



## USO DE SENSORES INTELIGENTES COM TRANSMISSÃO SEM FIO PARA MONITORAMENTO DE CLORO RESIDUAL NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE JUSSARA-PR

**Rebeca Silva Rocha<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil do Consórcio Intermunicipal do Paraná (CISPAR) e Mestre em Engenharia Urbana

**Alexandre Hitoshi Ito**

Professor Colaborador do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá

**Sandro Rogério Lautenschlager**

Professor Titular do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá e do Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Pioneiro Miguel Jordão Martinez, 677 – Parque Industrial Mário Bulhões da Fonseca - Maringá - Paraná - CEP: 87065-660 - Brasil - Tel: +55 (44) 3262-5121 - e-mail: [engenharia.cispar@consorciocispar.com.br](mailto:engenharia.cispar@consorciocispar.com.br)

### RESUMO

Em alternativa ao monitoramento convencional por recolha manual de amostras de água para determinação de cloro residual livre e plano de amostragem, sensores de cloro, dotados de transmissão de dados sem fio para monitoramento de cloro residual livre, foram instalados no município de Jussara-PR. A alocação das sondas foi definida por um software de otimização de alocação que utilizou o algoritmo GRASP. A função principal da alocação foi minimizar a extensão da rede com concentrações de cloro inferiores a  $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ . A automação permitiu verificar em tempo real e continuamente quais são as concentrações de cloro livre na água, o que pode auxiliar na aferição de parâmetros da qualidade em locais de difícil acesso além de se mostrar uma alternativa economicamente viável.

**Palavras-chave:** Otimização no monitoramento, qualidade da água, plano de amostragem.



## INTRODUÇÃO

O monitoramento dos padrões de qualidade da água para consumo humano é exigência legal e fator diretamente ligado à saúde da população. Segundo dados da Organização Mundial da Saúde – OMS (2011), milhões de pessoas morrem a cada ano de doenças transmitidas pela água, em sua maioria, crianças com idades inferiores a cinco anos. Estas doenças podem ser prevenidas melhorando a cobertura e a qualidade dos serviços de saneamento.

Uma forma de detecção de anomalias na qualidade da água da rede de distribuição é a instalação de pontos de controle de qualidade Berry et al. (2006), estes pontos podem ser equipados com medidores de vazão, pressão e de parâmetros como concentração de cloro residual, pH, condutividade e também por meio de programas de amostragem de rotina.

A colocação de sensores pode ser automatizada com métodos que buscam otimizar o monitoramento na rede, minimizando os riscos de contaminação. Os métodos atuais usam modelos hidráulico e de qualidade de água associado a um método de otimização.

No Brasil, a Portaria de Consolidação número 5 dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Esta Portaria indica que a concentração de cloro residual livre, em municípios menores de 50.000 habitantes deve ser aferido em pelo menos uma amostra, duas vezes por semana. Ainda, em todas as amostras coletadas para análises microbiológicas, deve ser efetuada medição de turbidez e de cloro residual livre (BRASIL, 2017).

Para o acompanhamento da qualidade da água, utiliza-se o plano de amostragem, este plano deve obedecer a requisitos de distribuição uniforme das coletas ao longo do período e representatividade dos pontos de coleta no sistema de distribuição, combinando critérios de abrangência espacial e pontos estratégicos.

Como pontos estratégicos a Portaria indica aqueles próximos a grande circulação de pessoas, edifícios que alberguem grupos populacionais de risco; trechos vulneráveis do sistema de distribuição e locais com sistemáticas notificações de agravos à saúde tendo como possíveis causas os agentes de veiculação hídrica.

Nesta pesquisa, sensores de cloro, dotados de transmissão de dados sem fio para monitoramento de cloro residual livre, foram instalados no município de Jussara-PR, em alternativa ao monitoramento convencional por recolha manual de amostras e plano de amostragem. A alocação das sondas foi definida por um software de otimização de alocação que utilizou o algoritmo GRASP.



