

## I-267 - IMPLANTAÇÃO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA POR MEMBRANA DE ULTRA FILTRAÇÃO DE CARBETO DE SILÍCIO (ESTUDO DE CASO)

### **Fátima Ferraza Bragante**

Bacharel em Química com Atribuições Tecnológicas pela FASB. Pós graduação em Saneamento Básico pela Faculdade de Saúde Pública (USP). MBA em Gestão Empresarial pela Fundação Instituto de Administração (FIA).

### **Carlos Alberto Nunes**

Técnico em Química pelo Colégio São Judas Tadeu.

### **Sabrina Fabricio Leal**

Bacharel em Química Ambiental pela Universidade de São Paulo (USP).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Pirarucu, 3891 – Nova Aldeinha - Barueri - SP - CEP: 06440-185 - Brasil - Tel: (11) 2664-6707 - e-mail: [ffbragante@sabesp.com.br](mailto:ffbragante@sabesp.com.br)

### **RESUMO**

O projeto tem como objetivo o estudo para implantação de nova técnica para o tratamento de água convencional numa unidade de negócio, apresentando alternativas à gestão dos recursos hídricos no Brasil. A partir de critérios estabelecidos no Planejamento Operacional e análises dos indicadores relacionadas à produção e tratamento de água, testes foram aplicados na Estação de Tratamento de Água “X”, com a utilização de um processo de ultra filtração com membrana de carbeto de silício. A utilização de membrana ultra filtrante foi empregada somente nos ramos alimentícios e farmacêuticos e o carbeto de silício originalmente foi desenvolvido para blindagem de sistemas aeronáuticos e aeroespaciais, dando características inovadoras ao projeto. Entre os principais benefícios da nova tecnologia destacam-se a redução de turbidez, ela possui fluxo elevado de filtração, menor área ocupada, redução de produto químico empregado no tratamento da água, redução no consumo de energia elétrica e capacidade de remoção de vírus e bactérias em 99,99%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade da água, Recursos Hídricos, Novas Tecnologias, Membrana de Ultra filtração.

### **INTRODUÇÃO**

O Planejamento Operacional da Unidade de Negócio está dividido em fases e etapas, conforme Figura 1.

A análise do macro ambiente é realizada por meio da Matriz PESTAL, uma ferramenta de investigação dos fatores mais importantes capazes de influenciar a atividade da OC. No aspecto político, econômico, social e ambiental foram levantadas questões relacionadas a utilização e escassez dos recursos hídricos e a degradação dos mananciais. No aspecto tecnológico, a abordagem se deu em torno da busca de novas tecnologias para melhorar a eficiência dos processos da Sabesp. A análise do ambiente interno é realizada por meio de apresentações temáticas a partir das Diretrizes Estratégicas e no caso do projeto em questão, os temas estavam relacionados às diretrizes “Segurança hídrica”, “Sustentabilidade” e “Inovação e tecnologia”. Nesta etapa, a qualidade da água distribuída na OC foi abordada, com base na estrutura das estações de tratamento existentes, as notificações da Vigilância Sanitária e aos indicadores ICAD (Índice de Conformidade da Água Distribuída) e IGQM (Índice Geral da Qualidade dos Mananciais). A análise e priorização dos fatores em ambas as etapas do Planejamento, geraram a Matriz SWOT que somados aos riscos priorizados e aos requisitos das partes interessadas deram origem aos Objetivos Operacionais, Indicadores, Metas, Macroações e Planos de Ação.

Durante o ciclo de planejamento 2013 um projeto focado na desativação da ETA “X” já havia sido definido visto a necessidade de reformas no local. Com a possibilidade de aporte de recursos financeiros naquele ano para execução de reforço de rede, a estratégia ficou voltada para a eliminação da planta. Entretanto, com o início da crise hídrica no mesmo período, o olhar sobre o manancial sofreu alterações e a hipótese de eliminação desse sistema isolado foi cancelada e à partir disso, a Unidade passou a buscar alternativas com um melhor custo benefício que mantivesse a exploração do manancial e tivesse viabilidade econômica.

