulação, floculação e decantação podem ser corrigidas.

Desse modo, os filtros utilizados no tratamento convencional de águas para abastecimento são projetados para permitir que a água passe por um meio granular com altura e granulometria específicas (FERREIRA FILHO, 2017). Essa camada filtrante deve ser dimensionada e mantida adequadamente para garantir a remoção eficaz das partículas sólidas, garantindo a eficiência do sistema de filtração (NBR 12216, 1992). Entretanto, é comum que ao longo dos anos de operação, o nível da camada filtrante diminua devido ao processo de retrolavagem, realizado periodicamente para remover partículas retidas e manter a capacidade de filtração.

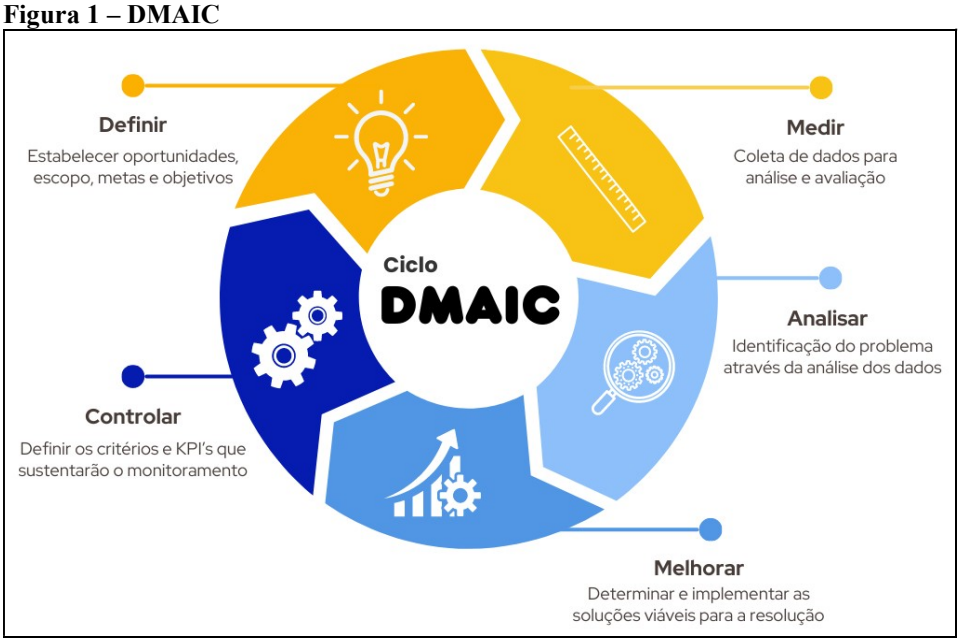
Essa problemática foi evidenciada na Estação de Tratamento de Água (ETA) localizada em Arapiraca-AL, cujo material do leito filtrante havia sido substituído há dez anos. Assim, observou-se que o nível das camadas dos filtros havia sido reduzido, pois ocorriam perdas de material durante o processo de retrolavagem. Como consequência, a eficiência do sistema de filtragem foi comprometida, mostrando-se minorada. Logo, para adequação do sistema de filtração, instituiu-se a reforma dos filtros da ETA Arapiraca, embasando-se na metodologia Lean Six Sigma, cujas aplicações serão avaliadas neste trabalho.

1.1. METODOLOGIA LEAN SIX SIGMA

A metodologia Lean Six Sigma é direcionada à melhoria contínua do desempenho e da qualidade das atividades, resultando em uma lucratividade aprimorada e na redução significativa de erros, o que contribui para minimizar as perdas durante os processos (ISO 13053-1, 2011). É importante ressaltar que os métodos Six Sigma estão alinhados com os princípios de qualidade delineados nas normas do sistema de gestão da qualidade ISO 9000 e ISO 9001.

No contexto apresentado, o método Lean Six Sigma combina os princípios do Lean Manufacturing, que buscam eliminar desperdícios e otimizar o fluxo de trabalho, com os métodos estatísticos do Six Sigma, que têm como objetivo reduzir a variação e melhorar a qualidade dos processos. Além disso, utiliza-se o ciclo DMAIC – Definir, Medir, Analisar, Melhorar e controlar. Essa abordagem cíclica permite a identificação de problemas, a coleta de dados relevantes, a análise de causas, a implementação de soluções e o controle dos resultados ao longo do tempo (Figura 1).

