



Utilização da análise de riscos como ferramenta para segurança da qualidade da água

Antônio Jorge Silva Araújo Junior

Professor Mestre, IFPA, Brasil
antonio.junior@ifpa.edu.br

Luiza Carla Girard Mendes Teixeira

Professora Doutora, UFPA, Brasil
luiza.girard@gmail.com

RESUMO

Este estudo objetivou utilizar a abordagem de avaliação de riscos "Análise de Modo e Efeito de Falha" (FMEA, na sigla em inglês) como metodologia de segurança da qualidade da água no sistema de abastecimento de Belém/PA (Brasil). Foram utilizados 8 parâmetros de qualidade da água como indicadores. Análises foram realizadas em 46 pontos da zona central de abastecimento, incluindo estações de tratamento, reservatórios e rede. O FMEA foi aplicado a todos os indicadores, e os pontos foram divididos em três grupos: rede, reservatórios e estações de tratamento. Para a rede, foram identificados 18 pontos de risco moderado e alto. Para os reservatórios e estações de tratamento, todos os pontos apresentaram risco moderado. Nesta pesquisa, não houve ocorrência de risco negligível, baixo e crítico. Os indicadores flúor, coliformes totais e E. coli foram os mais influentes, 15% cada, nos pesos de risco. O indicador flúor contribuiu para aumentar a categoria de risco, pois apresentou 100% de não conformidade com os padrões brasileiros. Um mapa de risco foi elaborado, representando os riscos relacionados à qualidade da água para cada um dos pontos estudados. A metodologia de avaliação de risco mostrou-se uma importante ferramenta de gestão da segurança da água.

PALAVRAS-CHAVE: Segurança da qualidade da água. Abastecimento de água. Análise de risco.

1 INTRODUÇÃO

A avaliação de risco é um elemento essencial e um processo sistemático de avaliação de impacto, ocorrência e consequências de atividades humanas em sistemas ou atividades com características perigosas (van Duijne et al., 2008) e é uma ferramenta indispensável para a política de segurança da empresa.

Na década de 1990, Covello e Merkhofer (1993) definiram risco como "característica de uma situação ou ação em que dois ou mais efeitos são possíveis, mas que o efeito particular que ocorrerá é incerto e pelo menos uma das possibilidades é indesejável". Outra definição é de Woodruff (2005), que afirma que o risco é a chance de que alguém ou algo que é valorizado seja afetado adversamente pelo perigo. Hoj e Kroger (2002) também definiram risco como a incerteza sobre a gravidade do perigo, e Haines (2009) como uma medida da probabilidade e gravidade de efeitos indesejáveis. Deve-se enfatizar, em todas as definições, o caráter probabilístico expresso pelo termo possibilidade ou chance e o caráter indesejável dos efeitos possíveis. O perigo é definido de forma geral como uma característica intrínseca da substância ou processo que pode causar danos potencialmente (Hoj e Kroger, 2002).

A análise de risco é uma atividade amplamente aplicada por engenheiros de gerenciamento de risco e analistas em qualquer setor (Garcia, 2013). Os resultados fornecem informações para decisões a serem tomadas em um determinado sistema de ponto crítico (Fullwood, 2000). A análise de risco é baseada em várias suposições e conceitos que a caracterizam como uma metodologia flexível que pode ser aplicada em diferentes áreas do conhecimento, além de ter a possibilidade de adaptação. Em geral, essa metodologia permite, a partir do conhecimento de possíveis fatores, agentes ou situações que possam causar eventos indesejados, traçar medidas de intervenção para controlá-los (Bastos et al., 2009).

De acordo com Brasil (2006), o controle e a vigilância da qualidade da água são ferramentas essenciais para a proteção da saúde dos consumidores, portanto, tem-se menos casos de doenças relacionadas à má qualidade da água potável, o que impacta positivamente no sistema de saúde.

No assunto de qualidade e busca por melhorias, a análise de risco tem sido usada

recentemente em sistemas de abastecimento de água para melhorar o processo de produção. Segundo Brown (1998), a análise de risco é o estudo de identificação, avaliação e recomendações aplicadas a instalações industriais ou outras atividades que possam gerar riscos. O fornecimento de água para consumo humano fora dos padrões de potabilidade está associado a riscos (por exemplo, contaminação por patógenos) - ou seja, a aplicação de metodologias de análise de risco para identificar e prever a ocorrência de efeitos indesejáveis no sistema é possível.