## OBJETIVO

Monitorar a concentração de cloro residual livre na rede de abastecimento de água do Município de Jussara-PR.

### Objetivos Específicos

- Modelar a qualidade da água da rede de abastecimento de água do município de Jussara-PR no software EPANET
- Escolher os pontos de alocação de sensores por meio de software de otimização de alocação
- Instalar sensores de qualidade para monitoramento de cloro residual livre
- Acompanhar a concentração de cloro residual livre

## MATERIAL E MÉTODOS

O sistema de abastecimento simulado é composto por um reservatório elevado com capacidade de 140 m<sup>3</sup> (R1), que abastece a zona alta da cidade e um reservatório apoiado de 1.050 m<sup>3</sup> (R2), responsável pelo abastecimento da zona baixa do município. A rede de distribuição tem extensão de aproximadamente 47636,25 metros, os diâmetros das tubulações variam de 25 mm a 250 mm. O sistema abastece a cidade de Jussara-PR, a população total atendida na área urbana é 6.669, correspondendo a 2.568 ligações ativas de água, segundo dados do cadastro técnico do Sistema Municipal de Água e Esgoto de Jussara (SMAE). O volume de água micromedido entre setembro de 2016 e agosto de 2017 foi 369.759,00 m<sup>3</sup>, o que corresponde ao consumo per capita de 151,90 litros por habitante por dia.

Para o cálculo do consumo base a ser inserido no EPANET, considerou-se o número de nós da rede de abastecimento, o volume micromedido mês a mês foi distribuído igualmente entre os nós do sistema. O período de dados da Autarquia considerado foi entre os meses de agosto de 2016 e setembro de 2017.

A rede de distribuição em estudo efetua análises de cloro residual livre diariamente na saída do tratamento para a distribuição, o SMAE designa um técnico responsável pelas análises e o procedimento e a determinação do cloro são efetuados três vezes por dia durante a semana e uma vez por dia nos finais de semana e feriados.

### Dados para o modelo de qualidade

O modelo hidráulico da rede em estudo, calibrado e validado, foi fornecido pelo SMAE. Para simulação do modelo de qualidade foram considerados os dados do SMAE para concentração



de cloro na saída do abastecimento e na rede de distribuição, de setembro de 2016 a agosto de 2017, estes dados foram utilizados para modelar e calibrar a rede no software EPANET.

Os dados de concentração de cloro aferidos de 15 em 15 minutos, por meio dos sensores de cloro que foram instalados na rede também foram utilizados para calibrar e validar o modelo de qualidade.

### **Monitoramento da concentração residual de cloro**

Para o monitoramento do cloro residual livre, um sensor de cloro KAPTATM 2000-AC2, foi utilizado neste trabalho. De acordo com o fabricante, o sensor pode trabalhar na faixa de 4-20mA, e apresenta uma sensibilidade de  $1,4\text{-}2,1 \text{ mA ppm}^{-1}$ . Desta forma, a concentração de cloro na água proporcionará uma variação na corrente de alimentação do sensor.

Para a transmissão dos dados, um Xbee Adapters, equipamentos de comunicação sem fio da DIGI, em protocolo ZigBee foram utilizados, a leitura e transmissão das concentrações de cloro foram realizadas a cada 15 minutos, como em Ito (2016), por um período mínimo de 7 dias.

Os resultados de concentração podiam ser observados em smartphone ou computadores conectados à internet. Para efeito de contraprovação, amostras de água foram retiradas aleatoriamente nos locais onde o sensor foi instalado, na frequência de 3 amostras por dia, e na saída do abastecimento, na frequência de 3 amostras por dia durante a semana e 2 amostras por dia nos finais de semana e feriados.

A concentração de cloro residual para contraprovação foi determinada utilizando o espectrofotômetro pelo método fotométrico DPD (APHA, 2005).

