

# PILOTO DE UM SISTEMA PARA APLICAÇÃO DE DOSAGENS DE COMPOSTOS DE CLORO E FLÚOR, EM ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO, COM MONITORAMENTO REMOTO E ON-LINE

## **Gilmar José Peixoto**

Técnico Químico Industrial, UFU – Uberlândia – MG, 1977. Formado em Ciências e licenciado em Química, FACLEPP – Presidente Prudente – SP, 1984. Engenheiro Civil, UNOESTE – Presidente Prudente – SP, 1991. Pós graduado em Engenharia Sanitária pela UNESP de Presidente Prudente em 2000. Mestre em Engenharia Civil na área de concentração de recursos hídricos e tecnologias ambientais, UNESP de Ilha Solteira, 2008. Trabalha na SABESP há 37 anos e atualmente ocupa o cargo de Gerente do Setor de Produção de Água e Tratamento de Esgotos de Presidente Prudente.

## **Paulo Roberto S. Converso**

Engenheiro Civil, Pontifícia Universidade Católica Campinas, PUCC- Campinas – SP, 1980, Pós Graduado em Nível de Especialização em Engenharia Sanitária pela UNESP de Presidente Prudente, SP em 2000 trabalha na SABESP há 34 anos como Engenheiro, exerceu as funções de Gerente do Setor Técnico e Gerente de Produção e Tratamento de Esgoto de Presidente Prudente, atualmente ocupa o cargo de Gerente de Departamento da Gerência Distrital de Presidente Prudente.

## **Maurício Norberto**

Técnico em Eletrotécnica, formado na Escola Estadual de 1º e 2º Graus Joaquim Murinho de Presidente Prudente, 1988. Atua na SABESP há 26 anos e nos últimos 13 anos exerce o cargo de encarregado da manutenção eletro-mecânica no âmbito da Gerência Distrital de Presidente Prudente.

## **Suzane Rosa da Silva**

Graduanda de Licenciatura em Química pela UNESP, campus Presidente Prudente SP e estagiária de química no Setor de produção de água e tratamento de esgoto da Sabesp de Presidente Prudente SP.

## **Mayk Ferreira Cardoso**

Graduando em Engenharia Ambiental pela UNESP, campus Presidente Prudente SP e estagiário de engenharia ambiental no Setor de produção de água e tratamento de esgoto da Sabesp de Presidente Prudente SP.

## **RESUMO**

Este trabalho piloto foi desenvolvido em um sistema isolado que compõe a estrutura de produção, tratamento, reservação e distribuição de um dos distritos do município de Presidente Prudente-SP. Este distrito possui o nome de Montalvão e fica a 11 km da sede do município. O piloto foi montado na forma de parceria entre a Unidade de Negócios do Baixo Paranapanema – RB da Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP e a empresa Emec Brasil. A empresa disponibilizou e realizou a instalação dos equipamentos de dosagem e os sensores de medições de residuais e também realizou o *startup*. O acompanhamento foi realizado pelas equipes dos Setores de Distribuição, Manutenção e Produção de Água de Presidente Prudente. O acompanhamento foi realizado diariamente, através de coletas de amostras, análises de residuais e registros dos resultados. Após inúmeros acertos e refinamentos nos processos que compõem o sistema piloto, e decorridos cerca de 12 meses, chegou-se à conclusão de que o sistema é viável tanto do ponto de vista operacional como econômico.

**PALAVRAS-CHAVE:** fluoretação, cloração, monitoramento remoto.

## **1 – INTRODUÇÃO**

O controle de sistemas de tratamento de água em nível de aplicação de compostos de cloro e flúor, quando realizado em sistemas isolados e que são operados apenas com a visita diária e pontual de um técnico, além de ser pouco segura, também se mostra bastante dispendiosa, principalmente se o sistema se localizar a grandes distâncias do centro de operação.

