

SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA CIDADE DE CAMPINA GRANDE-PB

Amanda Raquel Bezerra de Lima ¹

Ariel Morais Junior ²

Sabrina Holanda Oliveira ³

Rui de Oliveira ⁴

Ruth Silveira do Nascimento ⁵

RESUMO

Em alguns municípios, a rede de abastecimento de água apresenta problemas operacionais que provocam a redução da qualidade da água oferecida e, conseqüentemente, uma maior vulnerabilidade da saúde por parte da população. Assim, o presente trabalho teve como objetivo utilizar o *software* Epanet 2.0 para simular o comportamento da concentração de cloro residual livre (CRL) presente na rede dos bairros Prata, São José e Centro do município de Campina Grande/PB, bem como, avaliar os riscos à saúde dos usuários através da aplicação dos Índices de Hashimoto (confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade). Verificou-se boa operação no bairro Prata. No bairro São José não houve atendimento da demanda mínima exigida de CRL, tornando a rede vulnerável e suscetível à falha. Para o bairro Centro, houve variações quanto à concentração de cloro residual livre, pois o mesmo é abastecido por mais de um reservatório que funcionam em sistemas de operação diferentes.

Palavras-chave: Epanet, Índices de Hashimoto, Qualidade da água, Sistema de abastecimento de água.

INTRODUÇÃO

É indispensável assegurar que a água para consumo humano seja um produto de qualidade e quantidade satisfatórias para suprir as necessidades humanas e para que não apresente riscos à saúde da população, visto que é presumível que a mesma tenha suas características alteradas desde a sua captação e saída do tratamento até a chegada aos consumidores. Desta forma, a garantia da qualidade da água para consumo humano, fornecida por um sistema de abastecimento público, constitui elemento essencial das políticas de saúde pública.

¹Graduando do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, amandarblima@hotmail.com;

² Graduando do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, arieljunior67@gmail.com;

³ Graduando do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, sabrina.holanda.oliveira@hotmail.com;

⁴ PhD em Engenharia Civil pela Leeds University, ruiideo@gmail.com;

⁵ Professor(a) orientador(a): Doutora em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, ruthsn@gmail.com.

A água fornecida à população urbana está em contínuo processo de degradação, decorrente do transporte e armazenamento da água tratada, através do sistema de abastecimento, que comporta uma grande diversidade de equipamentos e materiais em diversos estados de conservação, que não dependem somente de um processo de desgaste físico, mas também dos modos de operação e manutenção. Em todos os casos, no entanto, a degradação da qualidade da água representa grave risco à saúde e à segurança da população abastecida (ALVES, 2014; AL-JASSER, 2007; MUNAVALLI; KUMAR, 2004).

Assim, a gestão da qualidade da água tratada requer a construção de modelos capazes de prever sua degradação em diferentes cenários caracterizados por fatores diversos, entre os quais capacidade, constituição e idade das tubulações, bem como a qualidade da operação e manutenção (FISHER; KASTL; SATHASIVAN, 2012). É sabido que naturalmente, com o passar do tempo, os sistemas se deterioram dando origem a problemas operacionais, que provocam a diminuição da qualidade dos serviços prestados e o aumento dos riscos aos consumidores.

A fim de evitar que estes inconvenientes ocorram e para a realização de um planejamento mais eficiente, recorre-se para uma ferramenta bastante importante neste contexto que é a modelagem, haja vista que a partir da manipulação de dados e simulação de cenários, podem-se prever comportamentos futuros, representar eletronicamente situações reais e/ou cenários desejados para otimização de todo o sistema.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto de alterações estruturais e de gerenciamento sobre a qualidade da água nos bairros Prata, São José e Centro de Campina Grande - PB, com base na simulação do comportamento do cloro residual livre, utilizando-se do software EPANET 2.0, bem como, avaliar os riscos à saúde dos usuários, através da aplicação dos Índices de Hashimoto, visando um abastecimento seguro para a população de uma cidade de porte médio. Para o referido trabalho, verificou-se boa operação da rede no bairro Prata. No bairro São José não houve atendimento da demanda mínima exigida de CRL, tornando a rede suscetível à falha. Enquanto no Centro, houve variações quanto ao cloro residual livre, pois o mesmo é abastecido por mais de um reservatório que funcionam em sistemas diferentes.