### **Alocação dos sensores na rede de distribuição**

Foi simulado que uma quantidade de cloro foi injetada durante um período de 1 hora, entre as 12:00 e 13:00, com uma taxa de 620 mg/min. A localização da injeção foram o reservatório elevado R-1 que abastece 35% do município e o apoiado R-2 que abastece 65%, bem como todos os demais nós da rede. A dose ingerida por cada pessoa foi calculada segundo a demanda per capita, ou seja, 151,9 litros por habitante por dia.

A escolha dos locais de instalação dos sensores se deu por meio de um software de otimização que levou em conta a menor extensão de tubulação da rede com concentrações de cloro abaixo de  $0,2 \text{ mg L}^{-1}$  previsto pela Portaria de Consolidação número 5.



## Plano de amostragem do Município para o parâmetro Cloro

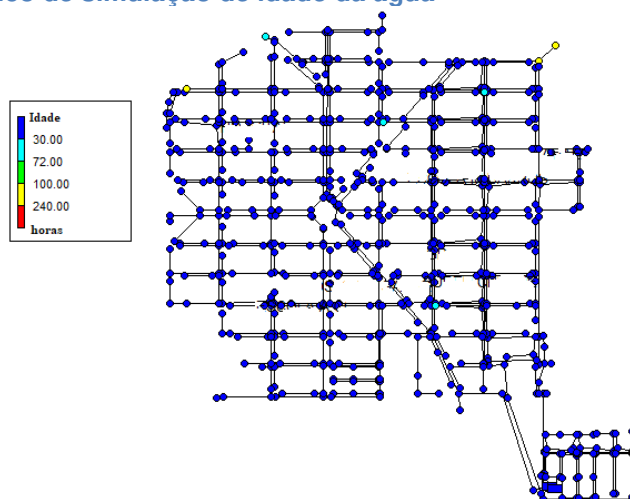
Um total de 48 pontos, distribuídos pela sede do município, foram elencadas para fazer parte do Plano de Amostragem. Anualmente são realizadas aproximadamente 850 análises na saída do tratamento e 208 análises na rede de distribuição representando um custo aproximado de R\$ 20.000,00. Para a instalação dos sensores, o custo aproximado seria de R\$ 15.000,00, incluindo a aquisição de dois sensores de cloro, cada sensor tem vida útil aproximada de um ano em uso contínuo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a simulação da qualidade da água considerando o consumo médio anual, foi possível observar por meio de medições em campo que na saída para o abastecimento a concentração média de cloro era de  $0,86 \text{ mg L}^{-1}$ .

As concentrações de cloro simuladas na rede estão entre os intervalos de  $0,72 \text{ mg L}^{-1}$  e  $0,86 \text{ mg L}^{-1}$ . Foi possível observar que a maior idade da água se encontra nas extremidades da rede, o resultado foi de 9 dias e 48 minutos e pode ser observado na Figura 1.

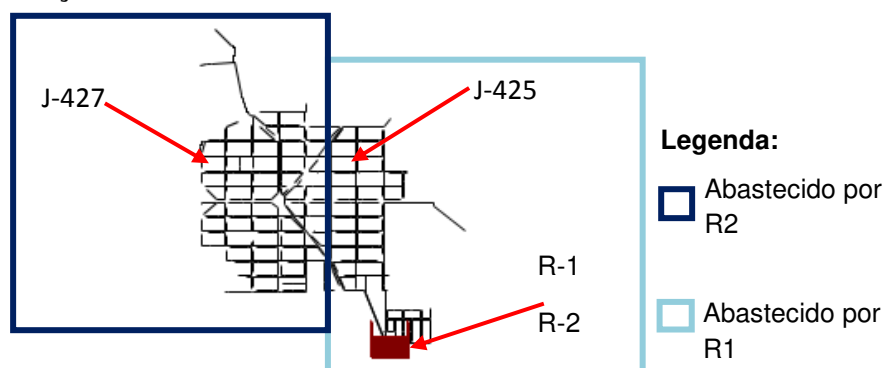
**Figura 3 – Resultado gráfico de simulação de idade da água**



Na rede de distribuição de água, representada na Figura 2 de forma esquemática, foram instalados os sensores de cloro nos nós J-425 e J-427, conforme indicado pelo software de otimização de alocação, os reservatórios foram representados como R-1 e R-2.