As concessionárias que operam os sistemas de abastecimento de água são regidas pelas legislações tanto em nível Nacional como Estadual, e como exemplo pode se citar a Portaria 2914, de 12 de dezembro de 2011 – Ministério da Saúde e a Resolução Estadual SS 65 de 12 de abril de 2005 – Estado de São Paulo, onde ambas determinam as periodicidades com que se deve amostrar, analisar e registrar os resultados, sendo que no Estado de São Paulo ainda há a obrigatoriedade de se enviar os resultados para análise e fiscalização do órgão competente.

Portanto, para o atendimento às legislações e naturalmente para se obter uma boa e segura operação, há a necessidade, por parte das operadoras, de se possuir uma razoável estrutura humana e de equipamentos que possibilitem um efetivo controle de todos os processos, pois do contrário poderá estar-se causando sérios problemas de saúde pública bem como sendo passível de sanções por parte das leis vigentes.

A melhoria contínua dos processos tendo como aliada as novas tecnologias, as quais podem racionalizar as operações com maior segurança, confiabilidade e menor custo são, nos dias de hoje, a tônica das empresas operadoras de processos contínuos. Como não poderia ser diferente, as empresas de saneamento até por estarem incluídas neste grupo, buscam incansavelmente novas formas de se operar de modo a conseguir modos operantes mais seguros e que também possam diminuir os custos envolvidos.

O presente trabalho teve como premissa exatamente buscar uma condição que possibilitasse a liberação de mão de obra para outras atividades, bem como diminuir os custos envolvidos com deslocamentos diários a longas distâncias e também obter um resultado mais confiável, tendo em vista que os dados são transmitidos remotamente e de forma *on-line*, condição esta considerada de muita importância quando da necessidade de se fazer correção de alguma anomalia, o que se consegue em questão de horas e no modo operacional atual, isto só é possível após 24 horas.

## **2 – OBJETIVO**

O objetivo foi de se montar um sistema piloto para realizar avaliações quanto a sua consistência e qual a redução de custos envolvidos.

### **2.1 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Acompanhar os resultados dos residuais de cloro e flúor;  
Realizar comparações dos residuais com métodos analíticos diferentes e verificar os desvios;  
Acompanhar a estabilidade operacional do sistema;  
Realizar um balanço econômico financeiro e verificar a redução de custos envolvidos.

## **3 – MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 – MATERIAIS UTILIZADOS NA MONTAGEM DO PILOTO.**

O piloto é constituído por um controlador, uma célula amperométrica para medição de cloro residual, uma sonda para medição de residual de flúor, um porta eletrodo, um filtro precedendo os elementos de medição e duas bombas dosadoras eletromagnéticas. Todos estes equipamentos são instalados em um painel de modo a compor um único conjunto.

#### **3.1.1 – CONTROLADOR DE FLÚOR E CLORO LIVRE PARA ANÁLISE ON-LINE DUPLO CANAL**

O controlador possui um regulador digital com microprocessador e display LCD retroiluminado com escala de flúor de 0,0 a 3,00 mg/L e de cloro de 0,0 a 10 mg/L Cl<sub>2</sub>. As entradas são para as sondas de cloro, flúor e temperatura, além de sensores de fluxo e de nível de produto. O dispositivo possui duas saídas proporcionais a impulso flúor, uma saída proporcional a impulso cloro, saídas *on/off* de flúor e cloro e saída de alarme geral para falta de fluxo, nível de produto químico, alarme mínimo e máximo de leituras de cloro e flúor e falha das sondas. O aparelho ainda conta com relógio interno, opção para dosagem automática ou manual, entrada stand-by e regulagem através de manopla rotativa. O consumo médio do controlador é de 25 W, com alimentação de 90 – 265 VAC; 50/60 Hz e saída 4-20 mA.

### **3.1.2 – CÉLULA AMPEROMÉTRICA PARA ANÁLISE DE CLORO**

Possui escala de leitura de 0,0 – 10 mg/L, pressão de trabalho máxima de 1,0 bar e temperatura 1°C a 40°C. O eletrólito é do modelo ELECL3S e a membrana modelo MECL3. Possui fator de correção de pH e temperatura.