O uso de modelos de simulação da qualidade da água mostrou-se eficiente, podendo contribuir significativamente para a melhoria da qualidade do serviço de abastecimento de água, apoiando as atividades de planejamento, operação e manutenção do sistema.

METODOLOGIA

A simulação do comportamento da qualidade da água foi desenvolvida no software EPANET 2.0, com malha construída a partir do traçado da rede do SAA de três bairros de Campina Grande - PB, sendo esses o Centro, Prata e São José, escolhidos por serem considerados críticos devido às frequentes intercorrências e maior envelhecimento da rede. Nos referidos bairros, o material predominante é o cimento amianto, tendo em vista que são os bairros mais antigos do sistema de abastecimento de Campina Grande (SACG). Com a finalidade de promover uma boa gestão da operação de distribuição de água, a companhia dividiu a rede em quatro zonas de pressão, conforme ilustrado na Figura 1. A zona que abrange os bairros estudados é a zona de pressão B, na qual é abastecida pelo reservatório R5, que redistribui para os reservatórios R2, R4 e R1.

Figura 1 – Representação das zonas de pressão da rede de distribuição de água de Campina Grande-PB.



Fonte: Adaptado de Meneses (2011)

Com o auxílio do software EPANET 2.0, desenvolvido pela United States Environmental Protection Agency (EPA), foram realizadas simulações dos aspectos de operação e qualidade da água. Foi construído um traçado da rede de distribuição de água dos três bairros citados, contendo reservatórios, válvulas, 425 nós e 572 trechos a partir da situação atual da rede, tendo como base a malha real disponível na planta de distribuição, em extensão

dwg do AutoCad, disponibilizada pelo Laboratório de Eficiência Energética e Conforto Ambiental da UEPB em parceria com Eletrobrás.

Todavia, para extrair do software dados como vazão das tubulações, pressão nos nós, nível de água dos reservatórios que abastecem o sistema, bem como simular todo o transporte e destino de água, o simulador exigiu a construção de curvas que descrevam o comportamento do consumo-base e dos níveis e volumes atribuídos aos reservatórios e nós, a construção da curva do perfil de consumo de cada reservatório contribuinte, a introdução de dados como diâmetro e comprimento das tubulações, cotas altimétricas dos nós e o levantamento da população abastecida.

Para avaliação do nível de água, utilizou-se o máximo mais frequente, com um período de 12 meses, entre os anos de 2013 e 2014, obtidos dos relatórios diários do Centro de Controle Operacional da CAGEPA (NASCIMENTO, 2016). A obtenção das cotas do terreno foram obtidas através da carta de curvas de nível do município de Campina Grande, em AutoCAD, e o levantamento da população feito com auxílio da ferramenta Street View do Google, obtidas a partir da razão entre os valores de vazão de entrada no sistema estudado e a soma das populações presentes na área de cada bairro, considerando a Norma Técnica da Sabesp NTS 181/2012.

Em seguida foram avaliados os Índices de Hashimoto chamados de Confiabilidade, Resiliência e Vulnerabilidade para o Cloro Residual Livre na rede.

A Confiabilidade (conf) mede a probabilidade de o sistema permanecer em estado satisfatório durante todo o horizonte de operação. A definição da situação estável se deu através dos valores limites estabelecidos para o cloro residual livre na rede sendo mínima e máxima de 0,2 e 2,0 mg/L respectivamente, conforme a Portaria de Consolidação nº 5/2017, sendo todos os valores encontrados dentro da faixa considerados satisfatórios e os demais insatisfatórios.