**Figura 2 – Local de instalação dos sensores de cloro residual livre**



A indicação do software dos locais de instalação dos sensores coincide com as maiores idades da água e pontas de rede.

Os dados medidos por meio dos sensores de cloro foram calibrados com DPD e organizados na Figura 2, o valor médio de concentração de cloro nos locais de monitoramento foi de  $0,82 \text{ mg L}^{-1}$  em J-425 e  $0,81 \text{ mg L}^{-1}$  em J-427. Na saída do reservatório a média obtida em laboratório foi de  $0,87 \text{ mg L}^{-1}$ , considerando o mesmo período observado para medição por sensores.

Comparando o monitoramento por meio dos sensores eletrônicos com o monitoramento pelo método DPD. Os valores obtidos por meio do sensor correspondem a uma diferença entre 1% a 2,6% para mais em comparação com os valores obtidos por meio de DPD. O desvio padrão dos resultados obtidos com o sensor é menor que o desvio padrão dos resultados obtidos por meio de DPD, como pode ser observado na Tabela 1.

**Tabela 2 – Concentrações médias de cloro residual livre**

| Pontos | DPD                                    | Sensores                               | Diferença<br>(%) |
|--------|----------------------------------------|----------------------------------------|------------------|
|        | Concentração<br>( $\text{mg L}^{-1}$ ) | Concentração<br>( $\text{mg L}^{-1}$ ) |                  |
| J-425  | $0,83 \pm 0,017$                       | $0,82 \pm 0,001$                       | 1,0              |
| J-427  | $0,79 \pm 0,02$                        | $0,81 \pm 0,0062$                      | 2,6              |



## CONCLUSÃO

As concentrações de cloro residual livre medidas por meio de sensores de cloro com transmissão sem fio obtiveram diferença de medição de 1% para o ponto J-425 e 2,6% para o ponto J-427 em comparação com as medições efetuadas manualmente pelo método DPD.

A instalação de sensores de cloro residual livre, com transmissão sem fio é uma alternativa economicamente viável para controle de qualidade e água, considerando uma vida útil de um ano em uso contínuo, os sensores representam redução de custo aproximado de R\$ 5.000,00.

A automação permitiu verificar em tempo real e continuamente quais são as concentrações de cloro livre na água o que pode auxiliar na aferição de parâmetros da qualidade em locais de difícil acesso.

Assim, com o sistema de monitoramento automatizado e acesso remoto é possível disponibilizar a população estas informações por meio da internet, assegurando o direito ao acesso aos resultados das análises conforme o Decreto Presidencial 5440/2005.

## REFERÊNCIAS

- APHA. (2005). **Standard Methods for the Examination of water and Wastewater**. 20ª ed. United States of América. American Public Health Association.
- BERRY, J., CARR, R. D., HART, W. E., LEUNG, V. J., PHILLIPS, C. A., & WATSON, J. P. (2006). On the placement of imperfect sensors in municipal water networks. In Proc. World Water and Environment Resources Conference, Cincinnati, Ohio.
- BRASIL. (2017). Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5 , de outubro de 2017 .: Dispõe sobre os procedimentos de controle e fiscalização da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília,DF, out 2017.
- BRASIL. (2005). Decreto nº 5440, de maio de 2005.: Estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano. Brasília,DF, mai 2005.
- ITO, A. H.. (2016) Smart Sensor : uso de sensores de cloro com transmissão em redes sem fio no monitoramento da qualidade de água em sistema de distribuição. Maringá, 2016. 81 f.
- ROSSMAN, L. A. (2000). EPANET 2: User's Manual.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2011). Global status report on non communicable diseases 2010. Geneva: World Health Organization.