### **3.1.2 – SONDA DE ÍON SELETIVO DE FLÚOR**

Possui escala de leitura de 0,0 – 3,0 mg/L, pressão de trabalho máxima de 0,5 bar, temperatura 0°C a 80° e conexão BNC.

### **3.1.3 – FILTRO PRECEDENDO OS ELEMENTOS DE MEDIÇÃO**

Filtro do modelo NFIL/60 com 5 polegadas de diâmetro, elemento filtrante de 60 µm e temperatura máxima de 60°C.

### **3.1.3 – PORTA ELETRODO MODELO PEF1**

Conexão para 2 eletrodos: os elementos de medição de cloro e flúor. Admite pressão de trabalho máxima de 5,0 bar e temperatura 50°C.

### **3.1.4 – BOMBAS DOSADORAS**

Bomba dosadora do tipo eletromagnética, dotada de diafragma com regulagem eletrônica do número de pulsações do curso do pistão. O modelo possui como características, vazão de até 1 L/h, pressão de 20 bar, ajuste manual ou automático da dosagem e propriedade de alterar o número de pulsações eletronicamente. A precisão é de +/- 2% em regime de dosagem contínua ou descontínua. A frequência é sincronizada em rede para manter sempre estabilizada a energia que alimenta o magneto, de modo a propiciar maior precisão de dosagem e também aumento da vida útil do mesmo.

A bomba é dotada em seu corpo de um controlador interno que possibilita, através de um display, que haja interação com a vazão instantânea e totalizada do produto dosado, alerta de calibração, alarmes e níveis, onde um sensor de nível desliga a bomba quando da falta de produto a ser dosado. E, como características elétricas, a bomba é acionada por magneto, possui potência consumida de 19 W, trabalha em uma tensão de 220 V, monofásica e frequência de 50/60 Hz e, ainda, possui isolamento classe F e proteção IP – 65.

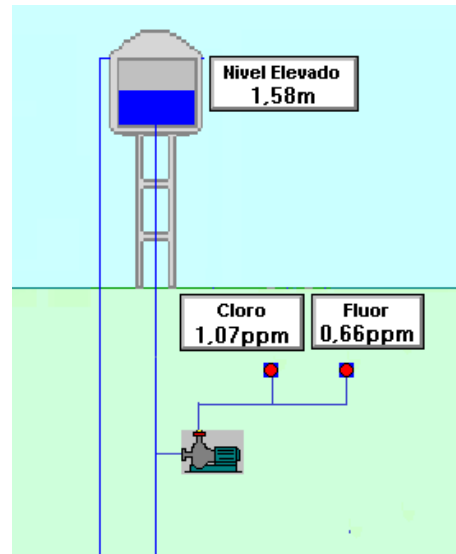
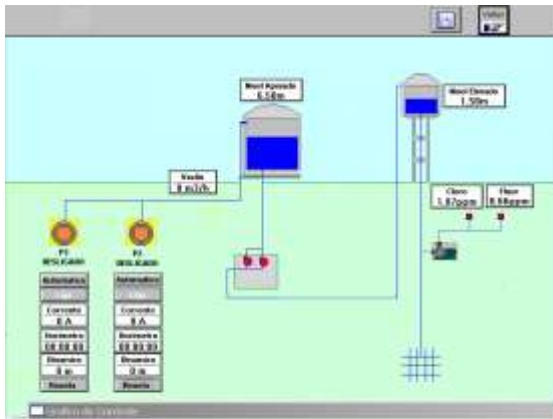
Nas partes da bomba que entram em contato com a solução a ser dosada, os materiais são constituídos de PVDF, PTFE, (teflon) e FP, (viton). A bomba possui sete modos de programação o que possibilita que se utilize a melhor opção para a operação do sistema.

### **3.1.5 – CAPTURA E TRANSMISSÃO DOS DADOS**

Na área onde foi instalado o piloto já havia um Quadro Elétrico dotado de CLP e rádio modem, de modo que os dados disponibilizados pelo piloto foram enviados ao CLP existente e incorporado ao sistema de transmissão. Portanto, a estação remota além de transmitir nível dos reservatórios, vazão, *status* de bombas, ela agora também está transmitindo, de modo *online*, para o CCO que fica localizado na ETA de Presidente Prudente, os residuais de cloro e flúor.