Dado que o sistema hídrico se encontra em falha (o atendimento diverge dos requisitos mínimos), é interessante saber por quanto tempo o sistema se comportará dessa maneira. Assim, a Resiliência (res) é a medida em escala de tempo da capacidade do sistema em retornar ao estado satisfatório, uma vez que a falha ocorre. Um sistema muito resiliente consegue voltar mais rapidamente ao estado normal de operação, enquanto que um sistema pouco resiliente se caracteriza por um evento prolongado e de recuperação lenta (PAIXÃO et al., 2003).

E, por fim, a Vulnerabilidade (vul) mede a magnitude das falhas a que o sistema está sujeito, caso ela tenha ocorrido (FARIAS, 2009). Com relação ao cloro residual livre, a

vulnerabilidade pode ser representada pelo afastamento da concentração obtida da faixa de conformidade.

DESENVOLVIMENTO

O controle da qualidade da água, exercido pela empresa responsável pela operação do sistema de distribuição de água, e a ação de vigilância, sob responsabilidade de órgãos da saúde pública, são essenciais para garantir a proteção à saúde dos consumidores (SANTOS, 2011). No Brasil, estas duas ações se baseiam apenas na análise de conformidade com os padrões de potabilidade dos resultados obtidos nas análises da qualidade da água fornecida, mas esta metodologia tem suas limitações, sendo necessária a introdução de outras técnicas de controle e vigilância, a exemplo de aplicação de metodologias de análise de risco em pontos críticos do sistema de abastecimento (VIEIRA e MORAIS, 2005).

A garantia da qualidade da água em quantidade e qualidade para consumo humano fornecida por um sistema de abastecimento público ou privado constitui elemento essencial das políticas de saúde pública. Nos últimos anos, há uma preocupação crescente, em nível mundial, no sentido de considerar que, além de atender aos padrões de potabilidade, os sistemas de abastecimento de água devem apresentar níveis de desempenho que mereçam a confiança dos consumidores (VIEIRA e MORAIS, 2005).

No Brasil, a operação de sistemas de abastecimento de água ainda atende à uma abordagem predominantemente empírica, ocorrendo também deficiências nas unidades do sistema, entre as quais capacidade, constituição e idade das instalações. Desta forma, as avaliações e tomadas de decisão do administrador contêm grau significativo de incerteza e propiciam a convivência permanente com inúmeros riscos (OLIVEIRA, 2013).

O cloro residual livre constitui o indicador mais importante de controle de qualidade na prática da cloração de águas de abastecimento, considerado um indicador sentinela porque sua concentração vai sendo diminuída, devido à reação com várias substâncias orgânicas e inorgânicas encontradas nas tubulações; conseqüentemente, se houver uma queda na concentração para abaixo do mínimo recomendado, 0,2 mgCl₂/L, a água pode ficar desprotegida e, com isso, sofrer uma nova contaminação, colocando em risco a saúde da população.

A Portaria MS 2914/2011 recomenda que, após a desinfecção, a água deve conter um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mgCl₂/L, sendo obrigatória a manutenção de, no

mínimo, 0,2 mgCl₂/L, em qualquer ponto da rede de distribuição, recomendando-se que a cloração seja realizada em pH inferior a 8,0 e tempo de contato mínimo de 30 minutos (BRASIL, 2011).

Neste contexto, ferramentas computacionais são usadas para traçar cenários futuros do comportamento da qualidade da água no sistema de abastecimento, servindo de base para a elaboração de modelos de gerenciamento; as projeções são baseadas em equações matemáticas que reproduzem e simulam o comportamento da qualidade da água e podem ser capazes de prever o que acontecerá com os indicadores dessa qualidade em vários pontos do sistema.

O *National Risk Management Research Laboratory*, um dos laboratórios da USEPA (United States Environmental Protection Agency) é o responsável por desenvolver informações científicas e de engenharia necessárias à EPA para apoio à decisão no âmbito de regulamentos e de políticas. O EPANET foi desenvolvido por esse laboratório e se tornou o programa de modelagem hidráulica e de qualidade de água mais empregado no mundo, devido à sua facilidade de uso e por ser um programa disponibilizado gratuitamente (ROSSMAN, 2008).

