



Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Ciências Puras e
Aplicadas.

Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos
PROFÁGUA

Natália Hilarinda da Silva

**AVALIAÇÃO DE RISCOS NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE
ÁGUA EM UM MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE**

Itabira - Minas Gerais

2024

Natália Hilarinda da Silva

AVALIAÇÃO DE RISCOS NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM UM MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Curso de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROFÁGUA) na Universidade Federal de Itajubá.

Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos

Linha de Pesquisa: Segurança Hídrica e Usos Múltiplos da Água.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Eduardo de Aguiar do Couto
Instituto de Ciências Puras e Aplicadas –
UNIFEI

Prof. Dr. Anderson de Assis Morais
Instituto de Ciências Puras e Aplicadas –
UNIFEI

Prof. Dra. Déborah Neide de Magalhães Praxedes
IFMG - Campus Governador Valadares

Itabira – Minas Gerais

2024

DEDICATÓRIA

A mim, a meu esposo e ao meu filho, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que permitiu que todas as conquistas em minha vida se concretizassem.

Agradeço a todos os membros da minha família, irmã, mãe, pai, principalmente meu esposo e meu filho que estiveram ao meu lado, me inspiraram e influenciaram positivamente meu percurso acadêmico.

Meu sincero agradecimento ao meu orientador Prof. Dr. Eduardo por todo o auxílio, orientação, humildade, paciência, compreensão e ensinamentos durante este processo.

Agradeço a todo o corpo docente do curso por fornecer o conhecimento necessário para concluir este trabalho e a toda a equipe administrativa pelo apoio e orientação. Sou grata a todos que fizeram parte direta ou indiretamente deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

“Desistir... eu já pensei seriamente nisso, mas nunca me levei realmente a sério; é que tem mais chão nos meus olhos do que o cansaço nas minhas pernas, mais esperança nos meus passos do que tristeza nos meus ombros, mais estrada no meu coração do que medo na minha cabeça”.

Cora Coralina.

RESUMO

Silva, Natália Hilarinda. **Avaliação de riscos no sistema de abastecimento de água em um município de pequeno porte.** 2023. 128f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA) - Instituto de Ciências Puras e Aplicadas, Universidade Federal de Itajubá- Campus de Itabira, MG, 2023.

O presente estudo tem como objetivo principal identificar os pontos vulneráveis do sistema de abastecimento de água do município de Nova Era, levando em consideração a importância dos serviços de saneamento básico e do acesso à água potável para a melhoria da qualidade de vida e saúde pública da população. Além disso, buscou-se apresentar propostas de medidas mitigadoras para os riscos identificados. De acordo com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável Seis (ODS6) estabelecido pela Organização das Nações Unidas-ONU, o acesso universal e equitativo à água potável e ao saneamento básico é uma prioridade global. No entanto, apesar do Brasil possuir uma das maiores reservas de água doce do mundo, ainda existem desafios na garantia da qualidade e quantidade da água disponível para a população. Muitas localidades enfrentam problemas de acesso à água potável e tratamento de esgotos, o que afeta diretamente a saúde pública e a qualidade de vida das pessoas. Nesse contexto, a análise de riscos utilizando a metodologia do (Failure Mode and Effects Analysis) FMEA surge como uma ferramenta relevante para identificar fragilidades e prevenir potenciais falhas no sistema de abastecimento de água. Além disso, é fundamental a implementação de um Plano de Segurança da Água (PSA), como recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS). O Plano de Segurança da Água-PSA permite uma análise abrangente de todas as etapas do sistema de abastecimento de água, desde a captação até a distribuição. Por meio de visita técnica e informações cedidas pela equipe responsável pelo Sistema de Abastecimento de Água-SAA e a utilização da FMEA foi possível identificar os principais riscos do sistema de abastecimento de água desde a captação ao reservatório de água potável e propor medidas mitigatórias. Após análise observou-se na classificação de riscos e na quantificação as principais falhas em todo o sistema foram apontadas na bacia de captação na totalidade de 17 riscos 5 foram críticos totalizando 24,9% da planilha nessa etapa, o modo de falha que representou o Número de riscos prioritários-RPN com valor 240 de maior risco dessa etapa foi em razão da falta de estudo de disponibilidade de hídrica da bacia de captação. Na etapa da filtração o valor de RPN 450 foi identificado como mais crítico devido a não substituição dos meios filtrantes desde o início de operação da Estação de Tratamento de Água ETA. A avaliação realizada na etapa dos produtos químicos foram identificados 7 riscos sendo 3 considerados críticos totalizando 42,9% dos riscos dessa etapa. A aplicação da metodologia FMEA para a implementação da gestão de riscos revelou-se uma ferramenta eficaz de aplicação simples e rápida permitindo a proposição de medidas preventivas e corretivas para mitigar os riscos.

Palavras – chaves: Plano de segurança da água-PSA, FMEA, análise de riscos.

ABSTRACT

Silva, Natalia Hilarinda. **Risk assessment in the water supply system in a small town.** 2023. 128f. Dissertation (Professional Master's Degree in Management and Regulation of Water Resources - PROFÁGUA) - Institute of Pure and Applied Sciences, Federal University of Itajubá - Campus of Itabira, MG, 2023.

The main objective of this study is to identify the vulnerable points of the water supply system in the municipality of Nova Era, taking into account the importance of basic sanitation services and access to drinking water for improving the quality of life and public health of the city's population. Furthermore, we sought to present proposals for mitigating measures for the identified risks. According to Sustainable Development Goal Six (SDG6) established by the United Nations-UN, universal and equitable access to drinking water and basic sanitation is a global priority. However, despite Brazil having one of the largest freshwater reserves in the world, there are still challenges in guaranteeing the quality and quantity of water available to the population. Many localities face problems with access to drinking water and sewage treatment, which directly affects public health and people's quality of life. In this context, risk analysis using the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) methodology emerges as a relevant tool to identify weaknesses and prevent potential failures in the water supply system. Furthermore, it is essential to implement a Water Safety Plan (WSP), as recommended by the World Health Organization (WHO). The Water Security Plan-PSA allows a comprehensive analysis of all stages of the water supply system, from collection to distribution. Through a technical visit and information provided by the team responsible for the Water Supply System-SAA and the use of FMEA, it was possible to identify the main risks of the water supply system from collection to drinking water reservoir and propose mitigating measures. After analysis, it was observed in the risk classification and quantification that the main failures throughout the system were identified in the catchment basin in a total of 17 risks, 5 of which were critical, totaling 24.9% of the spreadsheet at this stage, the failure mode that represented the Number of priority risks-RPN with a value of 240 with the highest risk in this stage was due to the lack of study of water availability in the catchment basin. In the filtration stage, the value of RPN 450 was identified as more critical due to the failure to replace the filtering media since the start of operation of the ETA Water Treatment Plant. The assessment carried out in the chemical products stage identified 7 risks, 3 of which were considered critical, totaling 42.9% of the risks in this stage. The application of the FMEA methodology to implement risk management proved to be an effective tool that is simple and quick to apply, allowing the proposition of preventive and corrective measures to mitigate risks.