Na arquitetura do esquema de transmissão, existe uma repetidora que fica aproximadamente no meio do trecho total de visada e o sistema supervisório tem por base operacional o software Elipse Scada.

A Figura nº 1 mostra a imagem da tela do monitor do Centro de Comando Operacional – CCO, na ETA de Presidente Prudente, registrando todos os dados recebidos da estação remota do distrito de Montalvão, com destaque para os residuais de cloro, 1,07 ppm e o residual de flúor, 0,66 ppm.



**Figura nº 1 – Imagem no monitor do Centro de Controle Operacional da ETA de Presidente Prudente**

### **3.2 – MÉDODOS UTILIZADOS NA OPERAÇÃO DO PILOTO**

O sistema foi montado com a fixação na parede de um painel, o qual comporta as duas bombas dosadoras, o controlador, filtro e o porta sondas. A Figura nº 2 mostra a imagem do painel com os equipamentos



**Figura nº 2: Painel com as bombas dosadoras, controlador, filtro e porta sondas**

A amostragem foi realizada através de uma tomada de água junto à tubulação de saída do reservatório elevado, o qual alimenta toda a distribuição existente na comunidade. Essa água, com uma vazão em torno de 500 L/h, passa pelo piloto e verte em um reservatório de capacidade para 750 litros. Neste reservatório foi feita uma tomada de água que alimenta a sucção de uma bomba de eixo horizontal e de vazão proporcional ao volume do reservatório, a qual recalca a água remanescente de volta à câmara do reservatório elevado.

O controle foi realizado diariamente, até porque a operação atual é realizada com visitas diárias aos sistemas isolados dos quatro distritos existentes no município de Presidente Prudente. Eram realizadas leituras, *in loco*, no controlador do sistema piloto e também, na mesma hora, no CCO na ETA. Coletadas amostras e trazidas para o laboratório da ETA, onde eram realizadas análises nos equipamentos de medição de residual de flúor e de cloro. Como estes equipamentos passam periodicamente por calibração, os resultados obtidos foram utilizados como referência para avaliar os resultados dos residuais registrados no controlador do sistema piloto.

