



AVALIAÇÃO DE RISCOS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE FORMOSA-GO PARA IMPLANTAÇÃO DO PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA - PSA

Lorrana Luiza de Oliveira⁽¹⁾

Técnica em Controle Ambiental e graduanda em Engenharia Civil pelo Instituto Federal de Goiás.

Nolan Ribeiro Bezerra Teixeira

Graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Tocantins, mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília e doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa.

Endereço⁽¹⁾: Rua 9 A esq. via 11– Setor Sul - Formosa - Goiás - CEP: 73802-404 - Brasil - Tel: +55 (61) 996797930 - e-mail: lorranaluzah@gmail.com.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo compor uma das etapas do Plano de Segurança de água (PSA) na rede de distribuição de água do município de Formosa-GO, busca identificar os perigos e seus respectivos riscos à saúde. O levantamento das informações relacionadas as variáveis física, hidráulica e de qualidade da água, foram coletadas em campo por meio de inspeção *in loco* e relato da equipe de operadores de rede, bem com os dados secundários disponíveis nos projetos de abastecimento, relatórios técnicos e série histórica do monitoramento da qualidade da água. A realização da simulação das pressões na rede de distribuição foram geradas no programa EPANET 2.0 e a avaliação do risco foi determinada pelo uso da metodologia de matriz de priorização de risco da norma NBR ISO/IEC 31010:2012 preconizado no PSA. Os principais riscos encontrados nos reservatórios foram estado de conservação insatisfatório devido a rachaduras e vazamentos, ausência de monitoramento da qualidade da água na saída e inexistência de controle de acesso de pessoas e animais. Nas tubulações da rede de distribuição foram encontrados 20 eventos perigosos, a recontaminação e pressão elevada apresentaram maiores níveis de risco. Para minimizar os possíveis riscos, foram propostas as medidas de controle.

Palavras-chave: Rede de distribuição de água, Modelo de Simulação Hidráulica – EPANET, Plano de Segurança da Água - PSA.



INTRODUÇÃO/OBJETIVOS

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), água segura é aquela que não representa qualquer risco significativo para a saúde se consumida durante toda a vida, mesmo levando em conta diferentes suscetibilidades que podem ocorrer entre os estágios de vida (WHO, 2006). A segurança da qualidade da água para abastecimento público não deve ser baseada apenas na análise laboratorial de amostras coletadas em pontos na rede de distribuição em número, localização e atendimento ao valor máximo permitido, dessa forma a Portaria de Potabilidade da Água MS 2914:2011 inovou ao explicitar a necessidade de manter avaliação sistemática do sistema de abastecimento de água, sob a perspectiva dos riscos à saúde, desde a captação até a casa do consumidor, tendo em vista que o controle da qualidade do produto final não é garantia de água segura. No entanto, como ressaltado por Bastos *et al.* (2007a), isso não se apresenta sistematizado o suficiente na mencionada Portaria, de forma que possa ser traduzido em uma ferramenta metodológica de pronta utilização pelos responsáveis pelos serviços de abastecimento de água. Para suprir essa necessidade a OMS publicou guias para a implantação de Planos de Segurança da Água. O PSA têm como objetivo identificar os perigos e caracterizar os riscos em sistema de abastecimento de água para consumo humano, do manancial à distribuição de água, visando a estabelecer medidas de controle para eliminá-los ou reduzi-los para níveis aceitáveis (WHO, 2011).

Este trabalho busca aplicar a “Matriz de Priorização Semiquantitativa de Riscos” (NBR ISO/IEC 31010:2012) preconizada no guia do PSA atribui valores numéricos as probabilidades e consequências, de forma que seu cruzamento resulte em um valor numérico que caracteriza o grau de risco. Será utilizado o Modelo de Simulação Computacional de Hidráulica (EPANET) para geração de pressões na rede esse programa de computador permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico em redes pressurizadas concebido para ser uma ferramenta de apoio a análise de sistemas de distribuição (ROSSMAN, 2010). A rede de distribuição é a última etapa de todo o sistema de abastecimento sendo uma unidade extremamente vulnerável cuja gestão exige conhecimento dos problemas e identificação pois mesmo que o manancial esteja protegido e a etapa de tratamento seja eficiente a rede de distribuição apresentando falhas e nível de segurança inadequado torna-se propícia a contaminação.

Dessa forma, o estudo compõe uma das etapas do PSA que se encontra em implantação no município de Formosa-GO encaixando-se em um de seus objetivos específicos que seria “prevenir a (re)contaminação no sistema de distribuição da água que vai desde os reservatórios até a rede de distribuição” (WHO, 2011).