Keywords: WSP, PSA, FMEA, risk analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Demanda de uso da água no Brasil.	19
Figura 2: Causa de insuficiência da qualidade de água para o consumo humano.	20
Figura 3: Ações básicas de operacionalização da vigilância da água para o consumo humano. ...	22
Figura 4: Percentual de Municípios com serviço de abastecimento de água em funcionamento e com ETAs e/ou UTS em operação, por tipo de tratamento realizado na água, segundo as classes de tamanho da população dos municípios.	25
Figura 5: Sistema de abastecimento convencional de água- SAA.	27
Figura 6: Eventos perigosos que possam estar nas bacias de captação.	29
Figura 7: Eventos perigosos que possam estar nos reservatórios de captação e tomadas de água.	30
Figura 8: Eventos perigosos que possam estar no trataemnto da água.	30
Figura 9: Múltiplas barreiras de proteção em SAA.	33
Figura 10: Princípio de múltiplas barreiras nos SAA.	34
Figura 11: Principais objetivos do Plano de Segurança da Água.	34
Figura 12: Etapas de um Plano de Segurança da Água.....	36
Figura 13: Árvore de decisão para definição de PCC.....	42
Figura 14: Etapas para elaboração do FMEA.....	44
Figura 15: Mapa de localização do município de Nova Era no contexto da Bacia do Rio Doce...48	
Figura 16: Mapa hidrográfico de Nova Era.....	49
Figura 17: Mapa da Bacia hidrográfica córrego da Passagem.	50
Figura 18: Temperatura e índices pluviométricos de Nova Era.	51
Figura 19: Represamento para captação de água.....	53
Figura 20: EEAB para captação de água bruta.....	54
Figura 20b: Conjunto de motobombas em operção.....	54
Figura 20c: Motobombas reservas.....	54
Figura 21: Mistura rápida.....	54
Figura 22: Flocculadores.....	54
Figura 23: Decantadores.....	54
Figura 24: Filtros	55
Figura 25: Tanque de contato	55
Figura 26: Laboratório	55

Figura 27: Armazenamento de produtos químicos	55
Figura 28: Reservatório de água tratada.....	56
Figura 29: Diagrama de fluxo do SAA de Nova Era MG	63
Figura 30: Quantificação de falhas captação e reservação:.....	66
Figura 31: Riscos prioritários	67
Figura 32: Representatividade de prioridade de falhas.....	69
Figura 33: Quantificação de Riscos – Coagulação	73
Figura 34: Riscos Prioritários - Coagulação.....	73
Figura 35: Representatividade de prioridades de falhas - Coagulação.....	75
Figura 36: Quantificação de riscos - Flocculação	78
Figura 37: Riscos Prioritários- Flocculação.....	78
Figura 38: Representatividade de prioridades de falhas – Flocculação.....	80
Figura 39: Quantificação de riscos - Decantação	82
Figura 40: Riscos Prioritários - Decantação.....	83
Figura 41: Representatividade de prioridades de falhas – Coagulação	84
Figura 42: Quantificação de riscos - Filtração.....	87
Figura 43: Riscos Prioritários - Filtração	87
Figura 44: Representatividade de prioridades de falhas – Filtração.....	89
Figura 45: Quantificação de riscos - Desinfecção	90
Figura 46: Riscos Prioritários - Desinfecção.....	91
Figura 47: Representatividade de prioridades de falhas – Desinfecção.....	92
Figura 48: Quantificação de riscos - Fluoretação	93
Figura 49: Quantificação de riscos - Laboratório	96
Figura 50: Riscos Prioritários- Laboratório.....	96
Figura 51: Representatividade de prioridades de falhas – Laboratório	97
Figura 52: Quantificação de riscos - Produtos Químicos.....	100
Figura 53: Riscos Prioritários- Produtos Químicos	101
Figura 54: Representatividade de prioridades de falhas – Produtos Químicos.....	102
Figura 55: Quantificação de riscos - Reservação	104
Figura 56: Riscos Prioritários- Reservação	105
Figura 57: Representatividade de prioridades de falhas – Reservação.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Municípios do Estado de Minas Gerais com ocorrência de doenças relacionadas ao saneamento básico.	24
Tabela 2: Total de municípios por porte - Minas Gerais.	26
Tabela 4: Escala de probabilidade de ocorrência.....	40
Tabela 5: Escala de severidade e consequência.....	40
Tabela 6: Matriz de classificação de riscos por ordem de importância.	40
Tabela 7: Escala de Possibilidade de Ocorrência	58
Tabela 8: Escala de Severidade da Falha	58
Tabela 9: Possibilidade de Detecção.....	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Informações para avaliação do SAA.	38
Quadro 2: Índice de Severidade Si, índice de Ocorrência Oi e índice de Detecção Di	46
Quadro 3: Etapas e Planejamento da Metodologia aplicada no trabalho.	57
Quadro 4: Análises e Classificação de Riscos.	64
Quadro 5: Proposições de medidas mitigatórias.	70
Quadro 6: Análise e Classificação de Riscos-Coagulação.	71
Quadro 7: Proposição de medidas mitigatórias-Coagulação.	75
Quadro 8: Análise e Classificação de Riscos-Floculação.	77
Quadro 9: Proposições de medidas mitigatórias-Floculação.	81
Quadro 10: Análise e Classificação de Riscos-Decantação.	82
Quadro 11: Proposições de medidas mitigatórias-Decantação.	85
Quadro 12: Análise e Classificação de Riscos-Filtração.	86
Quadro 13: Proposições de medidas mitigatórias-Filtração.	89
Quadro 14: Análise e Classificação de Riscos-Desinfecção.	90
Quadro 15: Proposições de medidas mitigatórias-Desinfecção.	92
Quadro 16: Análise e Classificação de Riscos-Fluoretação.	93
Quadro 17: Proposição de medida mitigatória-Fluoretação.	94
Quadro 18: Análise e Classificação de Riscos-Laboratório.	95
Quadro 19: Proposições de medidas mitigatórias-Laboratório.	98
Quadro 20: Análise e Classificação de Riscos-Produtos químicos.	99
Quadro 21: Proposições de medidas mitigatórias-Produtos químicos.	102
Quadro 22: Análise e Classificação de Riscos-Reservação.	103
Quadro 23: Proposições de medidas mitigadoras-Reservação.	106

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMEPI	Associação dos Municípios da Microrregião do Médio Piracicaba
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APPCC	Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle
ASTRINE	Associação de Triadores de Materiais Recicláveis de Nova Era
BHCP	Bacia Hidrográfica do córrego da Passagem
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
CPGRS	Consórcio Público de Gestão de Resíduos Sólidos
EEAB	Estação Elevatória de Água Bruta
ETA	Estação de Tratamento de Água
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FMEA	Análise de Modo de Falhas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
ID	Índice de Detecção
IO	Índice de Ocorrência
IS	Índice de Severidade
ISSO	Organização internacional para Padronização
IWA	Associação Internacional da Água
MG	Minas Gerais
NBR	Norma Brasileira
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PARH	Plano de Ação de Recursos Hídricos
PC	Ponto de Controle
PCC	Ponto Crítico de Controle
PIB	Produto Interno Bruto
PIRH	Plano Integrado de Recursos Hídricos
UPGRH	Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos

PMSBNE	Plano Municipal de Saneamento Básico de Nova Era
PSA	Plano de Segurança de Água
RPN	Número de Prioridade de Risco.
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SEMAE	Secretaria Municipal de Água e Esgoto
UNICEF	Fundo das Nações Unidas para a Infância
UTS	Unidade de Tratamento Simples
WHO	Organização Mundial da Saúde