Figura 1 – DMAIC



Fonte: Autores, 2024.

Nessa perspectiva, optou-se por empregar os métodos respaldados na referida abordagem sistemática com o objetivo de assegurar a otimização dos processos de maneira eficaz e sustentável. Mais precisamente, a metodologia Lean Six Sigma foi aplicada na reforma dos filtros da Estação de Tratamento de Água situada no município de Arapiraca, no estado de Alagoas.

1.2. CARACTERIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE ARAPIRACA

A Estação de Tratamento de Água (ETA) localizada no município de Arapiraca integra o Sistema Adutor do Agreste (SAA), cuja captação se encontra às margens do Rio São Francisco. Essa ETA é responsável pelo tratamento da água, operando em ciclo completo (tratamento convencional), no qual são realizadas as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração e cloração final (Figura 2).

Figura 2 – Estação de Tratamento de Água (ETA) Arapiraca

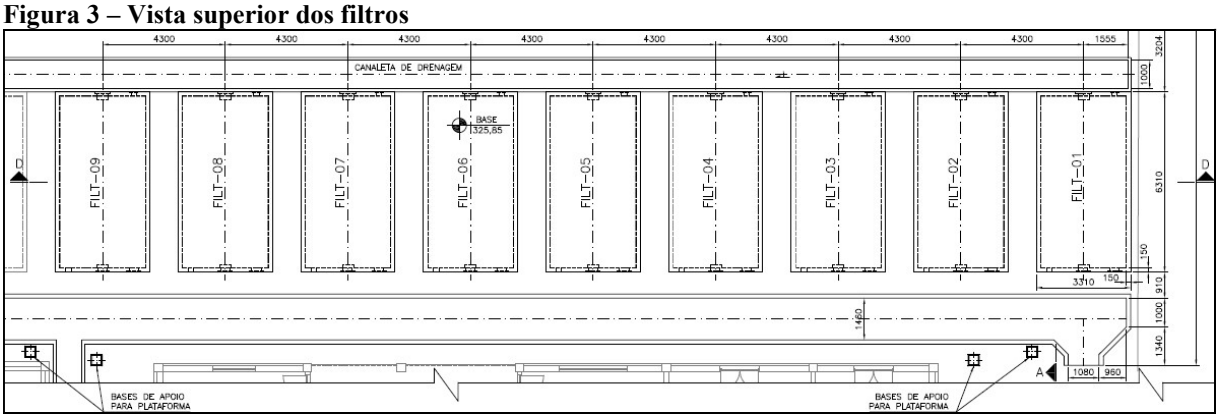


Fonte: Agreste Saneamento, 2023.

1.3. CARACTERIZAÇÃO DOS FILTROS

O processo de filtração da água é realizado por 9 filtros, os quais estão contidos em tanques de 3,05m x 6,05m, totalizando uma área de 18,45m² para cada filtro. Além disso, eles são estruturados em módulos metálicos com altura de 4,18m. Ressalta-se, também, que o leito filtrante existente é composto por areia e antracito, operando em fluxo rápido descendente. O layout dos filtros pode ser visualizado na figura 3.

Figura 3 – Vista superior dos filtros



Fonte: Agreste Saneamento, 2023.

1.4. ANÁLISE DA SITUAÇÃO PROBLEMA

A filtração ocorre por meio da percolação da água através de um material filtrante, responsável pela retenção das partículas sólidas. Comumente, após anos de operação, o nível da camada de filtração é reduzido, devido ao processo de retrolavagem que é realizado periodicamente. Dessa maneira, o índice de eficiência da filtração é minimizado, comprometendo o tratamento da água. Essa problemática foi evidenciada na ETA Arapiraca, cujo material do leito filtrante havia sido substituído há dez anos (Figura 4).

Figura 4 – Filtros da ETA Arapiraca



Fonte: Autores, 2023.

Assim, observou-se que o nível das camadas dos filtros havia sido reduzido, pois ocorriam perdas de material durante o processo de retrolavagem. Como consequência, a eficiência do sistema de filtragem foi comprometida, mostrando-se reduzida. Portanto, para adequação do sistema de filtração, instituiu-se a reforma dos filtros da ETA Arapiraca, aplicando os métodos Lean Six Sigma, cuja influência será evidenciada neste trabalho.