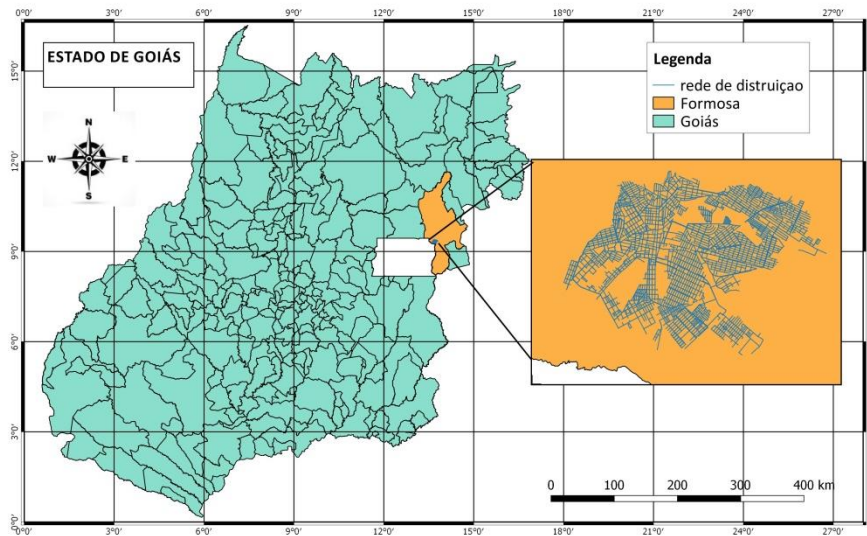


MATERIAL E MÉTODOS

- **Área de estudo**

A rede de distribuição de água da área urbana no município de Formosa-GO conta com aproximadamente 365 km de extensão. O traçado da rede é apresentado na Figura 1:

Figura 1. Localização da rede de abastecimento do município de Formosa, GO, Brasil, 2018.



Fonte: Autor (Q-GIS, 2.8.4)

Conforme relatado pela companhia de abastecimento da regional todo o município é abastecido por rede de distribuição, aproximadamente 70% da cidade é abastecida pela água captada da bacia hidrográfica denominada de Córrego Bandeirinha sendo o restante abastecido por poços tubulares profundos que compõem os sistemas independentes.

O Sistema de Abastecimento de Água (SAA) é composto pela estação de tratamento de água de ciclo completo (convencional) com vazão de 220 L/s e sistema de filtração direta ascendente (filtro russo) com vazão total de 100 L/s juntas são interligadas em um reservatório principal totalizando 320 L/s. O SAA é composto ainda por 4 (quatro) sistemas independentes de poços tubulares profundos que utilizam a tecnologia Hidrogerox para o tratamento da água, o sistema Bela Vista capta água de 1 poço, o sistema Jardim Planalto de 1 poço, o sistema Parque da Colina de 2 poços e o Vila Verde capta água de 1 poço, os quatro sistemas juntos produzem em média uma vazão de 74 L/s.

O município possui atualmente 60 (sessenta) bairros, a rede possui 36.726 ligações de água e o volume de água total produzida por mês é de 151.724 L/s conforme registrado no Boletim Informativo da Companhia de abastecimento no mês de agosto de 2017.



- **Material e método**

O desenvolvimento do trabalho levou em consideração as 6 (seis) etapas descritas a seguir. Na Etapa 1 foram levantados os dados secundários dos anos de 2014, 2015 e 2016 disponibilizados pela SANEAGO, tais como projetos da rede de abastecimento, relação da infraestrutura física do sistema de distribuição, cadastro técnico, relatórios de monitoramento de qualidade e lavagem de reservatórios, relatórios de dados de qualidade da água da rede de distribuição, relatórios de serviços executados na rede de distribuição, relatórios de vazamentos e rupturas de tubulações. Os dados primários foram realizados por meio de entrevistas aos operadores da rede de distribuição e inspeção *in loco*. A partir dos dados levantados foi realizada a descrição da rede de distribuição.

Na Etapa 2 foi realizada a simulação hidráulica da água na rede de distribuição por meio do EPANET, versão 2.0. O EPANET é um *software*, de domínio público, desenvolvido pela *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA). Este software foi utilizado para detecção de áreas com pressões altas, baixas ou negativas, indicadores eficazes de locais com alta probabilidade de contaminação. A NBR 12218:94 da ABNT estabelece como critério de projeto pressões entre 10 mca (pressão dinâmica mínima) e 50 mca (pressão estática máxima) em toda rede de distribuição, pressões acima do permitido colaboram para rompimentos das tubulações e comprometem as regiões de emenda das interligações principalmente no caso de redes que possuem idade acima do recomendado. Em contrapartida, pressões negativas ou abaixo do recomendado favorecem infiltrações e contaminação da água. Para verificar a consistência dos dados obtidos na simulação com os valores reais foi realizada a calibração do modelo que se baseia em verificar as pressões em campo com o valor obtido no programa. Posteriormente, foi realizada a determinação da caracterização dos riscos na fase seguinte.

Na Etapa 3 os dados de qualidade da água foram sistematizados e analisados por meio do uso de estatísticas descritiva o que permitiu a realização da avaliação de risco (Etapa 5). Essas informações foram sistematizadas através de uma estatística descritiva e a análise realizada a partir dos limites críticos prescritos na Portaria de potabilidade de água para consumo humano.

Na etapa seguinte foi realizada a identificação dos eventos perigosos na rede de distribuição considerando as seguintes variáveis: física, hidráulica e de qualidade da água, por meio do uso de *check list* (lista de verificação). Para a variável física foi utilizado dados relacionados as características físicas e construtivas das redes (idade da tubulação, material da tubulação, comprimento da tubulação e diâmetro da tubulação), para a variável hidráulica foi analisado os dados de vazamentos, rupturas, perdas de água e pressão e para a variável de qualidade da água foi investigado o histórico do monitoramento dos parâmetros de qualidade da água, conforme exigência prevista na Portaria MS nº 2914:2011.