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 JUSTIFICATIVA E ADERÊNCIA DO ESTUDO DE PESQUISA DO PROFÁGUA.....	17
3 OBJETIVOS.....	17
3.1 Objetivo geral.....	17
3.2 Objetivos específicos	18
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	19
4.1 A água e o consumo humano.	19
4.2 Sistema de Abastecimento de Água - SAA	22
4.3 Perigos e Riscos associados ao Sistema de Abastecimento de Água	27
4.4 Plano de segurança da Água – PSA	32
4.4.1 Aspectos gerais.....	32
4.4.2 Etapas de um Plano de Segurança de Água-PSA	35
4.5 FMEA	43
4.5.1 Passos para elaboração	45
5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	48
5.1 Localização geográfica.....	48
5.1.1 Delimitação da bacia hidrográfica e hidrografia	49
5.1.2 Clima.....	50
5.1.3 Solos	51
5.1.4 Esgotamento sanitário e resíduos sólidos	52
6 METODOLOGIA	53
6.1 Descrição do Sistema de Abastecimento de Água de Nova Era.....	53
6.1.1 Captação manancial córrego da Passagem	53
6.2 Avaliação Semiquantitativa de Riscos	56
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
7.1 Determinação dos Números de Prioridade de Riscos (RPN)	64
7.1.1 Bacia do córrego da Passagem, captação e represamento.	64

7.1.2 Estação de Tratamento de Água.....	71
7.1.3 Coagulação.....	71
7.1.4 Floculação.....	76
7.1.5 Decantação.....	81
7.1.6 Filtração.....	85
7.1.7 Desinfecção.....	90
7.1.8 Fluoretação.....	93
7.1.9 Laboratório.....	94
7.1.10 Produtos químicos.....	98
7.1.11 Reservação.....	103
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108
APÊNDICES.....	120

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento e desenvolvimento populacional, a demanda por água aumentou de forma abrupta e se prolonga cada vez mais. À vista disso os impactos antrópicos sobre as águas estão cada vez mais evidentes, além dos efeitos das mudanças climáticas que representam um fator agravante para os recursos hídricos. Neste contexto, além da escassez quantitativa, destaca-se também a preocupação com a escassez qualitativa de água. Sendo assim, o gerenciamento da água é essencial, pois, o mesmo envolve o equilíbrio, a sua proteção e as necessidades econômicas, sanitárias e sociais das comunidades (ONU, 2010).

O ODS (Objetivo de Desenvolvimento Sustentável) número seis, estabelecido pela ONU, busca garantir o acesso universal e equitativo à água potável e saneamento básico para todos, bem como melhorar a qualidade da água e proteger os ecossistemas aquáticos. No Brasil, apesar da presença de uma das maiores reservas de água doce do mundo, ainda existem desafios na garantia da qualidade e quantidade da água para a população. Muitas localidades ainda não possuem acesso à água potável e ao tratamento de esgotos, o que gera problemas de saúde pública e afeta a qualidade de vida da população (ONU, 2015).

Com a falta de planejamento da gestão pública, o saneamento básico se tornou um dos aspectos de maior vulnerabilidade das cidades, principalmente em municípios menores devido às consequências do crescimento da urbanização que impõe pressão nos sistemas de abastecimento de águas municipais. Dessa maneira, o setor de saneamento necessita de investimentos, uma vez que a minoria dos municípios brasileiros teve condições de executar melhorias, por outro lado, a falta de execução de melhorias têm ocasionado a deterioração dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, intensificando as situações de insalubridade ambiental (TUROLLA, 2002).

O Sistema de Abastecimento de Água (SAA) compreende o sistema produtor de água (captação, elevatórias, adutoras e estações de tratamento de água) e o sistema de distribuição (reservatórios e redes de distribuição), segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2010). Nestes sistemas, são utilizadas para controle de qualidade da água análises físicas, químicas e microbiológicas. Para fortalecer as práticas de vigilância da qualidade da água, a Organização Mundial da Saúde-OMS recomenda em seus Guias que foram publicado na terceira e quarta edição a necessidade de os sistemas de abastecimento de água conterem um Plano de Segurança de Água-PSA (*Water Safety Plan*) (WHO, 2011). O PSA permite que todas as etapas do sistema sejam analisadas de forma sistêmica, desde o

manancial, até a distribuição, avaliando e minimizando os riscos existentes que possam afetar a saúde da população.

No Brasil, o Ministério da Saúde dispõe na portaria MS nº 888 de 4 de maio de 2021, que estabelece procedimentos de controle e de vigilância de água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. A portaria confere em suas atribuições no artigo 49 a exigibilidade da elaboração e implantação do Plano de Segurança da Água (PSA), se a autoridade de saúde pública julgar necessário (BRASIL, 2021).

Tratando-se de controle de qualidade e análises de riscos a ferramenta conhecida como “*Failure Mode and Effects Analysis*” (FMEA) vem sendo aplicada em diferentes áreas de pesquisa. Refere-se a uma metodologia acessível e uma ferramenta significativa para identificar fragilidades de um sistema. O FMEA pode auxiliar a prevenir potenciais falhas, diminuindo-as ou até mesmo, eliminando-as considerando três indicadores: a probabilidade de ocorrência da falha (O), o impacto ou a severidade da falha (S) e a capacidade para detectar a falha (D) (BAHRAMI, BAZZAZ, SAJJADI, 2012).

Perante o exposto, almeja-se com o presente estudo identificar pontos vulneráveis no sistema de abastecimento de água do município de Nova Era no estado de Minas Gerais, bem como apresentar proposições para mitigar os riscos constatados.

2 JUSTIFICATIVA E ADERÊNCIA DO ESTUDO ÀS LINHAS DE PESQUISA DO PROFÁGUA

O estudo de avaliação semiquantitativa de riscos utilizando a ferramenta FMEA se constitui como importante, pois consiste em ressaltar garantias na qualidade da água ofertada para população através do sistema de abastecimento público. A qualidade e o fornecimento de água adequada para consumo humano em um determinado espaço representa um reflexo positivo na qualidade de vida da população, sendo que a água interfere diretamente na saúde pública dos municípios.

Neste caso, o Plano de Segurança da Água (PSA) possibilita o planejamento futuro dos recursos hídricos e tem o intuito de minimizar os riscos, particularmente nos mananciais e no tratamento, além de adotar medidas preventivas na distribuição da água para garantir resultados promissores à saúde pública e à universalização do saneamento (WHO, 2011).

A relevância do tema sob a ótica do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos é o planejamento atual e futuro ao acesso à água adequada para consumo humano. A análise de riscos é relevante para garantir a gestão de perigos existentes nas estruturas do sistema, visto que, as informações obtidas na análise podem contribuir para uma futura elaboração do PSA.

As proposições e metodologias desenvolvidas sob as perspectivas da elaboração do Plano de Segurança da Água (PSA) no município de Nova Era – MG poderão servir como modelo para outros municípios de pequeno porte e também contribuir diretamente na base de dados do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo é realizar análise semiquantitativa de risco para o sistema de abastecimento de água de Nova Era - MG, aplicando a metodologia *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), com vistas à elaboração do Plano de Segurança da Água.