A diversidade de procedimentos para análise e avaliação de riscos é tal que existem muitas técnicas apropriadas para todas as circunstâncias e a escolha se tornou uma questão de preferência (Rouvroye e van den Bliet, 2002).

Diante das numerosas metodologias para análise e avaliação de riscos, foi escolhida a "Análise de Modo e Efeito de Falha" (FMEA, na sigla em inglês) devido à sua simplicidade de aplicação e alta flexibilidade para se adaptar a muitas situações. FMEA é uma técnica que visa identificar e eliminar falhas, problemas e/ou erros conhecidos ou potenciais de um sistema, processo ou serviço antes que cheguem ao consumidor final (Stamatis, 1995). FMEA tem sido empregada em diversas áreas da indústria e do conhecimento, incluindo a automotiva, aeroespacial, nuclear, eletrônica, química, mecânica, ambiental e outras (Chang et al., 2001; Chin et al., 2009; Sharma et al., 2005; Zambrano e Martins, 2007).

A FMEA tradicional consiste, primeiramente, na formação de uma equipe multidisciplinar, seguida da etapa de identificação de possíveis falhas do sistema ou produto, por meio de sessões sistemáticas de discussões em equipe. Após isso, é realizada uma revisão desses modos de falha levando em consideração os fatores de ocorrência (O), severidade (S) e detecção (D). O objetivo é quantificar as falhas para determinar prioridades na alocação de recursos ou ações para os riscos mais críticos (Liu et al., 2012).

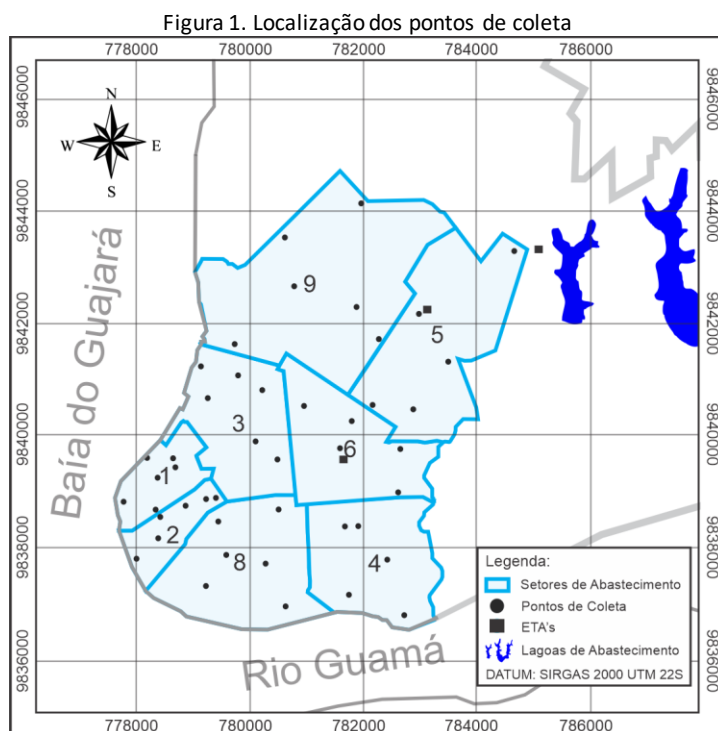
Considerando o contexto apresentado, o objetivo da pesquisa consistiu em utilizar a abordagem de análise de risco com a aplicação da metodologia FMEA, a fim de avaliar a qualidade da água no sistema de abastecimento de água de Belém-PA. A aplicação da FMEA visa permitir avaliação criteriosa dos possíveis pontos críticos no sistema de abastecimento de água de Belém-PA, identificando as falhas potenciais e estabelecendo prioridades para a implementação de ações preventivas e corretivas. Além disso, a pesquisa contribui para o aprimoramento da gestão da qualidade da água, promovendo segurança hídrica.

2 METODOLOGIA

Os dados foram coletados em 46 pontos de abastecimento da zona central, abrangendo oito setores (Figura 1). Para cada ponto, foram realizadas determinações de cloro residual livre (CRL), turbidez, cor aparente, pH, fluoreto, ferro total, coliformes totais e E.coli. Para escolher os pontos, foram considerados fatores geográficos, como distância da rede até a estação de tratamento, saída do reservatório, áreas mais densamente povoadas, áreas com populações em condições de saúde precárias e consumidores vulneráveis.