Na Etapa 5 a avaliação dos riscos foi realizada utilizando a “Matriz de Priorização Semiquantitativa de Riscos” (NBR ISO/IEC 31010:2012) preconizado nos princípios e métodos do PSA. Na técnica semiquantitativa são atribuídos valores numéricos aos descritores de ocorrência e severidade de forma que seu cruzamento resulte um produto numérico, conforme exemplo mostrado na figura 2.

Figura 2. Matriz Semiquantitativa de Priorização de Risco.

Ocorrência		Severidade				
		1	2	4	8	16
		Insignificante	Baixa	Moderada	Elevada	Catastrófica
5	Quase Certo (diária a semanalmente)	Baixo (5)	Moderado (10)	Alto (20)	Alto (40)	Extremo Plano de Emergência
4	Muito Provável (quinzenal a mensal)	Baixo (4)	Moderado (8)	Alto (16)	Alto (32)	Extremo Plano de Emergência
3	Provável (semestral a anual)	Baixo (3)	Moderado (6)	Moderado (12)	Alto (24)	Extremo Plano de Emergência
2	Pouco Provável (acima de um ano até 5 anos)	Baixo (2)	Baixo (4)	Moderado (8)	Alto (16)	Extremo Plano de Emergência
1	Raro (Acima de 5 anos)	Baixo (1)	Baixo (2)	Baixo (4)	Moderado (8)	Extremo Plano de Emergência

Legenda:

Nível	Descritor	Significado da Severidade
1	Insignificante	Sem impacto detectável
2	Baixo	Pequeno impacto sobre a qualidade estética / organoléptica da água e, ou baixo risco à saúde que pode ser minimizado em etapa seguinte
3	Moderado	Elevado impacto estético e, ou com potencial risco à saúde que pode ser minimizado em etapa seguinte do sistema de abastecimento
4	Elevado	Potencial impacto à saúde que não pode ser minimizado em etapa seguinte do sistema de abastecimento, necessitando de realização de monitoramento operacional e medidas de controle
5	Catastrófica	Risco elevado à saúde com interrupção do fornecimento de água

Análise do Risco:

Risco Baixo ≤ 5: risco baixo, tolerável, sendo controlável por meio de procedimentos de rotina.

Risco Moderado 6 a 12: risco moderado, necessidade de atenção.

Risco Alto 16 a 40: risco alto e não tolerável, necessidade de adoção de medidas de controle.

Risco Extremo: risco não tolerável, necessidade de adoção imediata de plano de emergência.

Fonte: (CHAGAS; TEIXEIRA, 2016). Adaptado de ISO 31000 (2009)

Para cada risco identificado foi descrita a base e fundamento e proposto as medidas de controle, bem como a proposição de realização de monitoramento operacional e estabelecimento de medidas corretivas (Etapa 6).



RESULTADOS/DISCUSSÃO

A rede de abastecimento é ramificada, típico de cidades com elevado crescimento populacional e com ausência de planejamento urbano. Em relação ao diâmetro, as tubulações de 50 mm prevalecem na rede secundária em todos os bairros, tubulações acima de 150 mm constituem a rede principal, essas levam água para bairros mais distantes e distribuem nas de diâmetro menor. A rede possui um total de 17 reservatórios incluindo os reservatórios das ETA's, sendo 1 apoiado, 10 elevados e 6 semienterrados a relação de capacidade de armazenamento é apresentado na Tabela 1, os reservatórios recebem a denominação R-, de R-01 a R-17.

Tabela 1: Dados dos reservatórios de água do sistema de distribuição do município de Formosa-GO, 2016

Denominação	Capacidade (m ³)	Fonte de tratamento ⁽¹⁾	Finalidade
R-01	400	ETA	Distribuição
R-02	485	ETA	Transição
R-03	610	ETA	Transição ⁽²⁾
R-04	1500	ETA	Transição
R-05	1500	ETA	Transição
R-06	1500	ETA	Distribuição
R-07	70	ETA	Distribuição
R-08	200	ETA	Lavagem de filtro
R-09	50	Sistema	Transição
R-10	50	Sistema	Distribuição
R-11	200	Sistema	Distribuição
R-12	50	Sistema	Transição
R-13	50	Sistema	Distribuição
R-14	70	ETA	Distribuição
R-15	30	ETA	Transição
R-16	70	ETA	Distribuição
R-17	50	Sistema	Distribuição

NOTAS: ⁽¹⁾ Diz respeito ao tipo de tratamento, se foi tratada nas ETA's ou nos sistemas Hidrogerox. ⁽²⁾ O reservatório não possui ligação direta com a rede de distribuição é interligado com outro reservatório.

O reservatório principal de todo o sistema é o R-04 alimentado diretamente pela ETA e Filtros Russos, esse reservatório é o responsável pela distribuição da água nos demais reservatórios. As regiões de abastecimento de cada reservatório destinados a distribuição são denominadas áreas de influência ou setores de abastecimento, o município é dividido em 8 áreas de influência, sendo a maior a área 02 abastecida diretamente pelo reservatório R-05 que funciona como reservatório principal e setorial pois além da função de distribuição ele alimenta os reservatórios R-07 e R-06 como mostra a Tabela 2. O R-05 é o maior reservatório com função de distribuição, é responsável pelo abastecimento de mais de 50% do município em sua maioria zonas altas mas também abastece áreas muito baixas o que acarreta pressões elevadas nesses setores. A Figura 3 representa o sistema de distribuição em esquema e ilustra a tabela 2.