3.2 Objetivos específicos

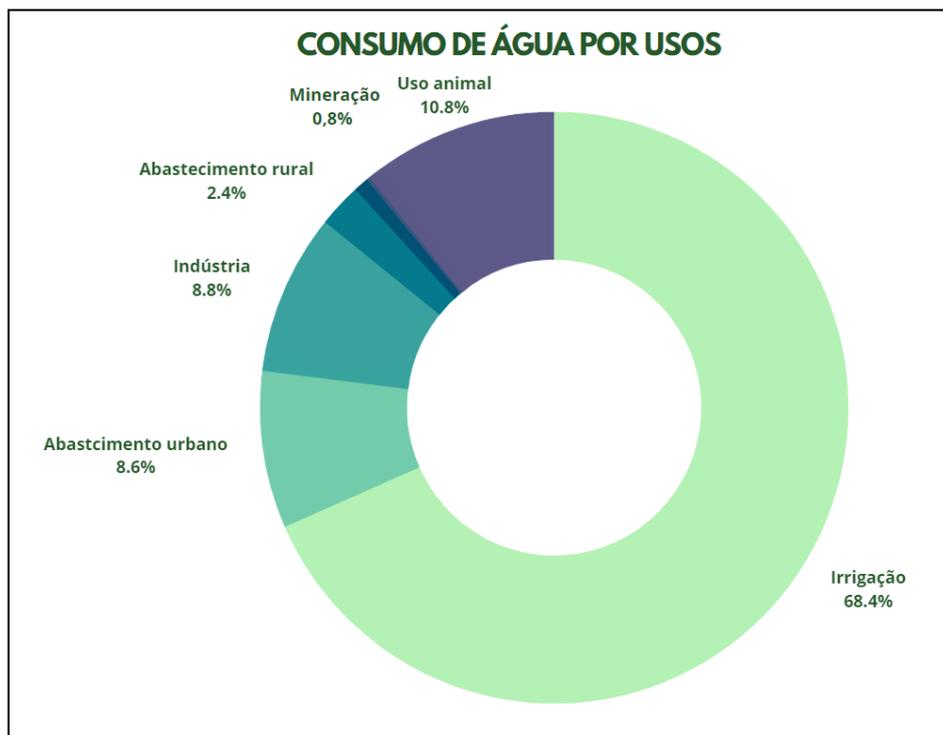
- Identificar principais falhas e riscos do sistema;
- Atribuir pesos referentes à severidade, frequência de ocorrência e facilidade de identificação;
- Propor medidas mitigadoras para diminuir ou eliminar as falhas e riscos do Sistema de Abastecimento de Água (SAA).

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 A água e o consumo humano

A água cobre cerca de 70% do planeta terra, totalizando cerca de 1,386 milhão de quilômetros cúbicos, sendo que deste montante, apenas 3% é de água doce (U.S. GEOLOGICAL SURVEY 2013). Esse recurso indispensável é necessário para uma vasta gama de usos, conforme apresentado na Figura 1, sendo que, quando não gerida e manejada adequadamente a água também pode se tornar um importante meio de propagação de doenças. Segundo a Organização Mundial da Saúde (2018), a ingestão de água sem tratamento adequado ocasiona diarreia aguda ao redor do mundo. Além disso, a cólera, a febre tifoide, a hepatite A e as parasitoses são algumas das outras doenças relacionadas ao consumo de água com qualidade inapropriada (SANTOS, *et al* 2013).

Figura 1: Demanda de uso da água no Brasil.



Fonte: AUTORA (2023). Dados obtidos ANA (2019).

Como pode ser observado, o consumo de água para o abastecimento humano é inferior ao do uso para irrigação. Mas devido à degradação dos corpos hídricos através de lançamentos de esgotos, efluentes industriais sem tratamento e fontes difusas oriundas do mal planejamento do uso e ocupação do solo, a disponibilidade de água para consumo humano vem sendo limitada em virtude da poluição que agrava a qualidade das águas e

consequentemente a oferta (TUCCI, 2008).

A deficiência dos sistemas de tratamento e os acidentes envolvendo produtos perigosos são outras fontes de comprometimento da qualidade da água para consumo humano, conforme a Figura 2.

Figura 2: Causas de insuficiência da qualidade de água para o consumo humano.



Fonte: Autora (2023).

Em suma, caracteriza-se como água potável aquela que está pronta para o consumo, sem ocorrência de agentes capazes de realizar transmissão ou causa de doenças. O órgão que determina a qualidade de água para o consumo no Brasil é o Ministério da Saúde, que segue critérios rígidos e específicos para esta análise. Atualmente, a legislação que trata de Potabilidade é a Portaria GM/MS n.º 888, de 4 de maio de 2021.

ONU (2013) define a segurança hídrica como a capacidade de uma população garantir o acesso sustentável a volumes adequados e de qualidade aceitável de água para garantir os meios de sustento, o bem-estar humano e o desenvolvimento socioeconômico, visando à proteção contra a contaminação da água e os infortúnios a ela relacionados. Assim, objetiva-se preservar os ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política.

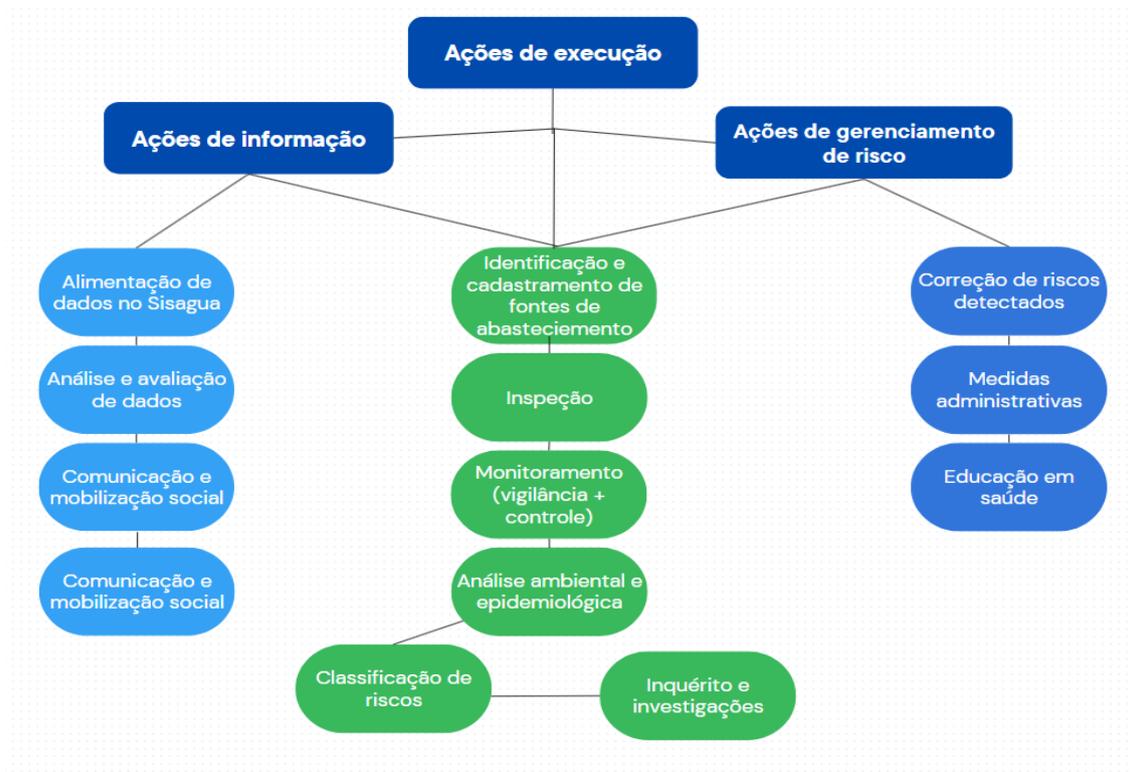
Heller e Pádua (2010) afirmam que somente o tratamento da água não garante a manutenção da condição da potabilidade, uma vez que, a qualidade da água pode se deteriorar nas unidades do sistema (no percurso do tratamento até a distribuição para o usuário final). Por isso, a legislação brasileira entende que a obtenção e a manutenção da potabilidade da água dependem de uma visão sistêmica (Brasil 2021). É pertinente salientar que uma visão sistêmica deve agregar a proteção dos mananciais, da área de drenagem, a seleção de

tecnologias eficazes para o tratamento, priorizando a adequada e certa operação das estações de tratamento de água, além de ações para evitar a contaminação da água no sistema de distribuição, garantindo segurança sanitária.