Foram realizadas 10 campanhas, de março a dezembro de 2015. Totalizando 460 coletas e 3680 determinações físico-químicas e microbiológicas (8 parâmetros). Os procedimentos analíticos seguiram os Métodos Padrão para Análise de Água e Esgoto (APHA,

1998).



Fonte: Autores, 2023.

Com o objetivo de detectar valores suspeitos (outliers que não são representativos do universo da amostra), foi aplicado o teste de Grubbs (1969). Os outliers encontrados foram descartados.

2.1 Aplicação da FMEA

O FMEA foi realizado em cinco etapas: planejamento, análise de falhas potenciais, avaliação de falhas potenciais, ponderação dos riscos e cálculo do risco total.

A etapa do planejamento inclui o estudo do objeto, ou seja, a qualidade do sistema de abastecimento de água. Nesta fase, foram selecionados especialistas que participaram da equipe multidisciplinar, sendo responsáveis pela análise e avaliação de possíveis falhas. A equipe de especialistas era composta por cinco Mestres em Ciências na área.

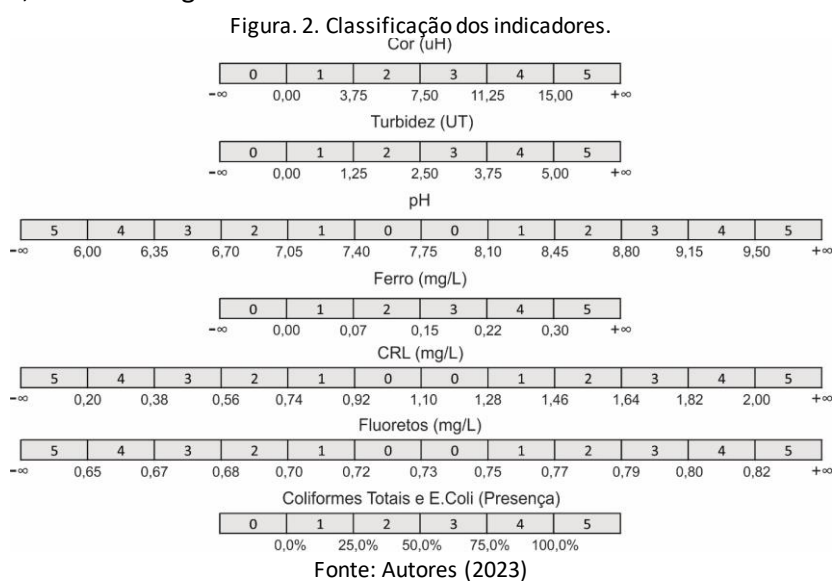
Para a análise de possíveis falhas, realizou-se uma reunião com a equipe de Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA) para identificar potenciais falhas, suas fontes e recomendar medidas mitigadoras, resultando na elaboração de um formulário de falhas. Adicionalmente, construiu-se uma tabela de avaliação quantitativa de riscos que foi fundamental para apoiar a tomada de decisão do grupo e fornecer subsídios para a etapa subsequente.

O formulário consiste em riscos potenciais, suas causas, gravidade (S), ocorrência (O), detecção (D), Abrangência (A), número de prioridade de risco (RPN) e medidas de mitigação.

Durante a avaliação das possíveis falhas, cada participante da equipe FMEA recebeu o formulário da etapa anterior juntamente com uma tabela de pontuações. O preenchimento do

formulário baseou-se em discussões detalhadas acerca das características dos riscos estudados, suas causas, efeitos e possíveis medidas de mitigação. A tabela de pontuações foi utilizada para atribuir valores aos campos S, O, D e A do formulário, variando de 1 a 3, onde maiores pontuações indicam maiores riscos. Essa abordagem permitiu uma avaliação sistemática e quantitativa dos riscos e foi fundamental para apoiar a tomada de decisão do grupo e fornecer subsídios para a próxima etapa do processo.

Os indicadores usados na pesquisa foram classificados - de 0 a 5 - onde valores mais próximos de zero representam menos risco, enquanto valores mais próximos de 5 representam maiores riscos, conforme Figura 2.



A classificação dos indicadores foi realizada considerando as normas brasileiras de potabilidade, mas poderia ter sido baseada em metas específicas estabelecidas pela empresa de abastecimento. A classificação dos indicadores foi utilizada na etapa de cálculo do risco total.