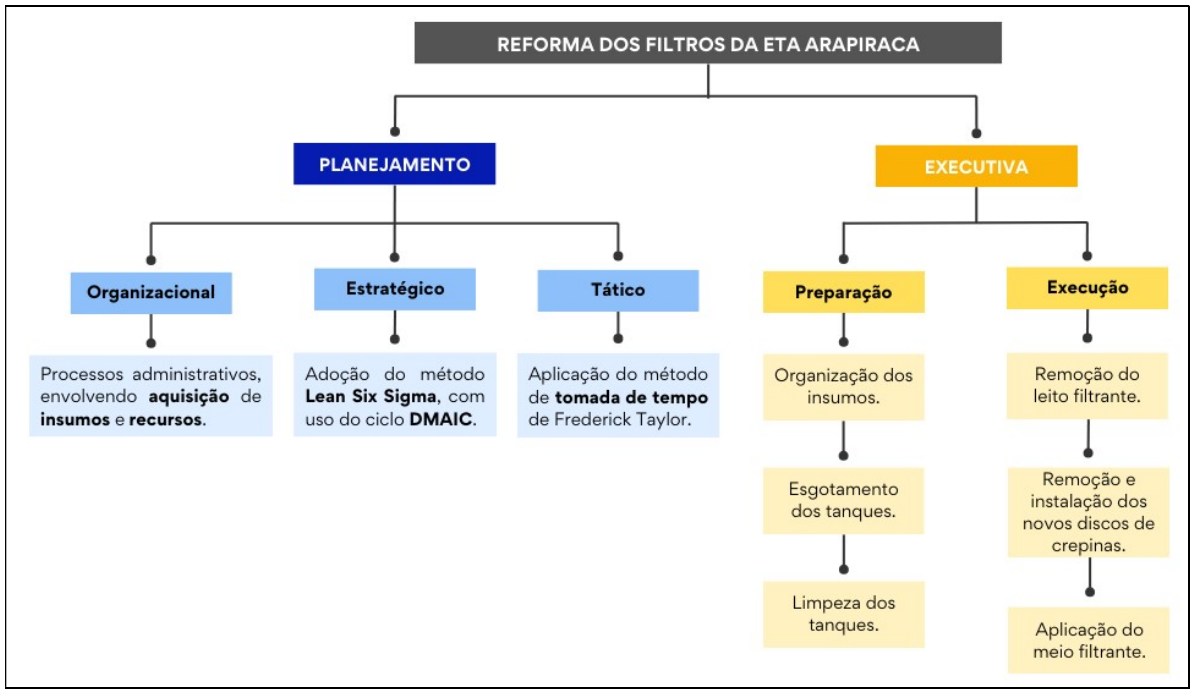
2. OBJETIVOS

Este projeto visa aplicar os princípios da metodologia Lean Six Sigma na revitalização do sistema de filtração da ETA localizada no município de Arapiraca, com o objetivo de garantir a melhoria contínua e a qualidade dos processos. Além disso, busca-se destacar o sistema construtivo utilizado na intervenção mencionada e avaliar os impactos dessa revitalização sob a perspectiva da gestão de qualidade, visando à redução de custos, à eficiência operacional e ao aumento dos índices de desempenho dos tanques de filtros.

3. METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia adotada baseia-se na aplicação do método Lean Six Sigma, com ênfase tecnológica e uma abordagem que engloba tanto aspectos quantitativos quanto qualitativos. A Figura 5 ilustra o fluxo de atividades implementado neste trabalho.

Figura 5 – Fluxograma de processos



Fonte: Autores, 2024.

Conforme demonstrado no fluxograma acima, o planejamento das atividades de reforma dos filtros é dividido em etapas organizacionais, estratégicas e táticas. A fase organizacional se integra ao nível estratégico, baseando-se nos princípios do Lean Six Sigma e aplicando o ciclo DMAIC. Por outro lado, o planejamento tático é fundamentado nas premissas do método de tomada de tempo de Frederick Taylor. No mais, na fase executiva, compreende-se duas etapas que se relacionam: a fase de preparação e a subsequente execução.

3.1. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA LEAN SIX SIGMA

Inicialmente, foi realizada uma consultoria técnica para avaliação dos filtros. Após essa avaliação, foram analisados os cenários existentes, identificando oportunidades e estabelecendo o escopo técnico para a realização do serviço. Essa etapa compõe a primeira fase do ciclo DMAIC. Em sequência, procedeu-se ao mapeamento das atividades de reforma dos filtros, as quais serão detalhadas no tópico 3.2. Assim, foram elaboradas planilhas para acompanhamento das etapas do serviço, bem como métricas para análise e avaliação dos dados. Já o gerenciamento consistiu em uma gestão detalhada do tempo e das atividades, que foram subdivididas e controladas através da medição precisa do tempo empregado, seguindo o método de tomada de tempo de Taylor. A Figura 6 evidencia o processo de divisão das atividades conforme o mencionado método, destrinchado na Tabela 1.