A visão sistêmica e as ações de controle citadas por Heller e Pádua (2010) agregam os conceitos de controle e vigilância da qualidade da água. O conceito de vigilância da qualidade da água para consumo humano representa o conjunto de ações assumidas com regularidade pela autoridade de saúde pública com finalidade de verificação do cumprimento da legislação (Brasil, 2021). A vigilância ainda considera pontos socioambientais, além do contexto local, para análise sobre a água consumida pelos cidadãos, onde se verifica se ela apresenta algum risco à saúde, reforçando o entendimento de que tanto o controle da qualidade da água, quanto a sua vigilância são instrumentos essenciais para a garantia da proteção à saúde pública (BRASIL, 2010).

Para tal, é necessário o atendimento da legislação referente a padrões de qualidade para potabilidade de águas para consumo humano. As autoridades da Saúde, com intuito de padronizar as ações de vigilância para propor a qualidade da água, assumiram um modelo de atuação com ações básicas. As ações básicas são distribuídas em três grupos: ações de informação, ações executivas e ações de gerenciamento de risco que podem ser observadas na Figura 3.

Figura 3: Ações básicas de operacionalização da vigilância da água para o consumo humano.



Fonte: Autora (2023). Dados BRASIL (2006).

Pode-se observar na Figura 3, que é essencial que o Sistema de Abastecimento de Água tenha um acompanhamento sistêmico acerca da qualidade da água para consumo humano. Na figura identifica-se características importantes para o acompanhamento sistêmico do SAA, acerca da alimentação de dados, que visa dar suporte as outras etapas das análises como a comunicação, inspeção, monitoramento, classificação dos riscos, correção dos riscos e medidas administrativas (Freitas *et al* 2005). Dessa maneira pode-se compreender melhor o SAA para tomada de decisões visando a proteção da saúde pública.

4.2 Sistema de Abastecimento de Água - SAA

Conforme Heller e Pádua (2010) o provimento de água mantém uma relação dúbia com o ambiente, em particular o hídrico, em que um lado é um usuário crucial de outro, e ao praticar o uso ocasiona impactos. Uma relação de equilíbrio com o ambiente é fundamental a um sistema de abastecimento, uma vez que existe a conexão da preservação do ambiente hídrico para garantir o abastecimento vindouro.

Além disso, existe relação entre a qualidade da água e saúde pública, onde as doenças de propagação hídrica aumentam devido à falta de saneamento e a irregular qualidade da água fornecida. De acordo com Heller e Pádua (2010), em meados do século XIX o clínico John Snow apresentou nitidamente em suas pesquisas que o número de óbitos consequentes da cólera mantinha relação com as habitações que recebiam fornecimento de águas contaminadas. Tamaña evidência foi precursora de uma nova abordagem científica para pesquisas acerca de questionamentos sobre saúde pública.

Um panorama mundial da associação da água com a saúde pode ser declarado por algumas condições apresentadas no documento “*CELEBRATING WATER FOR LIFE: The International Decade for Action 2005-2015*” (WHO, 2005):

- 1,8 milhão de pessoas morrem todo ano por doenças diarreicas (incluindo cólera); 90% são crianças abaixo de 5 anos, a maioria em países em desenvolvimento;
- 88% das doenças diarreicas são atribuídas a suprimento de água inseguro, saneamento e higiene inadequados;
- Melhoria de suprimento de água reduz morbidade por diarreia entre 6 a 25%, incluindo resultados severos. Avanço na qualidade do sistema de saneamento como o esgotamento sanitário diminui as taxas de morbidade ocasionada por diarreia em cerca de 32%;
- Medidas de intervenção higiênica, agregando também ações educacionais sobre a temática, como conscientização sobre lavagem das mãos, podem proporcionar a diminuição de casos de diarreia em um percentual mais elevado que 45%;
- Melhoramentos no quesito qualidade da água para consumo através de medidas de tratamento doméstico, como cloração no ponto de consumo, podem ocasionar uma redução de ocorrência de diarreia entre 35 a 39%;
- Avanço do acesso a informações confiáveis de água e hábitos de higiene mais adequados podem diminuir taxa de incidência de tracoma em 27%;
- 1,3 milhão de pessoas morrem por malária cada ano, sendo 90% crianças abaixo de 5 anos. Melhor gerenciamento de recursos hídricos reduz a transmissão da malária e outros vetores de doenças.

Contudo, o que é exibido na publicação da WHO/UNICEF (2010) é que, não obstante, a existência de avanço nas reparações das fontes de água para consumo no mundo, com um aumento de 10 pontos percentuais em 18 anos, resultando a marca de 87% da população mundial e 84% da população de localidades em desenvolvimento, ainda existem 884 milhões de pessoas no mundo sem acesso à água. Quase todas residem em regiões em desenvolvimento.

A Tabela 1 apresenta dados a respeito do evento de doenças relacionadas ao saneamento básico nos municípios do Estado de Minas Gerais. Ressalta-se que, atualmente, o Estado possui 853 municípios (IBGE, 2020).

Tabela 1: Municípios do Estado de Minas Gerais com ocorrência de doenças relacionadas ao saneamento básico.