Questões relativas a qualidade da água são temas recorrentes dentro da Sabesp. No Planejamento Estratégico, a matriz SWOT elenca como força, a Qualidade da água e nas fraquezas, a Degradação e ocupação dos mananciais e os Custos maiores com produção de água. Como desdobramento na Diretoria Metropolitana, o Planejamento Tático considerou também o risco R005: Comprometimento da qualidade da água dos mananciais, definindo duas macroações diretamente relacionadas ao tema: O4-M2 - Aprimorar a Gestão da "M"/Processo Água (procedimentos, automação e processos) e O4-M4 - Implementar soluções que garantam o abastecimento e qualidade de água na M. Em recente cenário de crise hídrica, ficou evidente a necessidade de melhorar o aproveitamento dos recursos hídricos na produção e distribuição de água, levando a Sabesp a buscar novas tecnologias para aumentar a eficiência do processo de tratamento da água.

O aumento da demanda por água é consequência direta do crescimento populacional e da ampliação dos níveis de consumo per capita, e tais fatores aumentam a pressão sobre os mananciais de abastecimento, constituindo num dos maiores desafios para as empresas de saneamento do Brasil.

A disponibilidade de água, tanto em quantidade como em qualidade, é um dos principais fatores limitantes ao desenvolvimento das cidades. As bacias que contêm mananciais de abastecimento deveriam receber tratamento especial e diferenciado, pois a qualidade da água bruta depende da forma pela qual os demais trechos da bacia são manejados.

O problema está associado diretamente às Diretrizes Estratégicas: “Segurança Hídrica” e “Inovação e Tecnologia”; aos riscos empresariais: “Comprometimento da qualidade da água”; aos Objetivos Estratégicos “Garantir a disponibilidade hídrica” na perspectiva Sustentabilidade e “Aperfeiçoar processos” na perspectiva Processos. Na Diretoria M, alinha-se às definições da Sabesp já citadas, e é complementado por Macroações citadas acima, além do conhecimento relevante no processo Água “Técnicas de tratamento de água convencionais e avançadas

Muitas estações de tratamento de água brasileiras encontram-se ou trabalhando acima de sua capacidade ou produzindo água com qualidade insatisfatória. Procurando suprir a demanda sempre crescente de água, mantendo sua qualidade, defronta-se com a escassez de recursos. A partir de tal constatação, faz-se necessário que se investiguem em laboratório novas tecnologias, que permitam estudar as inúmeras possibilidades de se obter água em quantidade mantendo a qualidade e custos baixos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Com a necessidade de manter a exploração do manancial onde está localizada a ETA “X” e buscar soluções com melhor custo X benefício. Foram consideradas duas possibilidades de atuação:

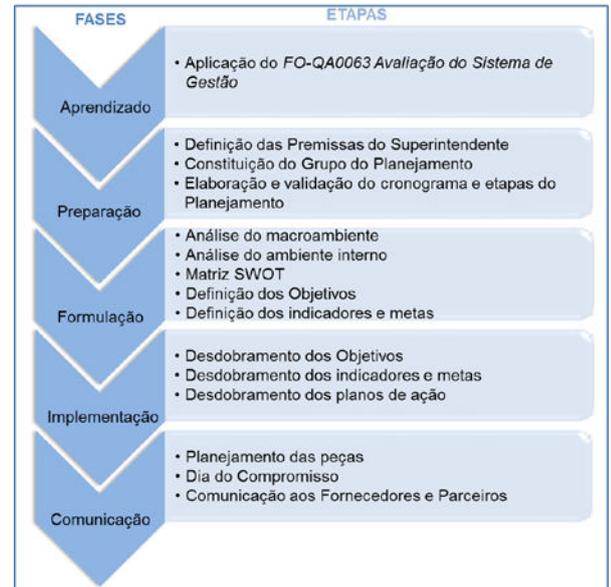
- Manter o sistema de tratamento convencional, realizando todas as adequações estruturais necessárias;
- Desenvolver um novo sistema de tratamento, aliando tecnologia e reduzido custo de implementação, operação e manutenção.