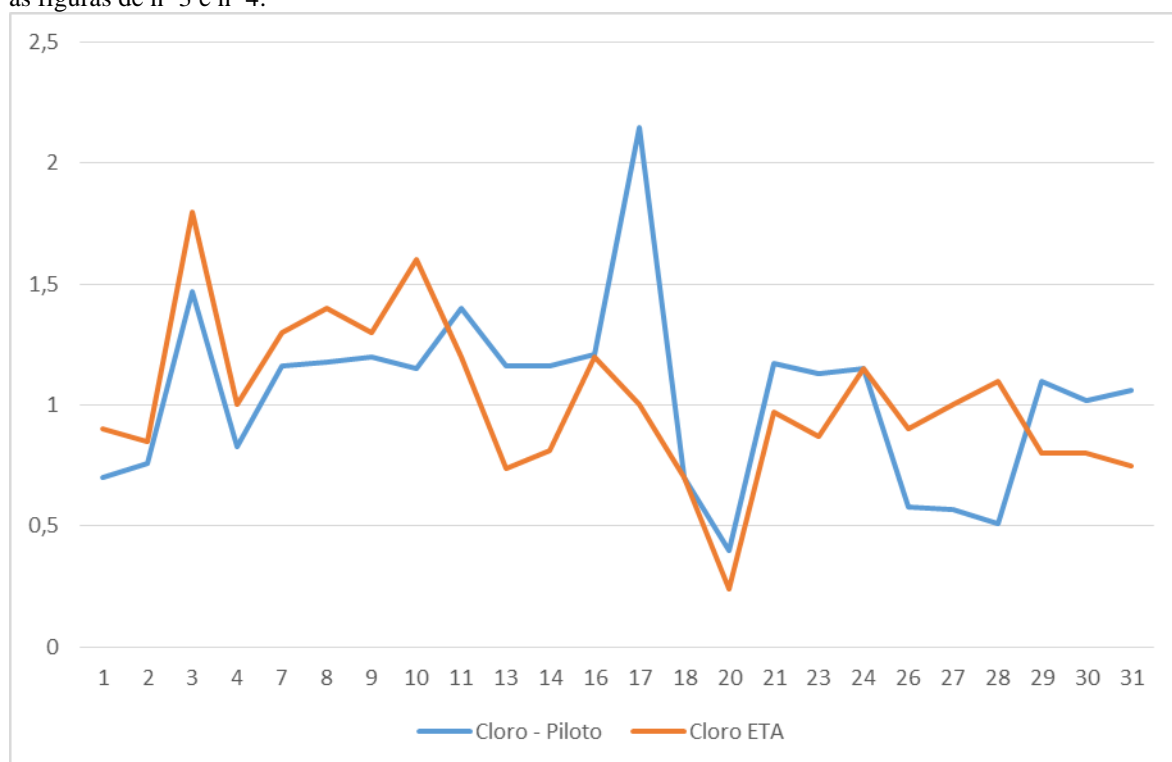
#### 4 – RESULTADOS

O acompanhamento das análises do sistema piloto foi sendo feito desde o início da operação, que passou por calibrações e troca do eletrodo de flúor.

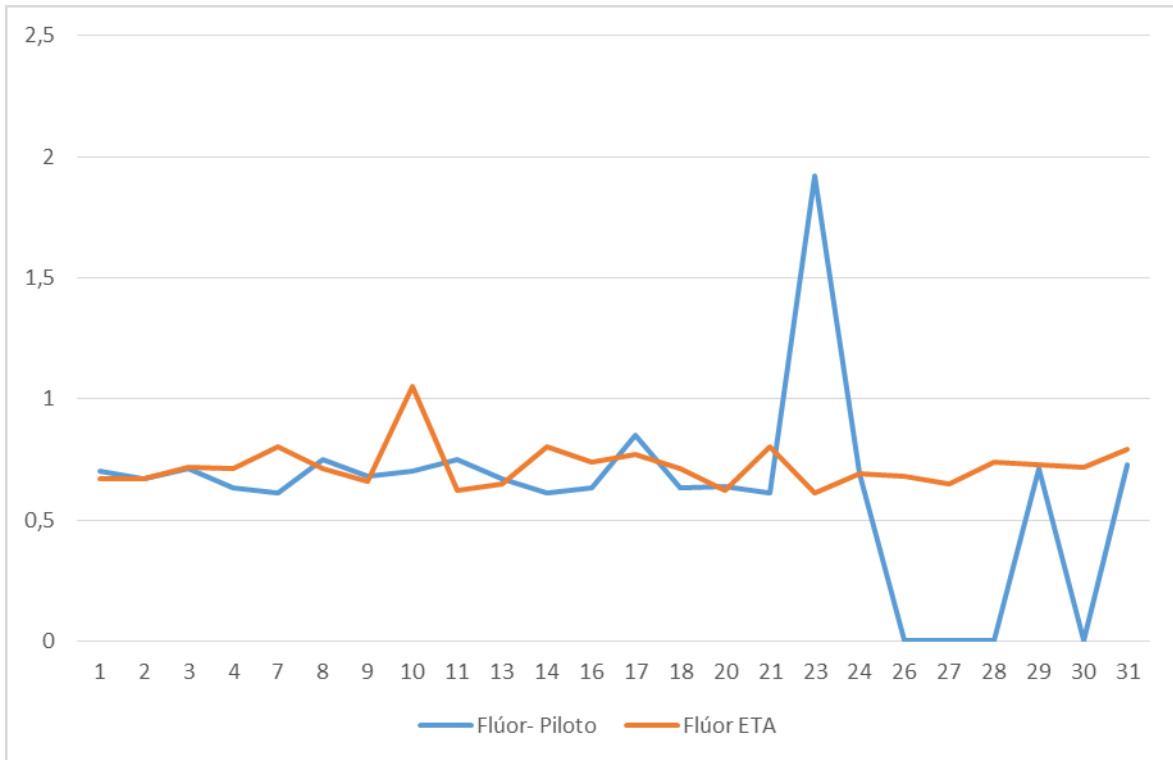
O procedimento da análise de cloro realizada na ETA foi feito no aparelho Colorímetro Digimed DM-C1 que se utiliza do método colorimétrico. Já as análises realizadas no sistema piloto são realizadas pelo eletrodo.