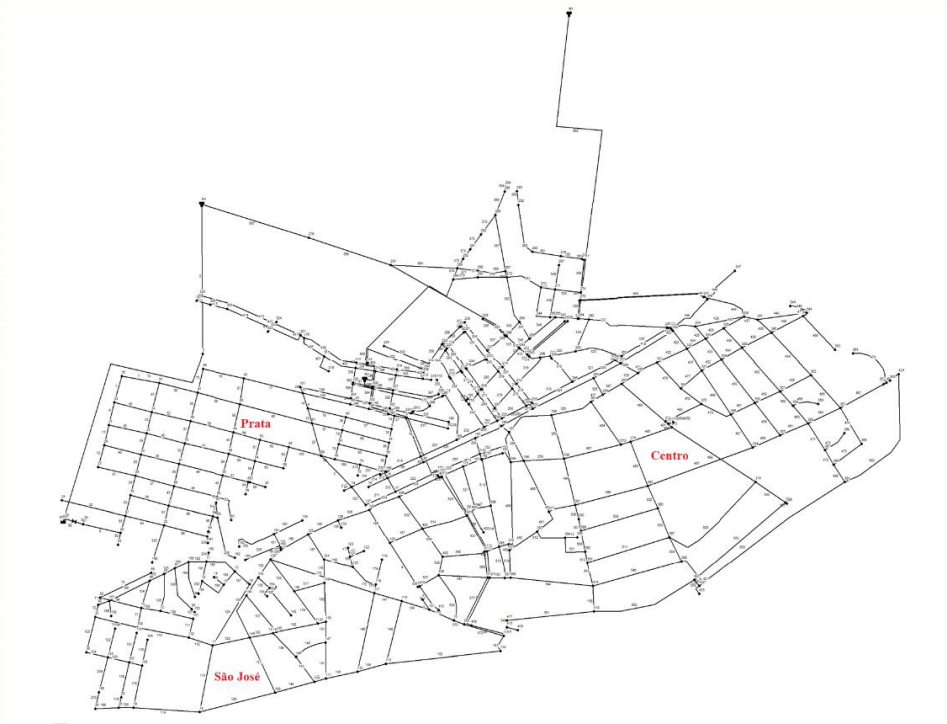
O EPANET é um modelo automatizado de simulação que permite simular o comportamento hidráulico e de qualidade da água de um sistema de distribuição sujeito a diversas condições operacionais, durante um determinado período de funcionamento (MENESES, 2011).

A rede de distribuição da cidade de Campina Grande, objeto deste estudo, foi analisada por Meneses (2011), que fez um levantamento minucioso de informações operacionais e dados cadastrais de todo o sistema da cidade de Campina Grande e fez a modelagem computacional, através do software EPANET, a fim de auxiliar no processo de gestão da operação. O SAACG também foi objeto de estudo de Leal (2012), que modelou a variação do cloro residual livre no sistema adutor de água tratada, utilizando o software EPANET 2.0 como ferramenta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o auxílio do software EPANET, foram construídos (Figura 2) 572 trechos que representam as tubulações da rede de abastecimento e 425 nós que equivalem às ligações entre os trechos e auxiliarão na condução do percurso da água.