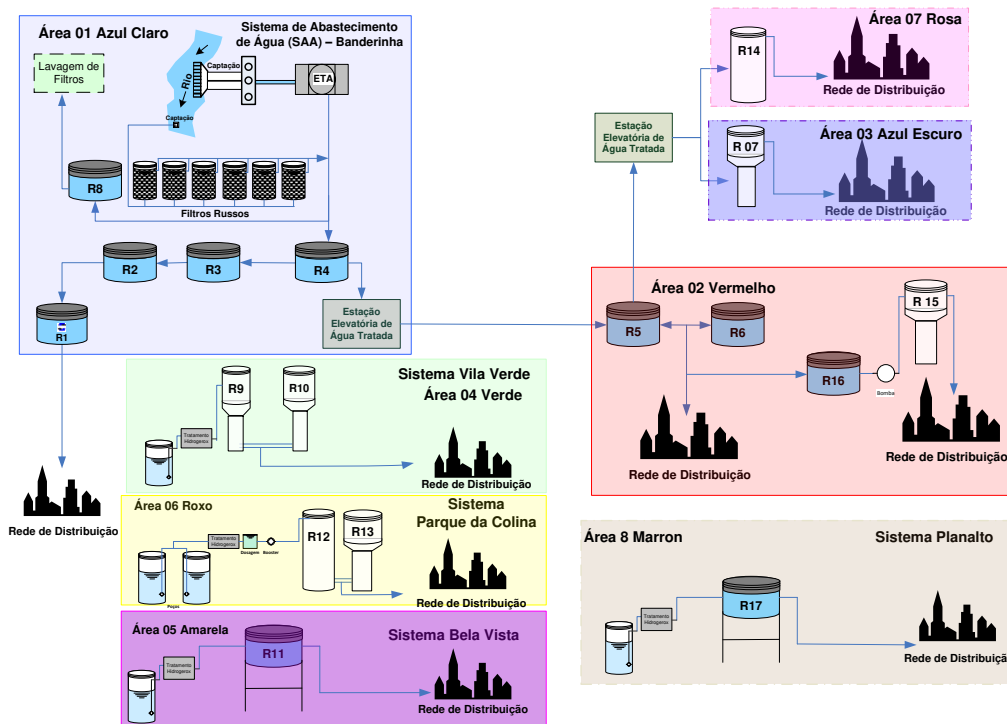


Tabela 2: Designações das áreas de influência e os respectivos reservatórios contribuintes

Área de influência	Reservatórios contribuintes
Área 01	R-01*, R-02, R-03 e R-04
Área 02	R-04, R-05*, R-06
Área 03	R-04, R-05, R-06 e R-07*
Área 04	R9* e R10*
Área 05	R11*
Área 06	R12* e R13*
Área 07	R14*
Área 08	R17*

NOTAS: * São os reservatórios setoriais, esses são ligados diretamente a rede de distribuição da área afim.

Figura 3: Área de influência dos reservatórios.



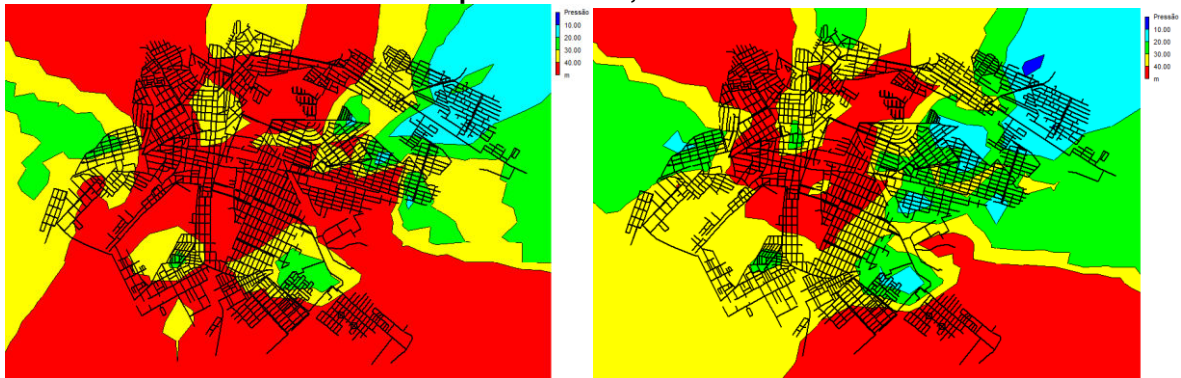
Fonte: Autoras

A variável pressão na rede de distribuição exerce um importante papel na identificação de áreas susceptíveis a riscos. O mapa de pressão gerado é apresentado na figura abaixo.

A simulação realizada mostrou que pressões elevadas são predominante em toda a rede. O bairro São Francisco de Assis localizado na região mais baixa do município e pertencente a maior área de influência R-05, foi o bairro que apresentou valores mais altos de pressões com máxima de 122 mca as 03:00 h. Às 16:00 h a pressão medida em campo foi de 100 mca e o simulado de 102 mca.



Figura 4: Mapa de pressões na rede de distribuição do município de Formosa-GO às 03:00 h e 11:00 h respectivamente, 2017.



Por meio do levantamento das informações relacionadas as variáveis física, hidráulica e de qualidade foi possível identificar a ausência ou presença dos eventos perigosos e caracterizar quanto ao seu grau de risco. As Tabelas 3 e 4 representam a caracterização dos riscos nos reservatórios e rede de distribuição de Formosa-GO, respectivamente, por meio da aplicação da Matriz de Priorização Semiquantitativa de Risco.