A equipe de trabalho participou de feiras e palestras em busca de novas tecnologias e novos fornecedores/parceiros para o projeto.

O estudo de viabilidade desenvolvido pela equipe de trabalho indicou que o desenvolvimento de um novo sistema seria mais viável economicamente, principalmente pelo emprego de novas modalidades de contratação nas quais se remunera o m<sup>3</sup> de água produzida.

Foram empregadas ferramentas de qualidade como o Ishikawa que sinalizou necessidade de intervenção no método de tratamento da água, visto que o local atual sofre constantes interrupções por aumento da turbidez da

**FIGURA 1 - PLANEJAMENTO OPERACIONAL DA UNIDADE DE NEGÓCIO**



água bruta quando ocorrem chuvas intensas, o que nos leva à busca de tecnologias mais avançadas; foram apontadas, também, necessidades de adequações de infraestrutura (meio e materiais) acarretada pela fadiga dos materiais atualmente instalados no local.

Com base nesse levantamento, foram realizadas reuniões entre as equipes de trabalho da OC e empresas detentoras da tecnologia para levantamento das necessidades reais do processo de tratamento e então, houve visitas à campo para coleta de dados que auxiliariam na definição de um potencial teste piloto.

O diagnóstico foi desenvolvido pela equipe de trabalho formada por: Gerente de Divisão (Químico), Encarregados (técnicos de sistemas de saneamento), Supervisores (analistas) e técnicos de sistemas de saneamento com formação nas áreas química, mecânica, elétrica e civil.

As tratativas foram feitas por essa equipe de trabalho durante as reuniões de análise de desempenho da área onde se discutem apontamentos de auditoria, inspeções e essa lacuna oriunda da necessidade de melhorias na estação de tratamento de água do estudo, sempre fazia parte dessas discussões e em janeiro de 2016 por meio de uma apresentação de novas tecnologias na Unidade de Negócio, essa técnica inovadora no setor do saneamento foi apresentada.

A princípio, a pretensão dos expositores seria na aplicação em tratamento de esgotos, no polimento final da água de reuso, mas por que não, em tratamento de água, visto que essa técnica já é aplicada para esse fim em outros países na Europa.

O objetivo desse projeto é avaliar tecnicamente um equipamento em escala piloto, que exerce o tratamento de água por meio de ultra filtração em membrana rígida de carbeto de silício, em comparação com a estação de tratamento de água por flotação atualmente implantada no local.

A água bruta é oriunda de determinado manancial, classe III localizado na Região Metropolitana de São Paulo, cuja captação fica às margens do barramento e essa água é bombeada, após passagem por grade de contenção, até a entrada da Estação; as características físico-químicas dessa água (dos últimos 2 anos) estão apresentadas considerando a sazonalidade:

**Tabela 1: Características das águas estudadas na ETA “X”**

	<b>Cor Apar UC</b>	<b>Fe tot mg/L</b>	<b>Mn tot mg/L</b>	<b>Turb NTU</b>
Média	50	1,31	0,05	9,56
Mínima	4,2	0,44	0,006	3,99
Máxima	200	2,88	0,09	101

A vazão outorgada de captação é de 90 m<sup>3</sup>/h e a estação piloto tem capacidade de aproximadamente 3,0 m<sup>3</sup>/h. Foi feita uma derivação na chegada da água bruta antes da pré-cloração para alimentação do piloto. Essa água desviada do processo (3%) não afetou o abastecimento da região e a água após circular no sistema é descartada na caixa de descarte dos decantadores.

O dimensionamento e instalação da estação piloto foi feita pela Organização, tanto as estruturas hidráulicas quanto elétricas; foi instalado um tanque para armazenamento de água bruta, que também foi levado e instalado pela Organização.