Figura 6 – Fluxo de divisão de tarefa



Fonte: Autores, 2024.

Tabela 1 – Método tomada de tempo

TAREFA	INÍCIO	TÉRMINO	TEMPO TOTAL
Esgotamento do tanque	07:30	08:00	30 minutos
Retirada do leito filtrante	08:00	10:00	2 horas
Limpeza do tanque	10:00	10:30	30 minutos
Teste de funcionamento das crepinas	10:30	10:40	10 minutos
Retirada dos discos	10:40	11:30	50 minutos
Aplicação dos novos discos de crepinas	11:30	13:00	1 hora e 30 minutos
Teste de funcionamento das crepinas	14:00	14:10	10 minutos
Aplicação da 1° camada do meio filtrante	14:10	14:30	20 minutos
Aplicação da 2° camada do meio filtrante	14:30	14:50	20 minutos
Aplicação da 3° camada do meio filtrante	14:50	15:10	20 minutos
Aplicação da 4° camada do meio filtrante	15:10	15:40	30 minutos
Aplicação da 5° camada do meio filtrante	15:40	16:10	30 minutos
Aplicação da 6° camada do meio filtrante	16:10	16:50	40 minutos
Aplicação da 7° camada do meio filtrante	16:50	17:30	40 minutos

Fonte: Autores, 2024.

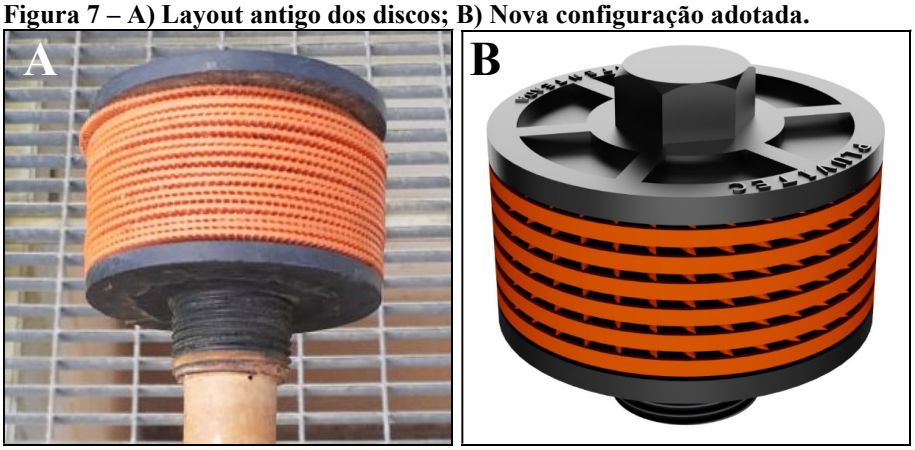
Além disso, é válido mencionar que durante a execução dos serviços, notou-se que os colaboradores enfrentavam desafios ao lidar com o material do leito filtrante. Após essa análise, constatou-se que o emprego de maquinário para remoção e aplicação do meio filtrante aumentava a produtividade dos funcionários, fomentando uma notável redução no tempo de execução. Ademais, é importante ressaltar que foram definidos

critérios para monitorar e manter as melhorias implementadas, garantindo, assim, a eficiência e qualidade contínuas dos processos. Essas etapas integram os demais itens do ciclo DMAIC.

3.2. SISTEMA CONSTRUTIVO

O método construtivo inicia-se com o esgotamento da água do tanque de filtração. Após esse processo, removeu-se o material da camada filtrante e os discos de crepinas, os quais foram substituídos por novos. Acerca desse procedimento, é válido destacar que foi adotado uma nova configuração para os discos de crepinas, a qual passou a utilizar 6 discos em cada crepina (Figura 7 A e B).