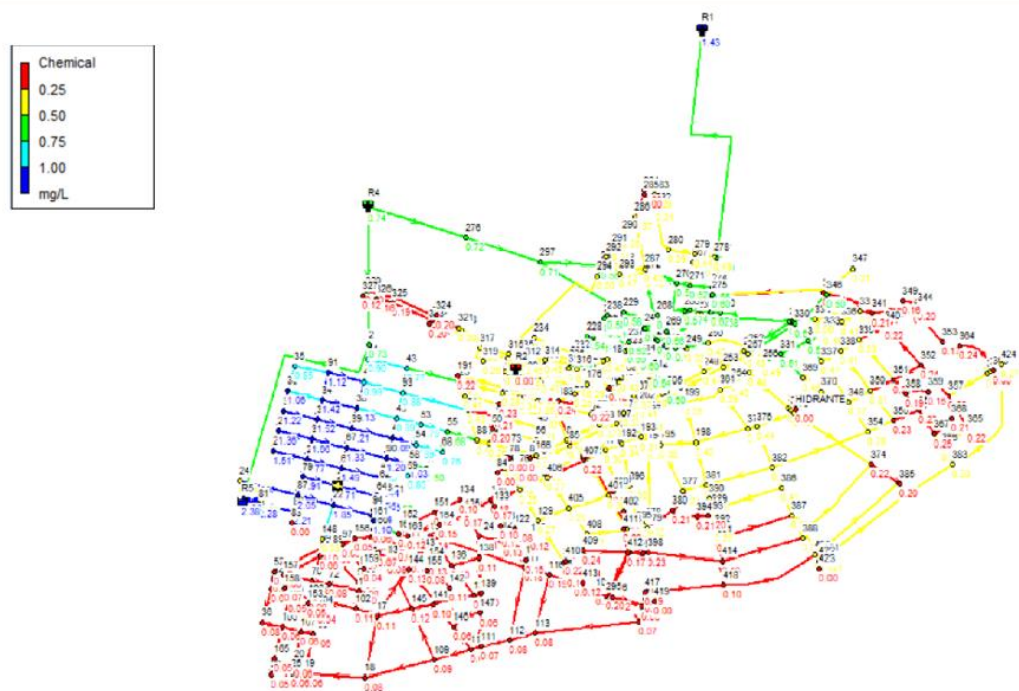
Figura 2 – Esquema da rede de distribuição simulada no EPANET.



Fonte: Elaborado pelo autor

Depois da introdução de todos os dados necessários no programa, obteve-se uma simulação bem sucedida com tempo de duração total de 168 horas.

Figura 3 – Rede de distribuição em simulação.