Foram estabelecidas premissas para o início dos testes, sendo:

Os primeiros resultados obtidos não seriam considerados para os cálculos estatísticos de desempenho do tratamento da água visto que a planta careceria de ajustes para entrar em operação;

A água bruta deveria ser desviada para um tanque de estabilização para que as características de turbidez se mantivesse o mais constante possível;

A princípio não usaríamos a pré-cloração para obtermos resultados da estação com pré-cloração e sem a pré-cloração.

A Unidade de Negócio adota como conceito de Inovação, a equação: Inovação = Ideia + Ação + Resultados percebidos pelas partes interessadas. O conceito está baseado nas definições da FNQ, em sua publicação “Gestão da Inovação, 1ª edição, 2015” e da ABES, no Guia do Prêmio Nacional da Qualidade em Saneamento – PNQS.

Melhorias, inovações e mudanças culturais são originadas pelo sistema de aprendizado organizacional, conforme figura 2, baseado na metodologia do PDCA. O sistema de aprendizado organizacional tem início com os aprendizados individuais que, reunidos, integram o Sistema de Trabalho e são organizados no Sistema de Gestão da Unidade de Negócio. O projeto teve origem no Planejamento Operacional e na busca de soluções, a equipe participa de feiras e palestras e obtém na indústria alimentícia e espacial as inspirações para aplicação no processo de tratamento de água.



Durante a crise hídrica de 2014-2015, o uso de membranas filtrantes poliméricas aumentou em mil litros a capacidade de tratamento na ETA ABV, do Sistema Guarapiranga. O aumento de produção da água tratada ajudou a reduzir a retirada do Sistema Cantareira, permitindo ao Guarapiranga avançar em novas áreas de abastecimento.

Na OC, foram utilizadas as membranas de carbetto de silício por serem mais rígidas que as membranas poliméricas convencionais e são capazes de reter partículas sólidas com diâmetro mil vezes menor que um fio de cabelo (0,04 micros), remover vírus e bactérias, dispensando o uso de produtos químicos como alcalinizantes e coagulantes, empregados no tratamento de água convencional. Além disso as membranas de carbetto de silício possuem elevada taxa de filtração, conforme será descrito.

As membranas de ultra filtração são superfícies porosas que permitem a passagem de água e a remoção de certos compostos sob influência de uma pressão diferencial (pressão ou vácuo). São portanto, barreiras seletivas que conseguem reter vírus, bactérias, sólidos em suspensão, colóides, isto é materiais com tamanho entre 0,005 a 0,05 µm. Neste processo de ultra filtração a membrana é alimentada e nela ocorre separação do concentrado, que são as impurezas retidas e sai o permeado, que é a água ultrafiltrada.

A aplicação das membranas de carbetto de silício já são conhecidas no mercado. O carbetto de silício originalmente foi desenvolvido para blindagem de sistemas aeronáuticos e aeroespaciais. A indústria espacial investiu em seu uso pelo fato de possuir propriedades promissoras para a produção de membranas devido à sua elevada temperatura de fusão, resistência ao choque térmico e excelente estabilidade química e mecânica. A indústria alimentícia também utiliza as membranas na fabricação de adoçantes em pó à base de stevia. A aplicação da membrana no processo de tratamento e distribuição de água, nunca havia sido utilizado, o que lhe confere enfoque inovador ao setor de saneamento.

A aplicação das membranas evita que a estação de tratamento de água passe por sucessivas paradas operacionais quando do aumento da turbidez na água bruta, visto que essa planta pode reduzir a vazão de produção mas consegue se manter em operação em condições mais estressantes que uma ETA convencional de pequeno porte que sofre diretamente a ação da elevação da turbidez sendo desativada imediatamente, dando a essa técnica um caráter preventivo no processo de tratamento.

Foi estabelecido como método de controle os ensaios de cor aparente, turbidez, ferro total, manganês total e cloro residual livre como os parâmetros para monitoramento da eficiência do tratamento a serem realizados a cada 2 horas; definimos trabalhar com um LMH de 250.