Após o preenchimento das pontuações (gravidade, ocorrência, detecção e abrangência), foi calculada a ponderação dos riscos que define o grau de relevância de cada risco. O risco geral foi considerado como a soma de todos os riscos levantados nesta pesquisa, calculando assim a porcentagem de relevância de cada risco em relação ao sistema total, conforme Equação 1.

$$P = \frac{R_1}{\sum_1^n R} \quad (\text{Eq. 1})$$

Na Equação 1, os elementos representados pelas variáveis são os seguintes: P corresponde à ponderação, R_1 representa o risco individual, n indica a quantidade de riscos considerados e $\sum_1^n R$ é a soma total dos riscos.

Na etapa do cálculo do risco total, primeiramente foi realizada a determinação do risco máximo. Esse cálculo é obtido através da soma do produto da classificação mais elevada de cada indicador pela ponderação dos riscos. Em seguida, foram definidos os intervalos de categorização de risco, que variam de desprezível a crítico.

Posteriormente, o cálculo do risco total foi realizado para cada ponto monitorado. Esse

cálculo foi realizado através do produto da classificação do indicador e sua respectiva ponderação de risco. Por fim, a soma de todos os produtos resultou no risco total do ponto monitorado. Essa abordagem permitiu uma avaliação sistemática e quantitativa dos riscos.

2.2 Mapa de Risco

Como produto final, foi gerado um mapa de risco com base nos resultados dos indicadores analisados utilizando software de mapeamento e geoprocessamento.

3 RESULTADOS

Foi decidido em uma reunião com a equipe FMEA que os dados seriam divididos em 3 grupos; um grupo representando os pontos da rede de abastecimento (NET), outro para as saídas de reservatórios (RV) e o terceiro para as estações de tratamento de água (WTP). A divisão foi realizada para não ignorar possíveis comportamentos característicos de cada grupo. O grupo NET possui 36 pontos, enquanto o RV possui 7 pontos e o grupo WTP possui 3, totalizando 46 pontos.

Foram considerados os perigos de: pH alto e baixo, turbidez alta, cor alta, concentração alta e baixa de cloro residual livre, concentração alta e baixa de flúor, presença de coliformes totais e E. coli e concentração alta de ferro total. O preenchimento do formulário foi realizado para os três grupos, considerando a gravidade (S), ocorrência (O), detecção (D) e Abrangência (A). Em seguida, imediatamente foi realizada a ponderação de riscos (Tabela 1 e 2).

Tabela 1. Ponderações de risco dos grupos NET e RV

Perigo Parâmetro	S	O	D	A	Risco	
					RPN	%
Baixo pH	2	1	2	3	12	6,67
Alto pH	2	1	2	3	12	6,67
Alta turbidez	3	1	1	3	9	5,00
Alta cor aparente	3	1	1	3	9	5,00
Baixa concentração de CRL	3	1	2	3	18	10,00
Alta concentração de CRL	3	1	1	2	6	3,33
Alta concentração de fluoreto	3	1	3	3	27	15,00
Baixa concentração de fluoreto	1	3	3	3	27	15,00
Presença de coliformes totais	3	1	3	3	27	15,00
Presença de E. coli	3	1	3	3	27	15,00
Alta concentração de ferro total	2	1	1	3	6	3,33
Risco Total					180	100,00

Fonte: Autores, 2023.

Tabela 2. Ponderações dos riscos do grupo WTP

Perigo Parâmetro	S	O	D	A	Risco	
					RPN	%
Baixo pH	2	1	2	3	12	6,74
Alto pH	2	1	2	3	12	6,74
Alta turbidez	3	1	1	3	9	5,06
Alta cor aparente	3	1	1	3	9	5,06
Baixa concentração de CRL	3	1	2	3	18	10,11
Alta concentração de CRL	2	1	1	2	4	2,25
Alta concentração de fluoreto	3	1	3	3	27	15,17
Baixa concentração de fluoreto	1	3	3	3	27	15,17
Presença de coliformes totais	3	1	3	3	27	15,17
Presença de E. coli	3	1	3	3	27	15,17
Alta concentração de ferro total	2	1	1	3	6	3,37
Risco Total					178	100,00

Fonte: Autores, 2023

Para realizar o cálculo do risco máximo, foi utilizado o escore máximo (5) para todos os indicadores, respeitando os riscos excludentes (por exemplo, alto e baixo pH, alta e baixa concentração de FRC ou fluoretos). O critério utilizado foi o desconsiderar os riscos excludentes que não ocorreram durante o monitoramento (Tabela 3 e 4).