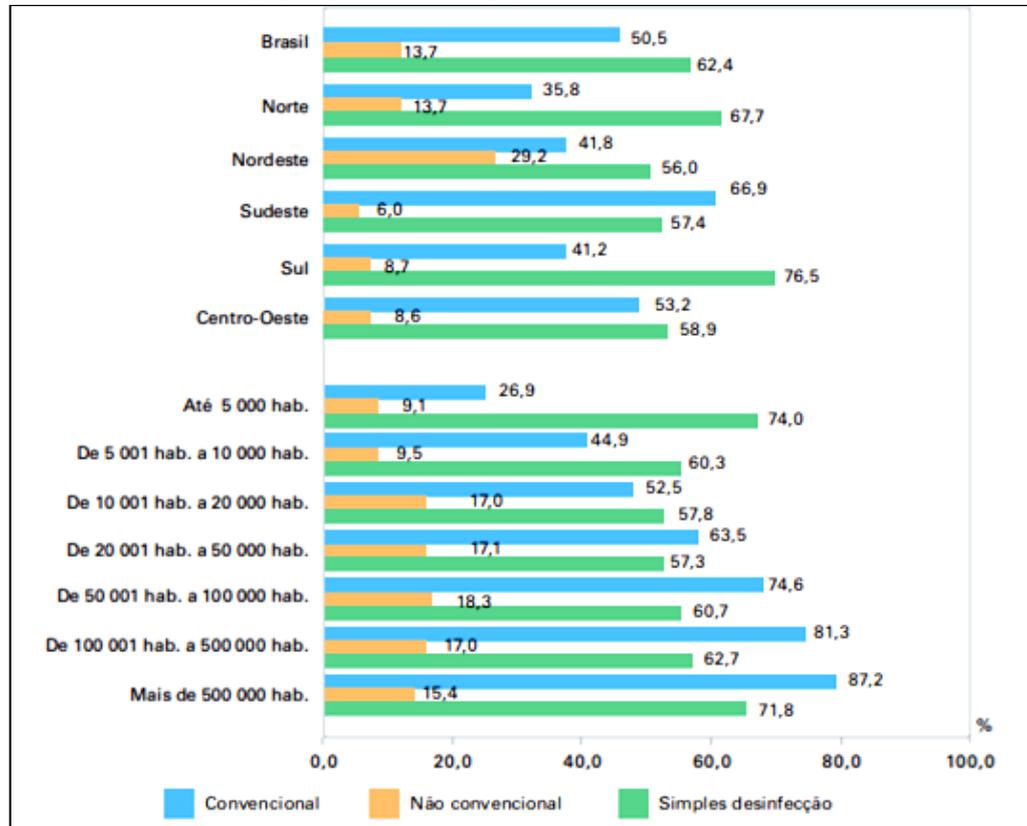
Minas Gerais - Percentual do total geral													
Variável-Municípios com ocorrência de doenças ao saneamento													
Ano de 2017													
Tipo de doença													
Total geral de municípios	Total	Diarreia	Leptospirose	Verminose	Cólera	Difteria	Tifo	Malária	Hepatite	Febre Amarela	Dermatite	Aparelho respiratório	Dengue
100,00	34,0	20,8	5,3	18,6	2,3	2,7	1,3	2,1	6	6,3	7,2	11,5	26,5

Fonte: Autora (2023). Dados IBGE – Pesquisa de informações básicas municipais (2017).

A Tabela 1 retrata a ocorrência de doenças relacionadas ao saneamento básico nos municípios de Minas Gerais. Observa-se que no total de 34,0% dos municípios apresentaram alguma doença relacionado ao saneamento, o maior percentual em destaque é a dengue, seguida da diarreia e verminose.

A Figura 4 apresenta dados sobre percentual de municípios com serviços de abastecimento e algum tipo de tratamento de água.

Figura 4: Percentual de Municípios com serviço de abastecimento de água em funcionamento e com ETAs e/ou UTS em operação, por tipo de tratamento realizado na água, segundo as classes de tamanho da população dos municípios.



Fonte: IBGE, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2017).

O tratamento mais conveniente depende da qualidade da água captada nos mananciais. Em todas as categorias de grandeza da população e em todas as Grandes Regiões, nota-se que, nos municípios com estações de tratamento de água ou unidade de tratamento simplificado em operação, o tratamento convencional e a simples desinfecção representam as práticas mais usuais. A investigação por classes de tamanho da população apresenta que, quanto maior número representativo da população, maior é a porcentagem de municípios onde ocorria tratamento convencional da água.

A simples desinfecção é permitida em locais com captação de água subterrânea de acordo com a Portaria de potabilidade N° 888/2021. Segundo Libânio (2010), a seleção da tecnologia de tratamento mais apropriada deve ser realizada de acordo com as características da água bruta, os custos envolvidos, o manuseio e confiabilidade dos equipamentos, a flexibilidade operacional a localização geográfica e as características da população.

Ainda, segundo Libânio (2010), a escolha da tecnologia de tratamento segue as medidas aplicadas na resolução CONAMA 357 (2005) e pela NBR 12216 (1992), em que

frequentemente a escolha converge para a tecnologia do tratamento convencional que são apropriados para locais onde os corpos hídricos estão menos conservados.

De acordo com o IBGE (2022), os municípios podem ser classificados a partir da dimensão da população, da densidade demográfica e da composição do Produto Interno Bruto (PIB). A classificação de acordo com o número de habitantes, segue os valores apresentados a seguir:

- Municípios de Pequeno Porte I: com número de habitantes no máximo 20.000;
- Municípios de Pequeno Porte II: com número de habitantes entre 20.001 a 50.000;
- Municípios de Médio Porte: com número de habitantes entre 50.001 a 100.000;
- Municípios de Grande Porte: com número de habitantes entre 100.001 a 900.000;
- Consideradas Metrôpoles: com número de habitantes de 900.001 ou superior.

Segundo o IBGE (2022), Minas Gerais se caracteriza como segundo estado com maior número populacional do país, com número estimado de 20.539.989 habitantes e densidade de 35,02 habitantes / km². O Estado segue a tendência nacional quanto à distribuição das cidades por porte, tendo predominância de municípios de pequeno porte, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Total de municípios por porte - Minas Gerais.

Porte	Números de municípios	% de municípios
Pequeno I	675	79,13%
Pequeno II	112	13,13%
Médio	37	4,34%
Grande	28	3,28%
Metrópole	1	0,12%
Total de municípios	853	100%

Fonte: Autora (2023). Dados IBGE – Censo Demográfico (2022).

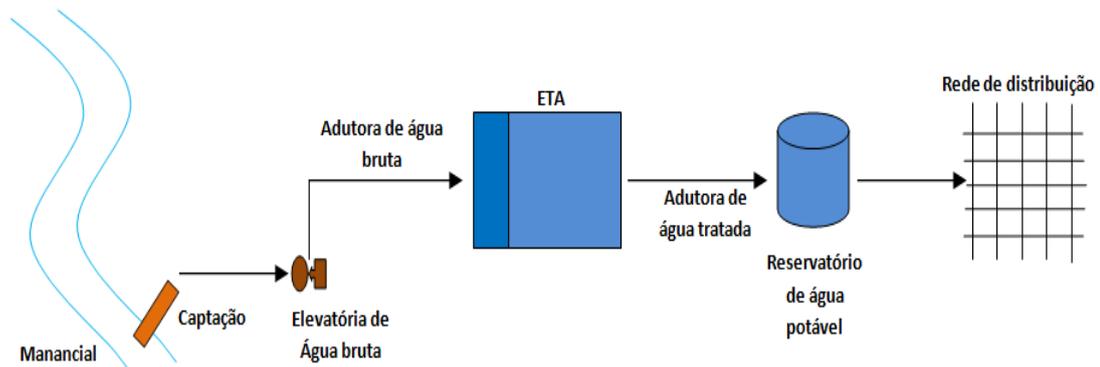
A ocorrência dos percentuais mais elevados de tratamento não convencional foi observada entre os municípios com número maior de 20.000 habitantes, enquanto para as cidades com população inferior a esse valor, o maior percentual de municípios apresenta tratamento por simples desinfecção.

O sistema de abastecimento deve ter em sua concepção a harmonia das relações com o meio ambiente e com a saúde humana. Sendo assim, Azevedo *et al.*, (1998) classificam o sistema de abastecimento de água como o conjunto de obras, equipamentos e serviços

destinados ao abastecimento de água potável a uma determinada população com finalidade de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos.

Na Figura 5 é apresentado um esquema de sistema de abastecimento de água convencional.

Figura 5: Sistema de abastecimento convencional de água- SAA.



Fonte: Autora (2023).

A escolha de uma fonte de água é um ponto fundamental no projeto de sistemas de abastecimento de água. Brasil (2006) cita critérios que devem ser levados em consideração no momento da escolha do manancial, tais como:

- Análise da composição orgânica, inorgânica e bacteriana do manancial;
- Realizar estudo sobre quantitativo de vazões do manancial, confirmando se ele pode atender à demanda do projeto;
- Destaque de boa qualidade da água para redução e custos de tratamento.