Tabela 3: Caracterização dos riscos à saúde nos reservatórios, 2017

	Eventos perigosos constatados nos reservatórios e os níveis de riscos à saúde											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R-01	Alto		Alto	Moderado		Alto		Alto				Moderado
R-02	Alto		Alto	Moderado		Alto		Alto				
R-03	Alto			Moderado								
R-04												
R-05						Moderado						
R-06				Alto				Moderado				
R-07												Moderado
R-09	Alto		Alto				Alto					
R-10			Alto				Alto					
R-11	Alto		Alto	Moderado		Moderado	Alto			Moderado		
R-12			Alto	Moderado			Alto					
R-13			Alto	Moderado								
R-14			Alto	Moderado			Alto					Alto
R-15			Alto	Moderado								Alto
R-16			Alto	Moderado								Alto
R-17			Alto	Moderado			Alto					

Eventos perigosos nos reservatórios:

1. Estado de conservação dos reservatórios insatisfatório
2. Inexistência de cerca
3. Inexistência de controle de acesso de pessoas e animais
4. Acúmulo de sedimentos
5. Ausência de monitoramento do nível de água nos reservatórios
6. Contaminação por entrada de água externa
7. Dificuldade em manter-se o residual de cloro
8. Deterioração da qualidade da água reservada
9. Insuficiência de reserva para atender as variações horárias de consumo
10. Operações de limpeza e manutenção ineficientes
11. Ausência de monitoramento da qualidade da água na saída do reservatório
12. Ausência de monitoramento de macromedida na saída do reservatório.

Legenda: ■ Baixo (1 a 5) ■ Moderado (6 a 12) ■ Alto (16 a 40) ■ Alto Extremo

Fonte: Autoras



Observou-se a presença de trincas e rachaduras nos reservatórios semienterrados R-01, R-02, R-03 e R-04, nos relatórios de Registro de Manutenção de Reservatório e Monitoramento Sistematizado, consta pedaços de concreto no fundo devido ao teto que está se soltando. Nos reservatórios R-01 e R-02 foram detectadas presença de pombas em cima do reservatório e em sua proximidade ficando propícios a contaminação tendo em vista que não estão em bom estado de conservação. O R-09 e R-11 apresentaram vazamentos na base, esses são menos susceptíveis a riscos de alteração de qualidade devido ao seu tipo elevado. Verificou-se a inexistência de controle de acesso de pessoas e animais na maioria dos reservatórios, apesar de todos possuírem cercamento algumas cercas foram abertas por vândalos.

Em relação a rede de distribuição os eventos perigosos e sua caracterização são listados na tabela abaixo.

Tabela 4: Eventos perigosos e caracterização dos riscos na rede de distribuição

Eventos perigosos na rede de distribuição Variáveis	Caracterização dos riscos		
	O*	S**	Risco
Física			
Tubulação de PVC com idade acima de 20 anos	5	2	(10) moderado
Tubulação de cimento amianto com idade acima de 20 anos	5	4	(20) Alto
Tubulação de ferro dúctil tem idade acima de 35 anos	5	2	(10) Moderado
Ruptura de tubulação	5	4	(20) Alto
Comprimento da tubulação acima de 240 metros	5	2	(10) Moderado
Diâmetro da tubulação é abaixo de 125 mm	5	2	(10) Moderado
Recontaminação	5	8	(40) Alto
Inexistência de desinfecção após realizar serviços de reparos.	5	4	(20) Alto
Formação de Biofilme	5	4	(20) Alto
Precário estado de conservação da tubulação	5	2	(10) Moderado
Hidráulica			
Pressão acima valor recomendado	5	8	(40) Alto
Existência de vazamentos acima de 3 ou mais	5	4	(20) Alto
Índice de Perdas (IP) é acima de 27%	5	4	(20) Alto
Situações em que as tubulações ficam vazias ou despressurizadas	5	2	(10) Moderado
Qualidade da Água			
Cloro residual livre acima do limite permitido	5	2	(10) Moderado
Bactérias heterotróficas acima do limite permitido	5	4	(20) Alto
Coliformes Totais acima do limite permitido	5	2	(10) Moderado
Escherichia coli acima do limite permitido	5	2	(10) Moderado
Substâncias organolépticas acima do limite permitido	5	2	(10) Moderado
Substâncias químicas acima do limite permitido	5	4	(20) Alto

Notas: * O: Ocorrência ** S: Severidade

Fonte: Autoras

Em relação as variáveis físicas, a respeito da idade das tubulações constatou-se que são poucas que possuem idade acima de 20 anos e a presença delas é mais comum nos bairros mais antigos do município, como Centro, Formosinha, Setor Primavera, São Vicente e Setor Ferroviário que



possuem redes de cimento amianto com idade superior a 20 anos e de ferro fundido acima de 35 anos. O envelhecimento do material ocasiona falhas e rupturas além de apresentarem maiores incrustações que favorecem o decaimento do teor de cloro residual. As idades que as tubulações de diferentes materiais começam a apresentar falhas estipuladas na tabela 4 foram determinadas a partir de estudos de Herz and Lipkow (2002) e adaptadas por MORENO (2009).