A análise de flúor foi realizada na ETA através do fluorímetro Digimed DM-2P que possui um eletrodo de íon seletivo para fluoreto. Já as análises no piloto são realizadas através do eletrodo Orion 9609 BNWP que também é seletivo para o íon fluoreto.

Antes da utilização do modelo atual de eletrodo de íon seletivo, acima mencionado, para a análise de flúor, o piloto estava apresentando variação nos resultados, o que comprometia sua confiabilidade, conforme mostram as figuras de nº 3 e nº 4:



**Figura nº 3: Resultados referentes ao mês de dezembro 2015 das análises de cloro realizadas na ETA comparadas às realizadas no piloto**

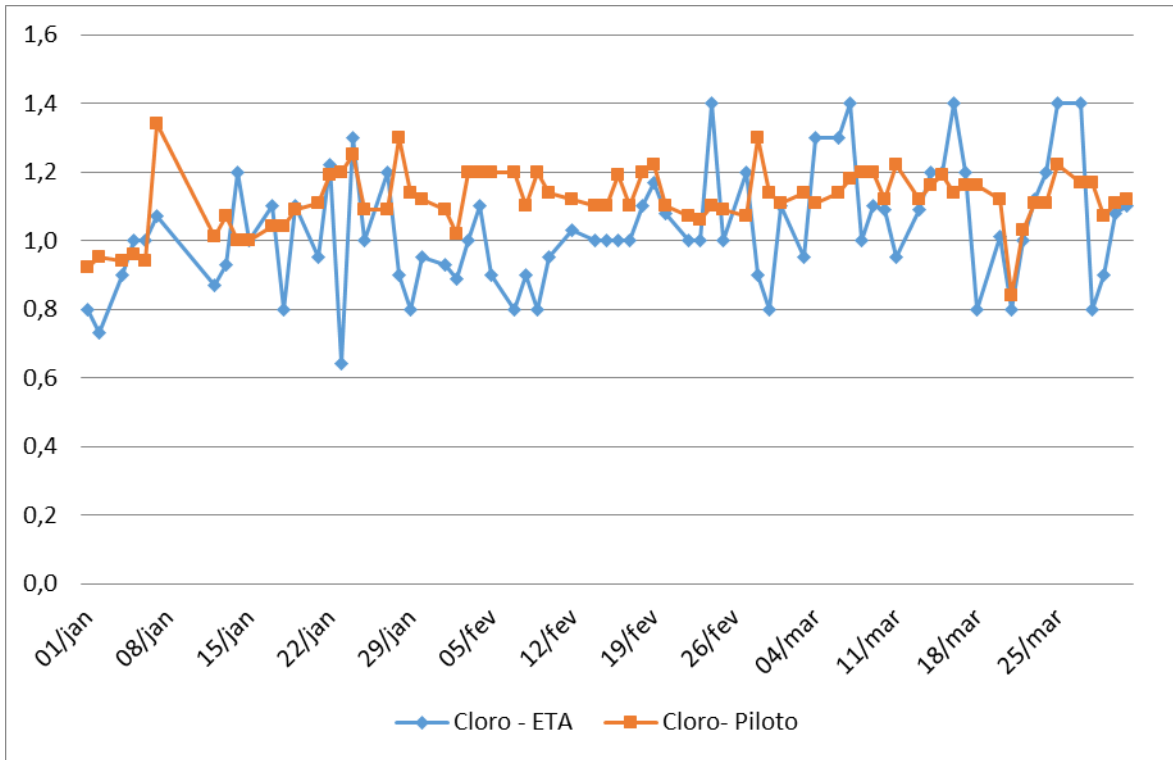


**Figura nº 4: Resultados referentes ao mês de dezembro 2015 das análises de flúor realizadas na ETA comparadas às realizadas no piloto**