4.3 Perigos e Riscos associados ao Sistema de Abastecimento de Água

É importante fazer-se a distinção entre perigos e riscos. De acordo com Rashon (2009), os perigos associados aos sistemas de abastecimento de água são aqueles relacionados com a capacidade de causar um efeito adverso sobre a saúde, seja pela presença de atividades antrópicas, ou por agentes biológicos, físicos, químicos ou radiológicos. Quanto ao risco, Bevilacqua *et al.*, (2002) conceituam que se refere à probabilidade de ocorrência de um evento, com efeito, que possam causar prejuízos à saúde ou até mesmo ocasionar óbito.

Exemplificando, a água para consumo humano que contenha agentes patogênicos indica perigo, quando é fornecida para a população, a mesma está em risco devido à probabilidade de prejuízo à saúde. Por exemplo, casos de diarreias, que também podem se agravar.

Uma vez identificadas as possíveis causas dos perigos, deve-se constituir o nível dos riscos que o sistema oferece para a população e documentar as prioridades da gestão de riscos (MS, 2006). O uso de uma abordagem integrada para avaliação de risco e gestão de sistemas de água potável aumenta a confiabilidade na inocuidade da água. Essa abordagem acarreta à avaliação sistemática dos riscos em todo o sistema, e a decisão de medidas que podem ser aplicadas para gerenciar esses riscos (MS, 2006). A inspeção preventiva é a melhor maneira de garantir a qualidade da água destinada ao consumo, tendo em conta que muitas particularidades do controle da qualidade da água potável escapam à competência direta do prestador de serviços de abastecimento de água, é fundamental assumir um sistema de colaboração entre múltiplas organizações com competências em aspectos específicos do ciclo, para garantir sua participação no gerenciamento da qualidade da água (MS, 2006).

A investigação de risco é um procedimento que deve ser realizado para a qualidade da água potável, e não é um objetivo em si. No entanto, é parte integrante de um período sinérgico em que a análise de risco é realizada para adoção de decisões de controle que, uma vez tomadas, apresentam-se como relevantes na proporção da qualidade da água, principalmente em termos de saúde (OMS, 2006).

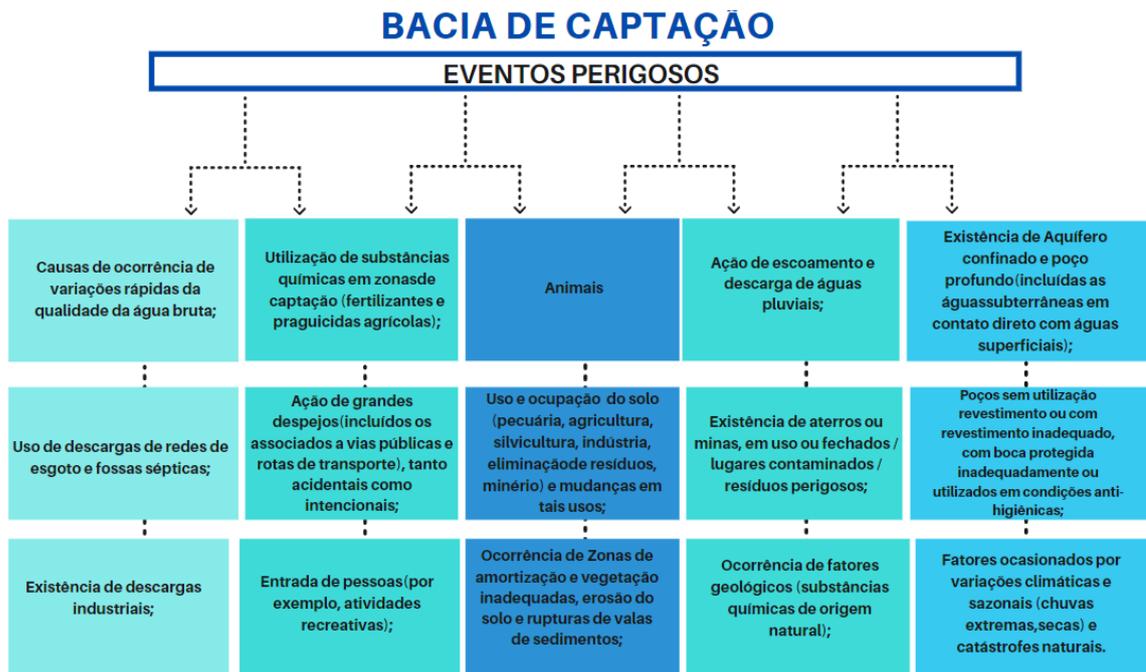
A qualidade da água pode ser ameaçada em quaisquer etapas ou até mesmo em qualquer item do sistema de abastecimento de água. Entretanto, em situação que acarrete falha na rede de distribuição, ela pode se tornar extremamente crítica devido à sua proximidade do ponto de entrega ao consumidor final e, conseqüentemente, se não houver medida preventiva tomada pelo próprio consumidor, não há muitas barreiras que possam protegê-lo antes de consumir água contaminada (SADIQ e RODRIGUEZ, 2005).

O gerenciamento eficaz da bacia de captação tem várias potencialidades, pois ao diminuir a contaminação da água de origem, a necessidade de tratamento é reduzida, permitindo custos operacionais mínimos e a geração de subprodutos do tratamento (MS, 2012). Assim, é imperativo conhecer a fonte das variações na qualidade da água bruta, pois isso afeta na necessidade de tratamento, sua eficácia e, conseqüentemente, o risco à saúde associado à água tratada. Em suma, a qualidade da água bruta é afetada por fatores naturais e artificiais. A vida animal e vegetal, o clima, a topografia e a geologia são fatores naturais importantes. Os fatores de uso humano incluem fontes pontuais de poluição (descargas de

resíduos municipais e industriais) e fontes difusas (escoamento urbano e agrícola, pecuária ou uso recreativo) (VIEIRA e MORAIS, 2005).

Em uma análise dos sistemas de abastecimento de água é pertinente se atentar aos seguintes fatores de eventos perigosos que possam estar presentes e que podem acarretar danos às bacias de captação e aos usuários da água (MS, 2006). Tais eventos perigosos podem ser observados na Figura 6.

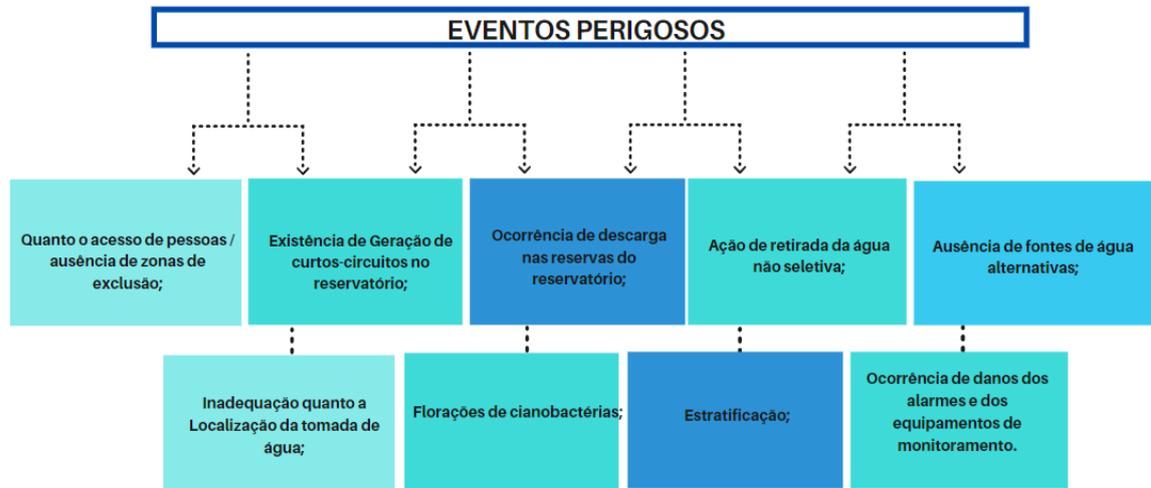
Figura 6: Eventos perigosos que possam estar nas bacias de captação.