Quanto ao procedimento de limpeza e reabilitação das tubulações verificou-se desconhecimento da importância dos procedimentos para manutenção da qualidade da água. Segundo Tsutiya (2006) mesmo em águas bem tratadas, podem ocorrer depósito de materiais, necessitando de limpeza periódica do sistema de distribuição de distribuição. Segundo relatório disponibilizado pela Companhia tem-se registrado aproximadamente 10 descargas em rede no período (2014-2016), operadores relataram que não executam o procedimento de descarga para todos os serviços de manutenção como extensões ou reparos e não foi possível a verificação da quantidade em função do tipo de serviço executado, observou-se que nem sempre que fazem o procedimento anotam nos registro de atendimento para lançamento no sistema de informação. Os coliformes também podem ser indicadores de biofilme, apontando quando a rede precisa de limpeza. Cepas de bactérias coliformes total podem colonizar as superfícies dentro do sistema e tomar parte da composição do biofilme (STEVENS *et al*, 2003 e LeCHEVALLIER, 1990).

Quanto aos eventos perigosos da variável hidráulica, verificou-se algumas pressões abaixo de 10 mca em sua maioria no Parque Laguna e acima de 40 mca na maioria dos bairros do município. Eventos de pressões negativas em situações normais de abastecimento da rede não foram observados. Pressões altas comprometem a resistência das tubulações contribuindo para o aumento de vazamentos devido a rupturas frequentes, já pressões abaixo de 10 mca comprometem a qualidade pois as tubulações ficam mais vulneráveis a contaminação. Observou-se que devido as pressões altas a rede possui um significativo índice de vazamentos. A tabela 5 a seguir apresenta a quantidade de vazamentos retirados na rede, ramal e cavalete no período de 2015 a 2017. Observa-se que o maior índice de vazamentos detectados e reparados ocorre no cavalete. No entanto, esses dados representam uma pequena estimativa dos vazamentos já que não representam os vazamentos invisíveis e de difícil detecção na rede.

Tabela 5: Quantidade de vazamentos reparados nos anos 2015 a 2017

Descrição/ano	2015	2016	2017
Rede	141 (2,8%)	187 (3,5%)	309 (6,0%)
Ramal	2194 (43,2%)	2112 (39,2%)	1885 (36,5%)
Cavalete	2745 (54%)	3089 (57,3%)	2975 (57,6%)

Fonte: Relatório da companhia de abastecimento local



Em relação ao monitoramento da qualidade da água distribuída foram analisadas 967 amostras no ano de 2014, 944 amostras no ano de 2015 e 1050 amostras até outubro de 2016 para os parâmetros cloro residual, turbidez, flúor, cor, pH, coliformes totais, bactérias heterotróficas, *Escherichia coli*, alumínio, ferro, cloretos, nitrito, nitrato, sólidos dissolvidos e dureza.

De acordo com a avaliação constatou-se em relação aos coliformes totais a presença em 47 amostras das 967 analisadas, ou seja, 4,8 % no ano de 2014. Sendo 18 amostras nos bairros Centro e Jardim Califórnia abastecidos pelo reservatório R-01, 13 amostras nos bairros Formosinha, Bosque, Parque Laranjeiras e São Benedito abastecidos pelo R-05, 2 amostras no Jardim Oliveira abastecido pelo R-07, 9 amostras no Setor Sul cujo abastecimento é proveniente do R-14 e 5 amostras no Bela Vista. No ano de 2015 constatou a presença em 9 amostras das 944 analisadas (0,95%), sendo 5 delas no Centro abastecido pelo R-01, 3 no Parque Laranjeiras, Laguna II e Bosque, pertencentes a área de abastecimento do R-05 e 1 amostra no Setor Sul, abastecido pelo R-14 e em 2016 constatou-se 6 presenças de coliformes totais de 1046 amostras analisadas (0,57%). Segundo Bastos (2007), os coliformes totais não são indicadores adequados da qualidade da água *in natura*, guardando validade apenas como indicadores da qualidade da água tratada e distribuída. A detecção de coliformes totais, embora não guarde uma relação exclusiva com recontaminação de origem fecal, serve como indicador da integridade do sistema de distribuição. Na avaliação da qualidade da água distribuída, tolera-se a detecção eventual de coliformes totais, mas requer-se a ausência sistemática de *E. coli* ou coliformes termotolerantes. Os dados monitorados apresentou a presença de *E. coli* em 2 amostra no ano de 2014 nos bairros Bosque e Setor Sul, nas mesmas amostras foi identificado o valor de 0 (zero) para cloro residual, em 2015 e 2016 não foram detectadas presença de *E. coli* nas amostras analisadas. Segundo Moreno (2009) a *E. coli* é extremamente sensível a desinfecção e sua presença em amostras de água é um sinal de importante deficiência no tratamento ou do sistema de distribuição.

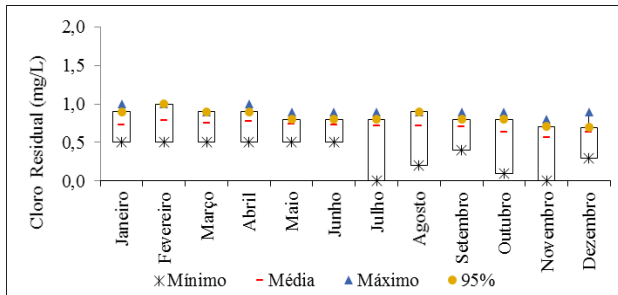
Em relação a bactérias heterotróficas, em todo período analisado foram detectadas presença em 5 amostras entre 600 a 900 UFC/mL, a Portaria recomenda que não ultrapasse o limite de 500 UFC/mL, e sugere que alterações bruscas devem ser investigadas.