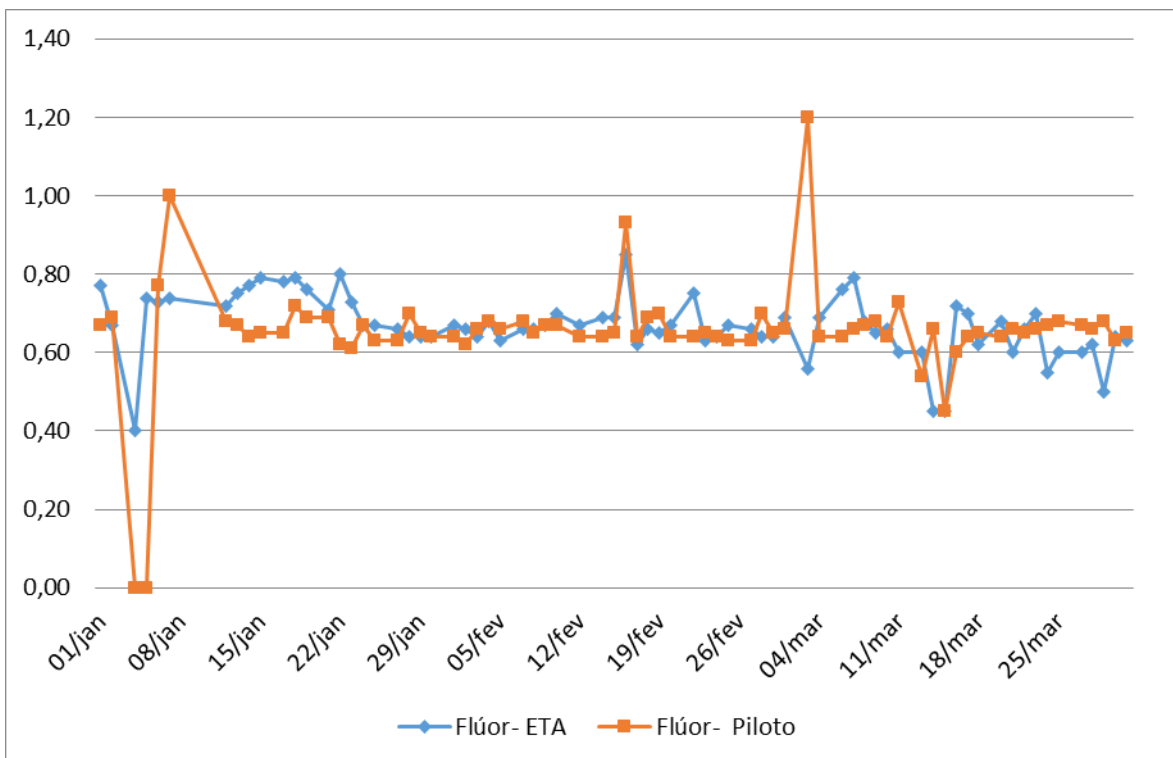
Observa-se que no mês de dezembro houve variações nos resultados das análises de flúor e de cloro, onde se obtêm pontos com grande diferença em relação ao valor obtido na ETA que é a referência, sendo que a maioria dessas anomalias foram causadas por falta de calibrações e no caso do flúor se fez necessário também a troca do eletrodo.

Após as mudanças necessárias, nos últimos três meses o monitoramento passou a ser realizado diariamente e com resultados satisfatórios.

As Figuras de nº 5 e nº 6 mostram os resultados das análises realizadas na ETA comparados com os resultados do piloto:



**Figura nº 5: Comparação das análises de Cloro realizadas diariamente pelo piloto e pelos procedimentos da ETA**



**Figura nº 6: Comparação das análises de Flúor realizadas diariamente pelo piloto e pelos procedimentos da ETA**

Para medir a confiabilidade do sistema se utilizou do erro médio absoluto considerando o valor determinado nas análises realizadas na ETA como sendo o valor esperado. As medidas de erro foram calculadas ignorando-se eventos de picos muito altos no gráfico, pois estes estão relacionados a situações de anormalidade no

sistema, como a falta de energia que ocasiona a falta de água no reservatório. Com isso temos os resultados na Tabela nº 1.