Adotamos iniciar o teste já com a pré-cloração no tanque de água bruta, visto que essa medida já reduz por oxidação uma grande quantidade de matéria orgânica.

A estação piloto foi transportada em setembro de 2016 e levada para o local do teste; o equipamento já estava com uma membrana de ultra filtração por carbetto de silício instalada há aproximadamente 4 anos e no momento estava sem uso.

A primeira etapa do teste teve duração total de 12 dias, de 19.09.2016 até 30.09.2016, sendo que neste período:

Foram realizadas várias tentativas de limpeza química na membrana, pois a mesma apresentava considerável perda de eficiência de vazão da água filtrada após 10 minutos de operação;

Durante o processo de sucessivas limpezas químicas optamos em instalar um novo sistema de membranas, que foi solicitado ao fabricante e chegou em 29.09.16. Nesse intervalo por vídeo conferência, técnicos da matriz orientaram a forma para eliminar a comatação da membrana que foi feito e se apresentou eficiente, mas como o novo sistema de membranas já havia sido importado, foi dado andamento à instalação do novo material;

A segunda etapa do teste foi concluída no final de novembro no local onde a estação será implantada, dando total caráter realista ao teste, mas podemos afirmar que, essa tecnologia pode ser aplicada a qualquer estação de tratamento de água.

## **RESULTADOS**

Foram avaliadas as taxas de redução de cor aparente, turbidez, ferro total e manganês total da água bruta para a afinal; foram monitorados os teores de cloro residual livre e pH, afim de avaliar se haveria oscilação nesses parâmetros. Porém a eficiência da planta estava atrelada à sua capacidade de remoção.

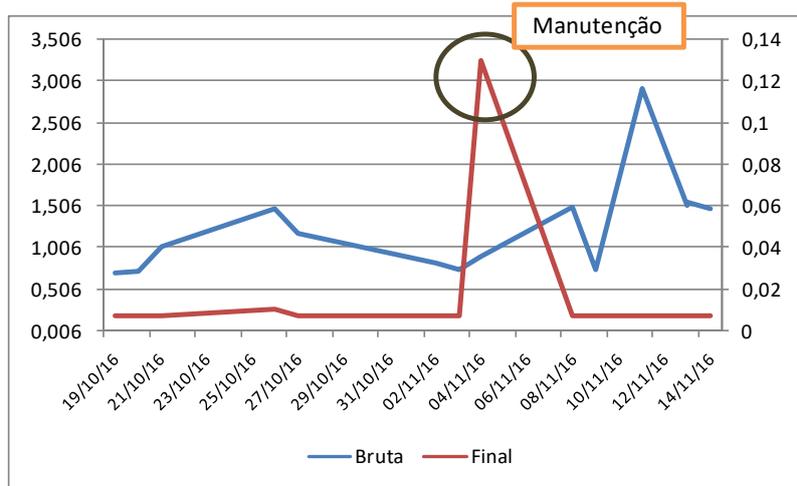
Uma melhoria implantada durante os testes foi a adoção de pré-cloração contínua, visto que a membrana cerâmica permite essa etapa sem atacar o material da estrutura, fato que não pode ser dito das membranas poliméricas convencionais. Essa pré-cloração permitiu reduzir as retrolavagens e forneceu uma água bruta de entrada com parte da matéria orgânica já oxidada.

Nos estudos de custos relacionados ao m<sup>3</sup> produzido, temos uma estimativa de custo da estação de tratamento atualmente no local da ordem de R\$2,17 m<sup>3</sup> e, com a implantação das membranas esse custo estimado amortizado ao longo de 7 anos seria da ordem de R\$1,50.