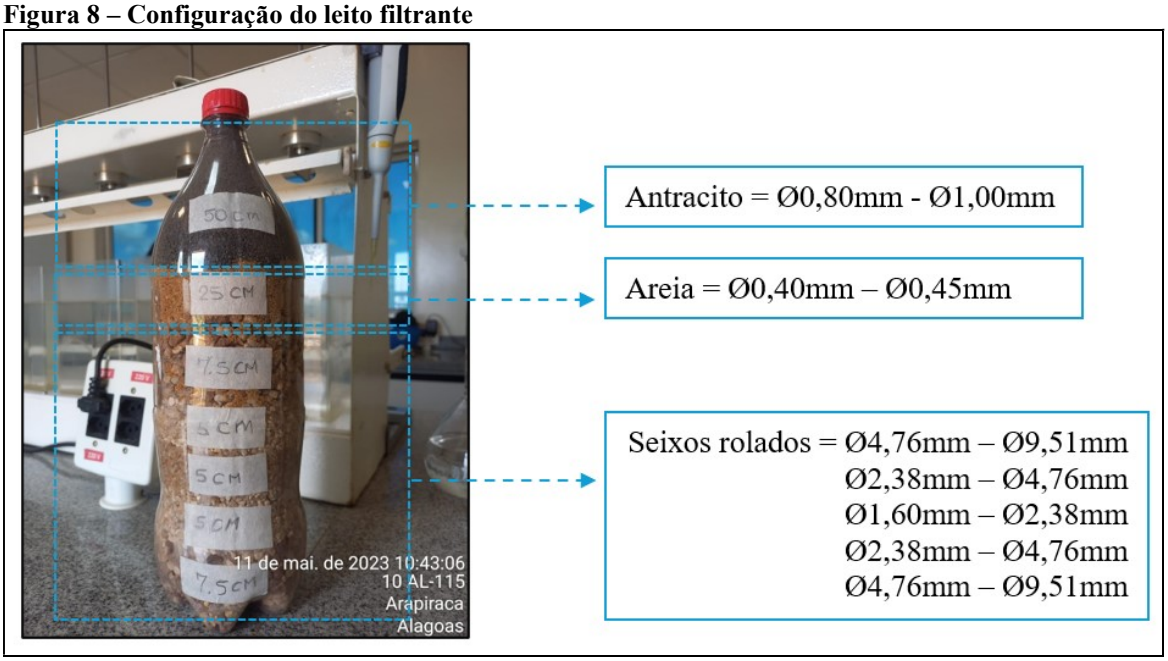
Figura 7 – A) Layout antigo dos discos; B) Nova configuração adotada.



Fonte: Autores, 2024.

Posteriormente, realizou-se uma limpeza nos tanques e executaram-se retrolavagens, com o objetivo de testar o sistema de discos de crepinas. Após esses procedimentos, a camada suporte e o leito filtrante foram acomodados, caracterizando um filtro rápido de dupla camada (Figura 8). A Tabela 2 apresenta o arranjo do meio-granular para percolação da água.

Figura 8 – Configuração do leito filtrante



Fonte: Autores, 2024.

Tabela 1 – Configuração do leito filtrante

Camada	Material	Granulometria da camada		Altura da camada
		Mínima	Máxima	

Meio Filtrante	Antracito	0,80 mm	1,00 mm	50,0 cm
Meio Filtrante	Areia	0,40 mm	0,45 mm	25,0 cm
Camada Suporte	Seixos Rolados	4,76 mm	9,51 mm	7,5 cm
Camada Suporte	Seixos Rolados	2,38 mm	4,76 mm	5,0 cm
Camada Suporte	Seixos Rolados	1,60 mm	2,38 mm	5,0 cm
Camada Suporte	Seixos Rolados	2,38 mm	4,76 mm	5,0 cm
Camada Suporte	Seixos Rolados	4,76 mm	9,51 mm	7,5 cm

Fonte: Autores, 2024.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos neste estudo podem ser apresentados em amostragem quantitativa, relacionando-se com o processo construtivo da obra e os indicadores de qualidade, e qualitativa, que está associada aos resultados após a reforma.

Resultados quantitativos:

- Economia de aproximadamente **R$ 330.967,43** com a mão de obra para execução dos serviços de reforma dos filtros;
- Conclusão de **9 filtros em apenas 25 dias,** representando uma redução de **75%** no prazo de execução;
- Redução do índice de turbidez e aumento da performance dos filtros.