Conforme dados sistematizados e apresentados na figura 5, de 1911 amostras analisadas no período 8 apresentaram valores de cloro residual abaixo de 0,2 mg/L, valor mínimo recomendado pela Portaria MS nº 2914/2011, em alguns pontos a água apresentou valor zero de cloro, essas amostras com cloro residual abaixo do permitido foram coletadas nos bairros, Jardim Califórnia, Bela Vista e Setor Sul no ano de 2014, em 2015 nos bairros Centro, Bosque e Bela Vista e em 2016 nos bairros Vila Verde, Padre Jose, Bela Vista e Jardim Planalto. Em relação a turbidez foram analisadas 963 amostras em 2014, 4 amostras apresentaram valor de turbidez acima do permitido, em 2015 foram analisadas 943, detectada presença em 3 amostras e 1048 amostras em 2016, dessas, 9 amostras com turbidez acima do permitido. Para o parâmetro flúor os valores

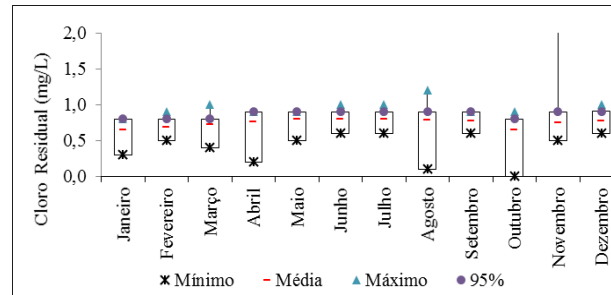


encontrados encontram-se dentro do permitido pela Portaria MS n.º 2914/2011. As amostras coletadas para os parâmetros alumínio, Ferro, Cloretos, Nitrito, Nitrato, sólidos dissolvidos e dureza estavam dentro do permitido pela mencionada portaria.

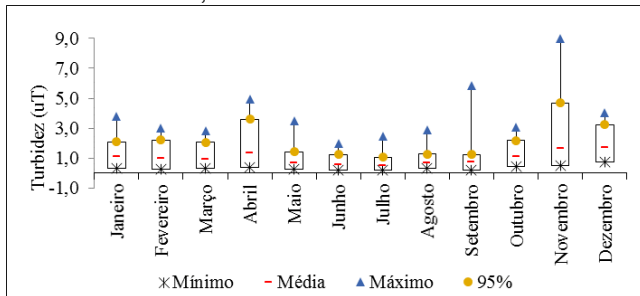
Figura 1: Monitoramento dos dados de cloro residual e turbidez na rede de distribuição no período de 2014-2015, do município de Formosa- GO



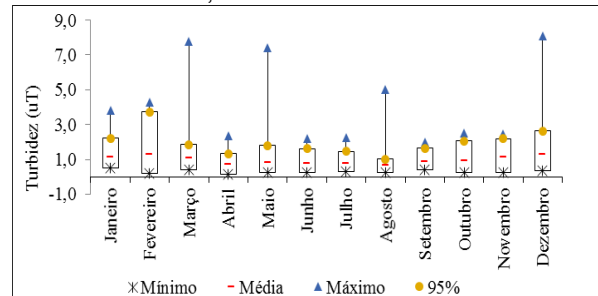
a: Cloro residual, 2014



b: Cloro residual, 2015



c: Turbidez, 2014



d: Turbidez, 2015

Fonte: Autoras

Para cada perigo ou evento perigoso detectado foi identificado medidas de controle necessárias, a tabela a seguir resume algumas das medidas de controle propostas.

Tabela 6: Algumas das medidas de controle propostas para reservatório e rede de distribuição

Medidas de controle reservatórios	
✓	Manutenção para vedação de rachaduras.
✓	Substituição de componentes de proteção que estejam danificado.
✓	Garantir que todos os materiais utilizados no reservatório são certificados, exigindo certificados de conformidade dos materiais.
✓	Garantir durabilidade e resistência a corrosão.
✓	Garantir a impermeabilização, verificando periodicamente o estado de conservação da vedação.
✓	Estabelecer um cronograma de limpeza mais eficaz para remover a matéria orgânica que pode tornar-se biologicamente ativa.
✓	Garantir a existência de um plano de manutenção.
✓	Garantir um residual de cloro adequado.
Medidas de controle rede de distribuição	
✓	Garantir pressões dentro do limite recomendados
✓	Deteção e substituição das tubulações que comprometem a qualidade da água
✓	Estabelecer cronograma de vazamentos com aparelhos como haste de escuta e geofones.
✓	Monitoramento local quanto a frequência de rompimentos
✓	Realização de análises laboratoriais de parâmetros adicionais.
✓	Garantir a desinfecção na rede após serviços de manutenção.
✓	Garantir um residual de cloro adequado tanto na rede como nos reservatórios.

Fonte: Autoras



O monitoramento operacional do sistema de abastecimento de água para consumo humano tem por objetivo controlar os riscos e garantir que as metas de saúde sejam atendidas. A seguir é apresentada a tabela de monitoramento operacional.