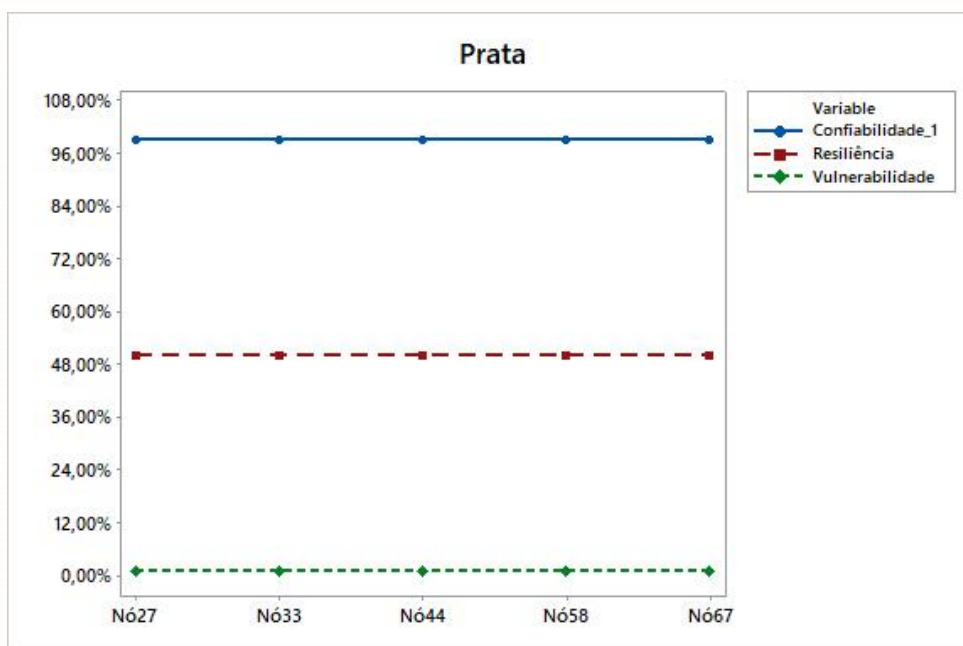
Fonte: Elaborado pelo autor

Foi observado que todos os nós da rede de distribuição no bairro da Prata apresentaram concentrações de cloro residual livre (CRL) de acordo com a Portaria 2914/2011, durante todo o período de simulação, possivelmente devido a sua proximidade com o respectivo reservatório que o abastece. Diferentemente do bairro anterior, todos os nós do bairro São José apresentaram, durante todo o período da simulação, concentração de CRL abaixo do padrão mínimo de potabilidade de 0,2 mgCl₂/L, possivelmente devido a rotina de operação, em batelada e a precária manutenção do reservatório que abastece o bairro, pois não há rotina de limpeza e reparos; o armazenamento de sedimentos que intensifica a redução do CRL e a inatividade da água ao longo da rede. Para o bairro Centro, durante todo o período de simulação, alguns nós apresentaram concentração de CRL abaixo do padrão mínimo exigido, enquanto que em outros nós os valores de concentração do CRL estavam dentro da faixa permitida de potabilidade.

Para a apresentação dos dados na simulação, fez-se necessária a escolha de pontos estratégicos em cada bairro estudado para caracterizar o comportamento de CRL na rede, estes pontos foram selecionados de acordo com sua distribuição no mapa, bem como por representarem áreas com grande circulação de pessoas.

Por meio da aplicação dos indicadores de Confiabilidade, Resiliência e Vulnerabilidade, analisou-se os gráficos para cada bairro em relação ao CRL em toda a rede de abastecimento. As Figuras a seguir ilustram o comportamento desses gráficos.

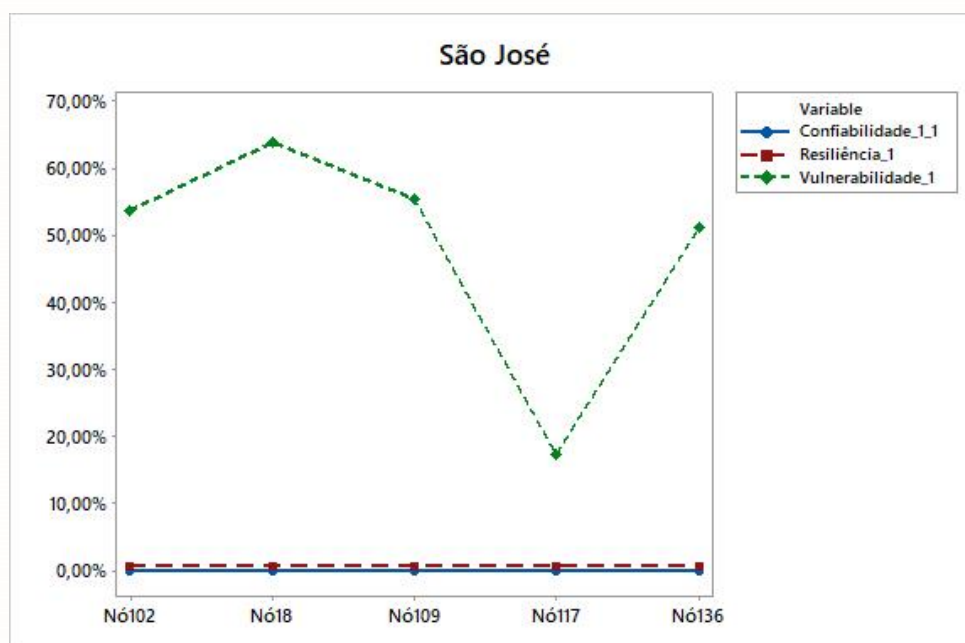
Figura 4 – Índices de Hashimoto para o bairro Prata



Fonte: Elaborado pelo autor

Pôde ser observado que o bairro da Prata apresentou elevadas confiabilidade e resiliência, acrescidas de uma vulnerabilidade mínima, o que indica uma boa operação na rede desse bairro, pois os níveis de cloro estão dentro dos padrões estabelecidos, e em caso de falhas no sistema ele consegue voltar ao regime normal de operação rapidamente sem interrupção prolongada.