Resultados qualitativos:

- Aumento da eficiência na remoção de impurezas, sedimentos e contaminantes da água, resultando em uma água tratada de maior qualidade;
- Melhoria da eficiência em termos de consumo de energia, produtos químicos e manutenção, levando a uma redução nos custos operacionais a longo prazo;
- Garantia de uma filtragem mais consistente e confiável, resultando em uma qualidade de água tratada mais estável e previsível ao longo do tempo;
- Aumento da capacidade de produção do sistema de filtração, permitindo que a planta de tratamento de água atenda a uma demanda crescente sem comprometer a qualidade da água;
- Garantia de confiabilidade e menor necessidade de manutenção, reduzindo o tempo de inatividade não planejado da planta de tratamento de água;
- Melhoria da eficiência do sistema de filtragem além do projeto inicial, aumentando assim sua capacidade de filtração e vida útil;
- Garantia do Índice de Qualidade da Água (IQA);
- Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água potável e saneamento para todos – Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6) Água potável e saneamento;
- Garantia dos padrões de consumo e produção sustentáveis – Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS 12) Consumo e produção responsáveis.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A adoção de uma metodologia fundamentada nos princípios de qualidade da ISO 9000 e ISO 9001 otimizou os processos de execução inerentes aos serviços de reforma, promovendo uma melhoria no fluxo de trabalho e na redução de erros. Como resultado, foi possível economizar aproximadamente R$ 330.967,43 (trezentos e trinta mil, novecentos e sessenta e sete reais e quarenta e três centavos) com mão de obra, além de reduzir o tempo dedicado às atividades em 75%, permitindo a conclusão de 8 filtros em apenas 15 dias. Destaca-se que essas práticas estão em conformidade com o ODS 12 – Consumo e produção responsáveis, uma vez que visam gerenciar de maneira sustentável e eficiente os recursos (ONU, 2024).

Em relação aos resultados pós-reforma, a análise da turbidez da água bruta, decantada e filtrada, encontram-se apresentados na Tabela 3. É válido ressaltar que foi realizada uma comparação entre os meses de junho e julho, considerados períodos críticos devido às chuvas, nos anos de 2022 e 2023. Esses quantitativos foram exibidos em duas colunas, indicando a faixa de turbidez geral e a média.

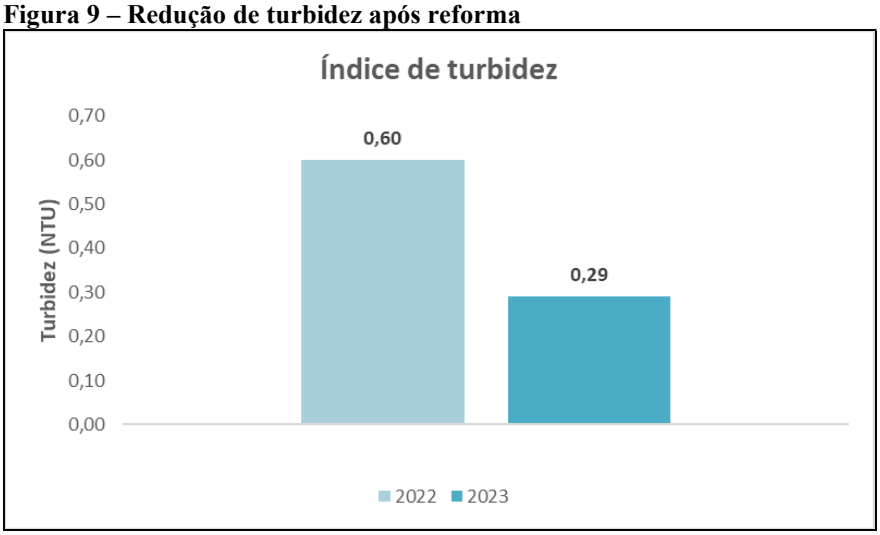
Tabela 3 – Comparativo do índice de turbidez

Local	2022		2023	
	Faixa (NTU)	Média (NTU)	Faixa (NTU)	Média (NTU)
Bruta	100 - 140	129	100 - 140	121
Decantada	0,19 - 20	2,27	0,5 - 10,6	2,07
Filtrada	0,11 - 10,1	0,60	0,11 - 0,5	0,29

Fonte: Elaborada pelo setor de Tratamento da operação Agreste, 2023.

Nota-se que os percentuais identificados na água bruta e decantada permanecem próximos, no entanto, ao analisar o índice de turbidez da água filtrada, observa-se uma redução de **48,33%.** Esse indicativo evidencia que a intervenção realizada no meio filtrante ampliou a eficiência do sistema de filtração, diminuindo significativamente o índice de turbidez. A Figura 9 apresenta essa disparidade.