Tabela 3. Risco máximo para os grupos NET e RV

Parâmetro	Classificação Máxima	Risco		Risco	
		%	Total	Intervalo	Classificação
Baixo pH	5	6,67	33,00	$0,00 \leq x \leq 0,94$	Desprezível
Alta turbidez	5	5,00	25,00	$0,94 < x \leq 1,87$	Moderado
Alta cor aparente	5	5,00	25,00	$1,87 < x \leq 2,81$	Alto
Baixa concentração de CRL	5	10,00	50,00	$2,81 < x \leq 3,75$	Crítico
Baixa concentração de fluoreto	5	15,00	75,00		
Presença de coliformes totais	5	15,00	75,00		
Presença de E. coli	5	15,00	75,00		
Alta concentração de ferro total	5	3,33	16,67		
Total			375		
Risco Máximo			3,75		

Fonte: Autores, 2023

Tabela 4. Risco máximo para o grupo WTS

Parâmetro	Classificação Máxima	Risco		Risco	
		%	Total	Intervalo	Classificação
Baixo pH	5	6,74	33,71	$0,00 \leq x \leq 0,95$	Desprezível
Alta turbidez	5	5,06	25,28	$0,95 < x \leq 1,89$	Moderado
Alta cor aparente	5	5,06	25,28	$1,89 < x \leq 2,84$	Alto
Baixa concentração de CRL	5	10,11	50,56	$2,84 < x \leq 3,79$	Crítico
Baixa concentração de fluoreto	5	15,17	75,84		
Presença de coliformes totais	5	15,17	75,84		
Presença de E. coli	5	15,17	75,84		
Alta concentração de ferro total	5	3,37	16,85		
Total			379,21		
Risco Máximo			3,79		

Fonte: Autores, 2023

Foi calculado o risco em cada ponto (obtido por meio do produto da classificação - obtida pela Fig. 2 - pelo parâmetro de peso), resultando em 28 pontos de risco moderado e 18 de alto risco. O grupo NET obteve 18 pontos de risco moderado e alto. O grupo RV obteve 7 pontos de risco moderado. O grupo WTP obteve 3 pontos de risco moderado (Tabela 5).

A partir dos dados de risco obtidos na etapa anterior, foi possível construir o mapa de risco do sistema de abastecimento de água da zona central de Belém (Fig. 3).

De acordo com o mapa de risco, foi observado que o 2º setor apresentou o maior risco. Seguindo o 2º setor, os setores de maior risco foram o 8º e o 3º, ambos vizinhos do 2º setor. O maior risco nesses setores foi principalmente devido à presença de coliformes totais e E.coli. Para o 2º setor, houve 10 ocorrências de coliformes totais e 4 de E.coli, enquanto para os setores 3º e 8º houve 10 e 8 ocorrências de coliformes totais, respectivamente, e nenhuma ocorrência de E.coli.

Outro fator que levou ao aumento do risco foi a baixa concentração de fluoreto em todos os pontos da pesquisa, fazendo com que a classificação do indicador fosse máxima (5), elevando o risco.