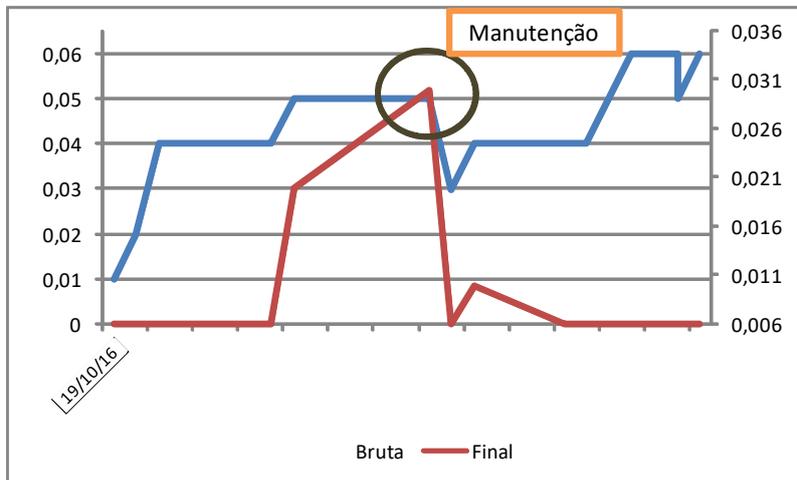
A aplicação das membranas por si só já agregam valor à empresa visto que trata-se de tecnologia de ponta que, além de reduzir significativamente o consumo de energia elétrica, elimina a aplicação de produtos químicos para as etapas de alcalinização e coagulação onde, em sua maioria, são etapas que aplicam produtos químicos controlados. Dessa forma se reduz o consumo de reservas naturais e se reduz o impacto ambiental pela retirada direta de reagentes químicos do processo.

Como a aplicação desse sistema é inovador no saneamento não há comparabilidade a ser apresentada, visto que no emprego farmacêutico e alimentício, se trabalha o sistema com um LMH de 600 frente a um de 250 para o tratamento da água bruta.

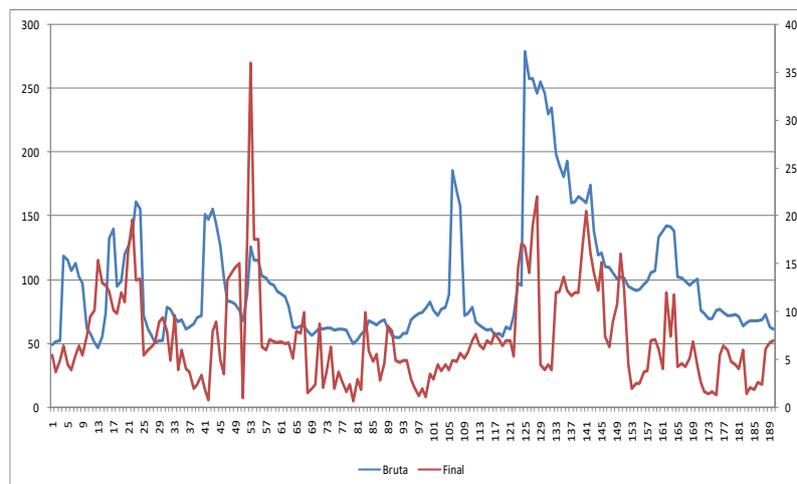
Para os parâmetros básicos definidos, foram gerados 189 dados e a seguir os gráficos comparando a condição da água bruta com a água de saída da estação piloto.