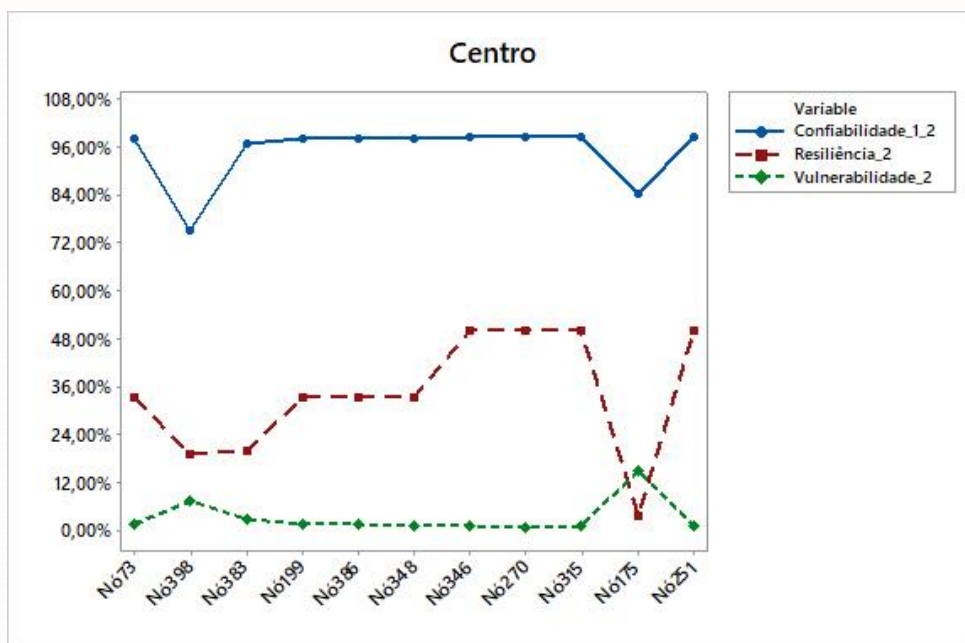
Figura 5 – Índices de Hashimoto para o bairro São José



Fonte: Elaborado pelo autor

Para o bairro São José, observou-se que o mesmo possui uma baixa qualidade de água em relação aos outros bairros, implicando em baixos níveis de confiabilidade e resiliência, e consequentemente alta vulnerabilidade. O que indica que a concentração de CRL na rede não atende à demanda mínima exigida, tornando a rede suscetível a falhas.

Figura 6 – Índices de Hashimoto para o bairro Centro



Fonte: Elaborado pelo autor

Como discutido anteriormente, pôde ser observado uma variação nos valores da concentração do cloro residual livre em toda a rede do bairro Centro. Em decorrência disso, tais variações conferem uma variação nos valores de confiabilidade e resiliência. Para a resiliência todos os pontos demonstraram que o sistema possui lenta recuperação, fato que ocorre, pois, o bairro em questão é abastecido por mais de um reservatório, na qual possuem regimes de operações particulares, um deles funcionando em regime de batelada, o que implica em um fornecimento hídrico descontínuo do sistema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle e a vigilância da qualidade da água são baseados em ações para garantir o acesso do consumidor à água segura, sendo o padrão de potabilidade o elemento referencial utilizado para isto. No entanto, este padrão é constituído por um conjunto muito grande de indicadores. Um deles é o CRL, que reveste-se de importância fundamental, tanto nas ações de controle quanto de vigilância, por ser capaz de, em princípio, garantir a segurança da água até o ponto de consumo, devido à sua capacidade desinfetante residual.