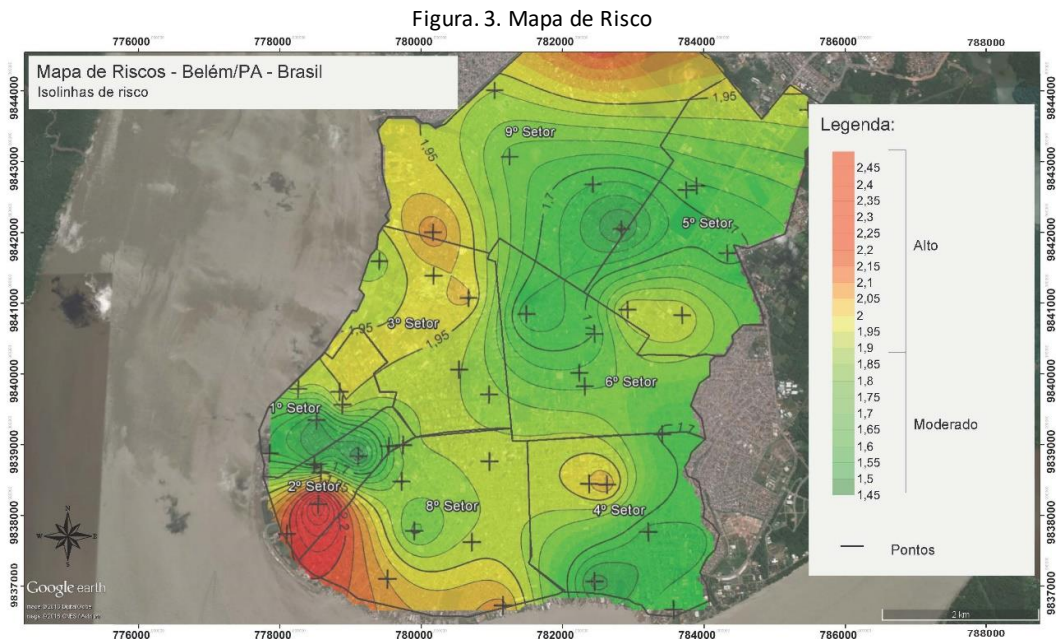
A metodologia permitiu classificar qualitativamente os riscos no sistema estudado, de modo que, a partir dos resultados e dados gerados, foi possível visualizar os riscos e identificar onde eles podem ocorrer. O FMEA permitiu quantificar, categorizar e mapear os riscos, facilitando seu gerenciamento. O uso de mapas de risco fornece informações mais abrangentes, tornando-se uma grande vantagem na gestão, permitindo que o gestor, por meio da definição de metas e da implementação de um ciclo contínuo de melhoria, ataque exatamente as áreas críticas, os riscos e suas causas, reduzindo-os gradualmente e proporcionando água de melhor qualidade para a população.

Outra vantagem da avaliação de riscos é a fácil adaptação da metodologia às necessidades do sistema, ou seja, é possível alterar os parâmetros que o gestor considera mais relevantes para a análise ou mudar os fatores de gravidade (S), ocorrência (O), detecção (D) e Abrangência (A), de acordo com a realidade de cada sistema. Assim, o FMEA mostrou-se uma ferramenta poderosa de gestão da qualidade da água em sistemas de abastecimento.

Tabela 5. Riscos dos grupos NET, RV e WTP

Ponto	Grupo	Risco	Ponto	Grupo	Risco
P1.0	RV	Moderado	P5.0	WTP	Moderado
P1.1	NET	Moderado	P5.1	NET	Moderado
P1.2	NET	Moderado	P5.2	NET	Alto
P1.3	NET	Moderado	P5.3	NET	Moderado
P1.4	NET	Alto	P5.4	NET	Alto
P1.5	NET	Alto	P5.5	NET	Alto
P2.0	RV	Moderado	P6.0	RV	Moderado
P2.1	NET	Moderado	P6.1	WTP	Moderado
P2.2	NET	Alto	P6.2	NET	Moderado
P2.3	NET	Alto	P6.3	NET	Moderado
P2.4	NET	Alto	P6.4	NET	Moderado
P2.5	NET	Alto	P8.0	RV	Moderado
P3.0	RV	Moderado	P8.1	NET	Alto
P3.1	NET	Alto	P8.2	NET	Alto
P3.2	NET	Moderado	P8.3	NET	Alto
P3.3	NET	Alto	P8.4	NET	Moderado
P3.4	NET	Moderado	P8.5	NET	Moderado
P4.0	RV	Moderado	P9.0	RV	Moderado
P4.2	NET	Moderado	P9.1	NET	Moderado
P4.1	NET	Alto	P9.2	NET	Alto
P4.3	NET	Moderado	P9.3	NET	Moderado
P4.4	NET	Moderado	P9.4	NET	Alto
			P9.5	NET	Alto
			WTP Bolonha	WTP	Moderado

Fonte: Autores, 2023



4 CONCLUSÕES

O risco para a zona central de abastecimento foi considerado moderado pela metodologia, com 28 pontos de risco moderado, 18 pontos de alto risco e nenhum ponto de risco desprezível. O flúor contribuiu para um aumento no risco em todos os pontos. Se essa deficiência for corrigida, haverá uma redução nos riscos, resultando em 28 pontos de risco moderado e 18 pontos de risco desprezível.