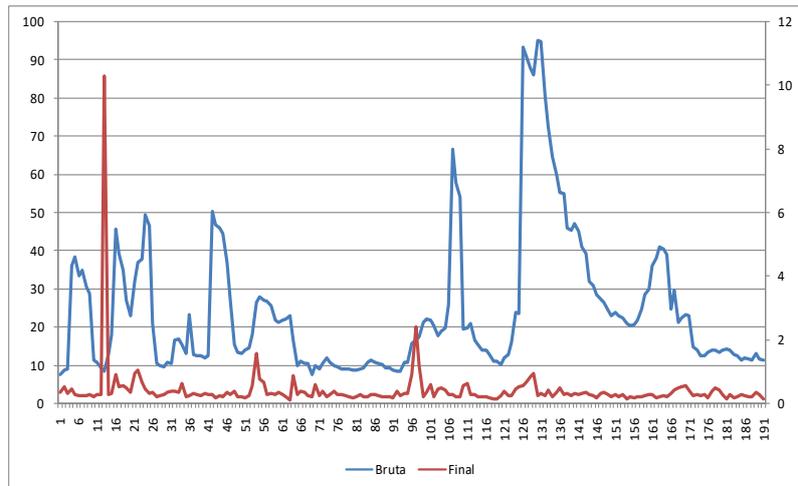
**Figura 3: Comparação do Ferro Total da água bruta e da água final**



**Figura 4: Comparação do Manganês Total da água bruta e da água final**



**Figura 5: Comparação da Cor Aparente da água bruta e da água final**



**Figura 6: Comparação da Turbidez da água bruta e da água final**

## CONCLUSÕES

Analisando os gráficos pode-se concluir que:

- **Cor Aparente:** o maior resultado de cor aparente na água bruta encontrado foi de 186 UC e a água final correspondente ficou em 5 UC (remoção de 97%), sendo que o limite permitido por lei é de 15 UC; dos 189 dados analisados para esse parâmetro, 6% (7 resultados) ficaram acima do limite legal. Ao compararmos o valor máximo de cor aparente obtido durante os testes (186 UC) com o histórico, podemos verificar que trabalhamos em condições muito próximas ao valor máximo encontrado nessa água ao analisarmos os últimos 24 meses (200 UC), portanto podemos considerar que atingimos um valor crítico na água de entrada na estação piloto.
- **Turbidez:** o maior resultado de turbidez na água bruta encontrado foi de 66,5 NTU e a água final correspondente ficou em 0,28 NTU (remoção superior a 99%), sendo que o limite adotado nessa ETA é de 1 NTU; dos 189 dados analisados para esse parâmetro, 3% (4 resultados) ficaram acima do limite legal. Ao compararmos o valor máximo de turbidez obtido durante os testes (66,5 NTU), podemos verificar que ficamos em patamares inferiores ao valor máximo encontrado nessa água ao analisarmos os últimos 24 meses (101 NTU), portanto devemos considerar que a água de chegada à estação pode ter turbidez muito mais elevada, portanto precisaremos analisar mais dados desse parâmetro antes das conclusões finais.
- **Ferro e Manganês:** em ambos os casos a remoção foi completa, muito embora os valores obtidos na água bruta durante os testes são inferiores aos valores máximos já encontrados no histórico da água bruta desse local, portanto são necessários mais ensaios em condições mais estressantes.
- Os valores de pH não variaram entre a água bruta e final;
- Durante os testes a estação foi desativada para manutenção nos dias 21.10 e 26.10; foi parada para limpeza nos dias 28.10 e 04.11 e no dia 27.10 devido a vazamento no tanque de água bruta. As paradas foram em média de 2 horas.

Podemos concluir com esse estudo que o sistema demonstra robustez para remoção de metais, turbidez e cor aparente até limites aceitáveis na água bruta. O ideal é ter sistema de equalização da água bruta de entrada para minimizar essa oscilação na qualidade da água bruta muito comum em casos de captação oriunda de rio, que foi o caso do estudo.

Entre os principais benefícios da nova tecnologia destacam-se a redução de turbidez, possui fluxo elevado de filtração, menor área ocupada, redução de produto químico empregado no tratamento da água, redução no consumo de energia elétrica e capacidade de remoção de vírus e bactérias: 99,99%;

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. PESTAL, Matriz:Ferramenta de investigação dos fatores mais importantes capazes de influenciar a atividade da OC. (Político, econômico, social, tecnológico, ambiental e legal)
2. SWOT:Strenghts, Weaknesses, Opportunities, Threats (Forças, fraquezas, oportuniades e ameaças)