Portanto, pensando em garantir uma melhor reflexão sobre a deterioração da qualidade da água potável de Campina Grande, foi feito um alerta às autoridades acerca dos resultados da pesquisa. O uso de modelos de simulação da qualidade da água mostraram-se eficientes, podendo contribuir significativamente para a melhoria da qualidade do serviço de abastecimento de água, apoiando as atividades de planejamento, operação e manutenção do sistema, cabendo às autoridades utilizar-se dos resultados como meio para realizar melhorias no aspecto de controle e vigilância da qualidade da água, garantindo o acesso do consumidor à água segura.

REFERÊNCIAS

ALVES, L. S. **Análise da degradação da qualidade da água de abastecimento distribuída por rede antiga de cimento amianto.** 2014. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

AL - JASSER, A. O. Chlorine decay in drinking-water transmission and distribution systems: Pipe service age effect. **Water Research**, v. 41, n. 2, p. 387–396, 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do ministro. **Portaria de consolidação Nº5, de 28 de setembro de 2017.** Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União.** Brasília, DF. 14 dez. 2011.

EPA. Agency Environmental Protection. **Water treatment manuals - coagulation, flocculation, clarification & filtration.** Irlanda: EPA, 2002.

FARIAS, Emmanuel. **Distribuição da água do projeto de integração do rio São Francisco no estado da paraíba - eixo leste: análise de perdas.** 142 f. Dissertação (Mestrado) - Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, 2009.

FISHER, I.; KASTL, G.; SATHASIVAN, A. A suitable model of combined effects of temperature and initial condition on chlorine bulk decay in water distribution systems. **Water**

Research, v. 46, n. 10, p.3293-3303, 2012.

LEAL, E. S. **Modelagem da degradação de cloro residual livre em sistemas de adução de água de abastecimento de porte médio**. 2012. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

MENESES, R. A. **Diagnóstico operacional de sistemas de abastecimento de água: o caso de Campina Grande**. 2011. 161 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

MUNAVALLI, G.R.; KUMAR M. M.S. Dynamic simulation of multicomponent reaction transport in water distribution systems. **Water Research**, v. 38, p. 1971-1988, 2004.

NASCIMENTO, R.S. **Modelo conceitual para a gestão da qualidade da água em sistemas de abastecimento de médio porte**. 2016. 192. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2016.

OLIVEIRA, R. **Distribuição Espacial de Bactérias Facultativas Heterotróficas no Sistema de Distribuição de Água de Campina Grande (PB)**. Programa de Pesquisa para o Sistema Único de Saúde – FAPESQ/CNPq/MS. Relatório Final, 2013.

PAIXÃO, M. P.; STUDART, T. M.C.; CAMPOS, J. N. B.; CARVALHO, R. M. **Aplicação de indicadores de performance na avaliação de sistemas hídricos: um estudo de caso**. Disponível em:
<https://www.researchgate.net/profile/Jose_Nilson_Campos/publication/267713916_APLICACAO_DE_INDICADORES_DE_PERFORMANCE_NA_AVALIACAO_DE_SISTEMAS_HIDRICOS_UM_ESTUDO_DE_CASO/links/5575797108aeb6d8c0195f61/APLICACAO-DE-INDICADORES-DE-PERFORMANCE-NA-AVALIACAO-DE-SISTEMAS-HIDRICOS-UM-ESTUDO-DE-CASO.pdf>. Acesso em: 02 Ago. 2019.

ROSSMAN, L. A. **EPANET 2.00. 12. user's manual**: U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio: 2008.

SABESP. **NTS 181: Dimensionamento do ramal predial de água, cavalete e hidrômetro – Primeira ligação**. São Paulo. 2012.

SANTOS, S. G. **Distribuição espacial de bactérias heterotróficas na rede de distribuição de água de Campina Grande – PB**. 2011. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

VIEIRA, J. M. P, MORAIS, C. **Planos de Segurança em Sistemas Públicos de Abastecimento de Água para Consumo Humano – Série Guias Técnicos**, Portugal - Universidade do Minho, 2005.