Além disso, o mapa de risco criado durante o processo FMEA é um instrumento visual extremamente importante para a compreensão dos riscos identificados e suas respectivas categorizações. Essa representação gráfica facilita a visualização dos pontos mais críticos e permite que as equipes de gerenciamento possam tomar decisões de forma mais objetiva e ágil, direcionando seus esforços para os pontos mais críticos.

Dessa forma, a metodologia FMEA se mostrou altamente eficiente para categorizar os riscos em todos os pontos estudados e pode ser utilizada como uma importante ferramenta de controle para o monitoramento da qualidade da água. Além disso, ela pode complementar sistemas de monitoramento existentes ou ser implantada em locais sem ferramentas de gerenciamento. O FMEA é fácil de usar, aprimora o gerenciamento e ajuda na redução de riscos, sendo uma metodologia recomendada para gestão da qualidade da água.

5 REFERÊNCIAS

APHA, A. (1998). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association, Washington, DC.

BASTOS, R. K. X., BEVILACQUA, P. D.; MIERZWA, J. C. (2009). **Análise de Risco Aplicada ao Abastecimento de Água para Consumo Humano**. In: Remoção de Microrganismos Emergentes e Microcontaminantes Orgânicos no Tratamento de Água para Consumo Humano, ABES, PROSAB. Rio de Janeiro, 328–362.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde (2006). **Vigilância e Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano**. Brasília-DF.

BROWN, A. E. P. (1998). **Análise de Risco**. Boletim Técnico do GSI/NUTAU/USP.

CHANG, C. L., LIU, P. H.; WEI, C. C. (2001). Failure Mode and Effects Analysis Using Grey Theory. **Integrated Manufacturing Systems**, (12), 211–216.

CHIN, K. S., WANG, Y. M., POON, G. K. K.; YANG, J. B. (2009). Failure Mode and Effects Analysis by Data Envelopment Analysis. **Decision Support Systems**, (48), 246–256.

COVELLO, V., MERKHOFFER, M. (1993). **Risk Assessment Methods: Approaches for Assessing Health and Environmental Risks**. Plenum Press, New York.

FULLWOOD, R. R. (2000). **Probabilistic Risk Assessment in Chemical and Nuclear Industries**. Woburn, Woburn PMCID:1186920.

GARCIA, P. A. A. (2013). Uma Abordagem via Análise Envoltória de Dados para o Estabelecimento de Melhorias em Segurança Baseadas na FMEA. **Gestão & Produção**, 20(1), 87–97.

GRUBBS, F. E. (1969). Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples. **Technometrics**, 11(1), 1–21.

HAIMES, Y. Y. (2009). **Risk Modelling, Assessment, and Management**. A John Wiley and Sons Inc. Publication, (3).

HOJ, N. P.; KROGER, W. (2002). Risk Analyses of Transportation on Road and Railway from a European Perspective. **Safety Science**, (46), 5–6.

LIU, H. C., LIU, L., LIU, N.; MAO, L. X. (2012). Risk Evaluation in Failure Mode and Effects Analysis with Extended VIKOR Method under Fuzzy Environment. **Expert Systems with Applications**, (39), 12926–12934.

ROUVROYE, J. L.; VAN DEN BLIEK, E. G. (2002). Comparing Safety Analysis Techniques. **eliability Engineering and System Safety**, (75), 289–294.

SHARMA, R. K., KUMAR, D., KUMAR, P. (2005). Systematic Failure Mode Effect Analysis (FMEA) Using Fuzzy Linguistic Modelling. **International Journal of Quality & Reliability Management**, (22), 986–1004.

STAMATIS, D. H. **Failure mode and effects analysis: FMEA from theory to execution**. ASQC Press, New York, 1995.

VAN DUJINE, F. H.; AKEN, D.; SCHOUTEN, E. G. Considerations in developing complete and quantified methods for risk assessment. **Safety Science**, v. 46, p. 245-254, 2008.

WOODRUFF, M. J. Consequence and likelihood in risk estimation: a matter of balance in UK health and safety risk assessment practice. **Safety Science**, v. 46, p. 5-6, 2005.

ZAMBRANO, T. F.; MARTINS, M. F. Utilização do método FMEA para avaliação do risco ambiental. **Gest. Prod.**, v. 14, n. 2, p. 295-309, 2007.