Figura 9 – Redução de turbidez após reforma



Fonte: Autores, 2024.

Em relação ao índice de desempenho do tratamento da água, observou-se que o percentual no trecho da água bruta/decantada se manteve parcialmente constante. Todavia, ao analisar o segmento de decantada/filtrada, nota-se uma melhoria significativa. Esses resultados estão disponíveis na Tabela 4.

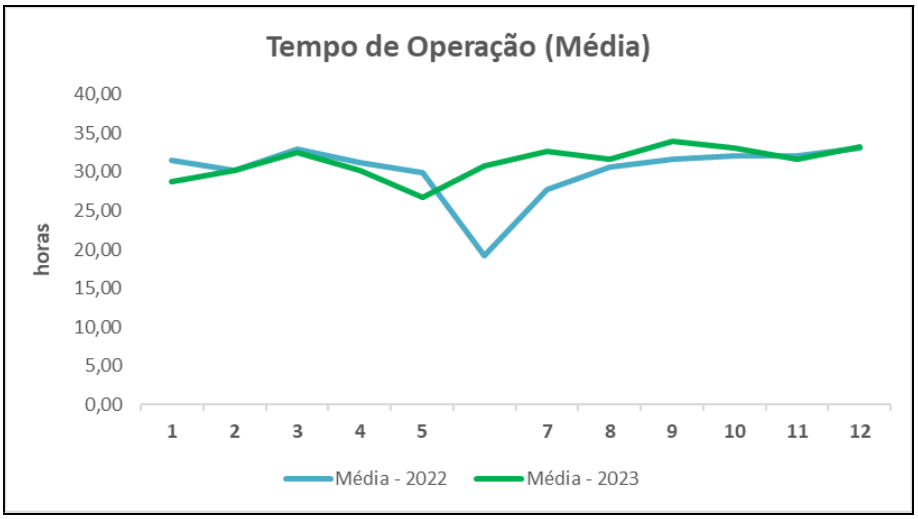
Tabela 4 – Comparativo do índice de turbidez

Local	2022	2023
Bruta/Decantada	98,24%	98,28%
Decantada/Filtrada	73,57%	85,99%

Fonte: Elaborada pelo setor de Tratamento da operação Agreste, 2023.

No mais, avaliou-se o tempo de carreira dos filtros, cuja análise mostra que houve um aumento sutil após a intervenção realizada. Esses resultados podem ser verificados na Figura 10.

Figura 10 – Comparativo entre o tempo de operação



Fonte: Elaborada pelo setor de Tratamento da operação Agreste, 2023.

Por fim, é importante ressaltar que esses resultados estão em consonância com o ODS 6 – Água potável e saneamento, pois contribuem diretamente para melhorar a qualidade da água, minimizando o uso de produtos químicos e garantindo o acesso à água para os consumidores atendidos pelo Sistema Adutor do Agreste.

6. CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Os resultados deste estudo indicam que é viável adotar metodologias construtivas fundamentadas em gestão da qualidade e inovação. Assim, torna-se evidente que o Lean Six Sigma é uma abordagem capaz de aprimorar a eficiência e a qualidade dos processos, especialmente neste contexto, na construção civil aplicada ao saneamento. No mais, constatou-se que a recuperação do sistema de filtração da Estação de Tratamento de Água (ETA) da cidade de Arapiraca apresentou resultados favoráveis. A substituição do leito filtrante possibilitou o aumento da performance dos filtros, assim como reduziu significativamente o índice de turbidez. Desse modo, torna-se evidente que este projeto impacta diretamente nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável estabelecidos pela ONU. O uso de filtros de alta performance garante acesso à água potável para um maior número de pessoas, de forma sustentável no longo prazo (ODS 6). Além disso, o desenvolvimento consciente deste serviço, respaldado em uma gestão eficiente dos recursos, contribui para o ODS 12 (Consumo e produção responsáveis).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

2. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 13053-1: *Quantitative methods in process improvement - Six Sigma - Part 1: DMAIC methodology*. Geneva: ISO, 2011.

3. FERREIRA FILHO, S. S. Tratamento de Água: Concepção, Projeto e Operação de Estações de Tratamento. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

4. LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 4. ed. Campinas, São Paulo: Editora Átomo, 2016.

5. ONU Brasil. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 20 Mar. 2024.