**Tabela nº1: Erro médio absoluto para as análises de cloro e flúor.**

Erro médio absoluto (%)	
<b>Cloro</b>	13,4
<b>Flúor</b>	7,5

Como podemos observar os resultados da análise de cloro mostraram uma maior diferença quando comparadas as análises realizadas na ETA, devido a diferença entre as metodologias das análises. Já as análises de flúor mostraram uma menor diferença entre os resultados que pode ser atribuída a semelhança dos métodos.

Os erros médios absolutos do residual de cloro, 13,4%, e do residual de flúor, 7,5%, são considerados em uma faixa normal para os desvios. Considerando o residual médio de cloro na água do sistema de 1,10 mg/L, o erro médio será de +/- 0,1474 e, portanto, o residual mínimo será de 0,9526 mg/L e o residual máximo de 1,2474 mg/L, o que não compromete o residual desejado, bem como o residual de flúor que considerando o ideal igual a 0,70 mg/L, o desvio será de +/- 0,0525 e, portanto, o residual mínimo será de 0,6475 mg/L e o residual máximo de 0,7525 mg/L, o que atende plenamente a faixa ideal de 0,60 mg/L a 0,80 mg/L.

#### 4.1 – ANÁLISE DOS CUSTOS

Nas análises foram considerados: o custo para se montar à estação remota completa e inclusive com a transmissão; o custo para aquisição dos equipamentos que compõem o piloto para a aplicação de compostos de cloro e flúor e os custos envolvidos na forma atual de operação, a qual implica em visita diária com, em média, o pagamento de quatro horas extras e rodagem, manutenção e depreciação de veículo. As composições são mostradas nas tabelas de nº 2 e de nº 3.

**Tabela nº 2: Custos para montagem das quatro estações remotas e quatro sistemas de dosagens**

Custo para montagem completa das estações remotas e aquisição dos sistemas de dosagens (4 UN.)	
Item	Valor R\$
1- Montagem completa das 4 estações remotas	60.000,00
2 – Aquisição de 4 sistemas de dosagens	127.732,00
<b>Total</b>	<b>187.732,00</b>

**Tabela nº 3 : Custos envolvidos no atual modo de operação com visita diárias aos quatro distritos**

Custos envolvidos no modo de operação atual, com visitas diárias nos quatro distritos	
Item	Valor R\$/ano
1- Utilização de quatro horas extras, em média.	13.518,00
2 – Rodagem, manutenção e depreciação de veículo	24.204,00
<b>Total</b>	<b>37.722,00</b>

#### 5 – CONCLUSÃO

O sistema piloto mostrou ser bastante confiável nos resultados apresentados e o fato de se obter os registros das análises de modo *on line*, facilita em muito as eventuais correções de anomalias que podem ocorrer com os resultados dos residuais de cloro e flúor. Ressaltando que no modo de operação atual, as correções são realizadas com no mínimo 24 horas de intervalo e com o sistema piloto, uma eventual anomalia pode ser corrigida em questões de horas.

Embora o retorno dos investimentos ocorra por volta dos cinco anos, deve-se considerar a liberação da mão de obra, a qual poderá ser mais bem empregada, até porque ela atuará somente a cada 10 dias para o reabastecimento de produtos químicos, vistorias, limpezas e calibração dos sistemas de dosagem. Bem como a racionalização do uso de veículo que, neste caso, deixará de percorrer cerca de 3000 km/mês.

#### Referência Bibliográfica



BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914 de 12 de Dezembro de 2.011. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.

ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria da Saúde. Resolução SS nº 65, de 12 de Abril de 2.005. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao Controle e Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano no Estado de São Paulo e dá outras providências.