Tabela 7: Monitoramento operacional para eventos perigosos identificados

Eventos perigosos	Perigos	Limites críticos	Monitoramento			Ações corretivas
			Local	Frequencia	Responsável	
Manutenção inadequada do sistema de distribuição, provocando redução de pressões, baixas velocidades ou consumo de cloro	Pressão	10 a 50 mca	Pontos críticos com altos e baixos valores de pressões	Semanal diária	SAA	Reparação de perdas (análise mínima noturna, utilização de equipamentos de detecção de vazamentos como haste de escuta e geofones), manutenção de pressões (válvulas redutoras de pressão, interligações, atualização constante de cadastro técnico)
	Cloro residual	0,2 a 2,0 mg.l-1	Pontos com baixa concentração de cloro	Semanal	SAA	Garantir a qualidade da água na rede estabelecendo o cloro residual (analisar a idade da tubulação e se necessita de troca, observar a pressão no ponto para que não ocorra contaminação)
Alterações da qualidade água distribuída	Turbidez	5 UNT	Pontos críticos com baixa concentração de cloro	Semanal diária	SAA	Restabelecer o cloro livre residual, substituições das tubulações que comprometem a qualidade da água, garantir que os reservatórios mantenham o residual de cloro.
	Cor	15 uH				
	Coliformes Totais	Ausência em 95% das amostras				

Fonte: Autoras



CONCLUSÃO

Com a descrição do sistema de distribuição por meio de levantamentos de informações pertinentes e a utilização do programa EPANET, foi possível a identificação de eventos perigosos, caracterização de risco e estabelecimento das medidas de controle etapas fundamentais do Plano de Segurança da Água – PSA.

Observou-se que os maiores riscos estão associados as variáveis físicas e hidráulicas tanto nos reservatórios quanto nas tubulações da rede de distribuição tendo em vista que a manutenção da qualidade na rede de distribuição depende das condições da rede relacionados as essas variáveis. A identificação de riscos observados na rede de distribuição podem ser considerados mais relevantes na gestão de riscos e garantia de água segura que nos reservatórios pois a rede de distribuição constituem-se unidades descentralizadas, pouco visíveis de difícil acesso, inspeção e manutenção a recontaminação ou degradação da qualidade da água causada por falhas na integridade ou nas dificuldades de operação do sistema de distribuição é maior ao contrário dos reservatórios que são elementos pontuais de fácil constatação e correção de problemas que ocasionem riscos.

Os maiores riscos detectados nos reservatórios foram estado de conservação insatisfatório, inexistência de controle de acesso de pessoas e animais, contaminação por entrada de água externa, dificuldade em manter-se o residual de cloro, deterioração da qualidade da água reservada devida a insuficiência de procedimentos de limpeza, também constatou-se a ausência de monitoramento da qualidade da água na saída de alguns reservatórios de pequena capacidade. Os riscos na rede de distribuição priorizados foram tubulações muito antigas de cimento amianto, rupturas de tubulações devido as pressões elevadas, carência de procedimentos de desinfecção após realizar serviços de reparos e a grande quantidade de vazamentos.

O programa EPANET mostrou-se como uma ferramenta eficaz na geração de pressões além de poder ser utilizado na proposição de ações de medidas de controle de um evento perigoso como no controle de pressões da rede podendo ser utilizado na rotina da companhia exigindo-se o cadastro atualizado da rede.

A implementação do PSA no sistema de abastecimento possibilitou um maior conhecimento e informação da equipe da companhia de abastecimento local sobre a rede de distribuição. O PSA se mostrou como uma importante ferramenta na gestão de riscos na rede de distribuição, acredita-se que sua implementação oferece uma maior garantia de segurança da água pois identifica pontos vulneráveis, caracteriza os riscos e na sequencia especifica medidas de controle.



REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR/ISO: 31000: Gestão de riscos: Princípios e diretrizes**. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR/ISO/IEC:31010: Gestão de riscos – Técnicas para o processo de avaliação de riscos. Rio de Janeiro, 2012. 96 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro, 1994.
- BASTOS, R. K. X., HELLER, L., PRINCE, A. A., BRANDÃO, C. S., COSTA, S. S., BEVILACQUA, P. D., ALVES, R. M. S. **Boas práticas no abastecimento de água. Procedimentos para a minimização de riscos à saúde**. Brasília-DF: Ministério da Saúde, 252p. 2007b.
- BRASIL. Portaria MS nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. **Ministério da Saúde**, Brasília, série E, 2011.
- HERZ, R. e LIPKOW, A. (2002). Life cycle assessment of water mains and sewers. *Water, Science and Technology*, v.2, n.4, p.51-72.
- LeCHAVALIER M.W. (1990). Coliform regrowth in drinking water: a review. *Journal of the American Water Works Association*, v. 82, p. 74-86.
- MORENO, José. **Avaliação e Gestão de Riscos no Controle da Qualidade da Água em Redes de Distribuição: Estudo de Caso**. 2009. 579p. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2009.
- ROSSMAN, Lewis A. **EPANET 2. Users Manual. U.S. Environmental Protection Agency – EPA**. 200p. 2010. Cincinnati, Ohio. Disponível em: <<http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/epanet.html>> Acesso em: 10 de abril de 2017.
- STEVENS, M.; ASHBOLT, N.; CUNLIFFE, D. (2003). *Recommendations to change the use of coliform as microbial indicators of drinking water quality*. National Health and Medical Research Council. Australia Government. Canberra. Disponível em: <http://www.nhmrc.gov.au>.
- TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. 4. Ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.
- WHO - World Health Organization. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Guidelines for Drinking Water Quality* [electronic resource]: 4rd ed. 2011.