Fonte: Autora (2023). Dados MS (2006).

Em relação aos reservatórios de armazenamento e tomadas de água, devem ser observados os seguintes fatores e eventos perigosos (MS 2006) conforme descrito na Figura 7.

Figura 7: Eventos perigosos que possam estar nos reservatórios de captação e tomadas de água.

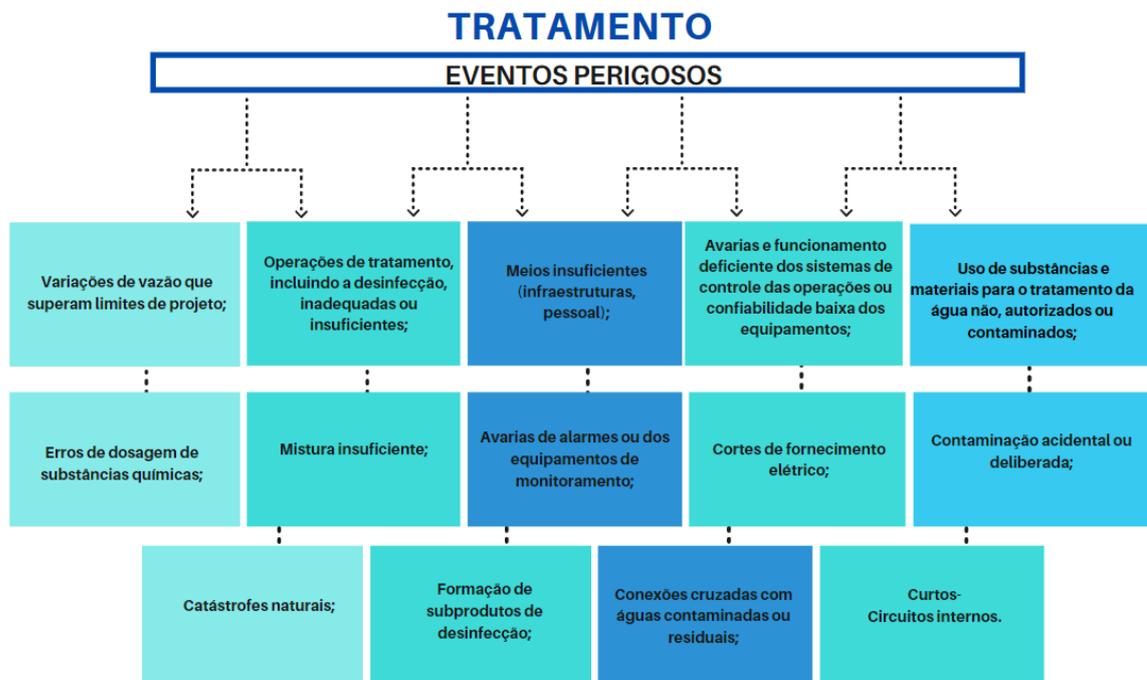


Fonte: Autora (2023). Dados MS (2006).

Após a proteção da água bruta, as barreiras seguintes contra a contaminação do SAA são as operações de tratamento de água, incluídas a desinfecção e a eliminação de contaminantes por meios físicos (WHO, 2005).

O tratamento também pode ser afetado por alguns fatores de perigo ou eventos perigosos segundo Le Chevallier *et al.*, (2004) conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8: Eventos perigosos que possam estar no tratamnto da água.



Fonte: Autora (2023). Dados MS (2006).

Proteger o sistema de distribuição de água também é importante, pois ele pode envolver muitos quilômetros de canais, reservatórios de armazenamento e conexões com os usuários. É importante também prevenir sobre a possibilidade de atos de vandalismo, pois é provável a contaminação microbiana e química do sistema. Tal contaminação pode ser introduzida por diversos meios, tais como (LE CHEVALLIER e AU, 2004):

- A entrada de água contaminada procedente do subsolo e, sobretudo, de bueiros em torno do sistema de distribuição, devido a uma baixa pressão no interior dos tubos ou por efeito de uma onda de pressão no sistema (infiltração);
- Através da sucção de água contaminada na rede ou no reservatório de armazenamento ocasionada por refluxo devido a uma subpressão na tubulação e pela existência de uma conexão indevida entre uma fonte de água contaminada e o sistema;
- Por meio de adutoras e reservatórios de água tratada abertos ou não protegidos contra atos de vandalismo e manipulação, que estão potencialmente expostos a fontes de contaminação fecal como a água de escoamento superficial e as fezes de aves aquáticas e outros animais;
- Por rupturas de tubulações ao reparar ou substituir tubulações existentes, ou ao instalar tubulações de águas residuais, ou pluviais com o sistema de distribuição, ou por conexões ilegais, ou não autorizadas;
- Devido à dissolução de substâncias químicas e metais pesados procedentes de materiais como tubulações, soldas e juntas, torneiras e substâncias químicas utilizadas na limpeza e desinfecção dos sistemas de distribuição;
- Através da difusão de combustível ou óleo através de tubulações de plástico.

Srivasan *et al* (2008) destacam a capacidade dos microrganismos se desenvolverem nas redes de distribuição e observam que eles dependem da concentração residual do desinfetante e da concentração de substrato necessário para sua inativação.

A água contaminada com microrganismos é uma importante fonte de risco à saúde e bem-estar humano. Com esta finalidade, para a desinfecção usada na inativação dos microrganismos é necessária uma quantidade suficiente de cloro para garantir medida residual até o final da rede. Contudo, extrapolando quantidade de medida, acarretará mudança do gosto da água, podendo ocasionar queixas por parte dos consumidores. Além do odor gerado, o excesso de cloro pode causar também danos à própria rede, como corrosão, dependendo do

material, além de subprodutos carcinogênicos se houver presença de matéria orgânica em contato com o cloro (DI BERNARDO, PAZ, 2008).

Além dos perigos cotidianos e de base pública, deve haver um alerta sobre compostos como os microplásticos conforme enfatiza Olivatto *et al* (2018) como também os micropoluentes que não são considerados nas regulamentações atuais, quando os limites de detecção ou efeitos na saúde humana ainda podem ser desconhecidos (ALVES *et al*, 2017).

4.4 Plano de segurança da Água – PSA

4.4.1 Aspectos gerais

O plano de segurança da Água determina os parâmetros de controle para diminuir ou eliminar riscos e determina procedimentos para verificar a eficácia da gestão dos sistemas e a qualidade da água produzida e proporcionada ao usuário (VIEIRA e MORAIS, 2005).

Para a garantia e segurança da qualidade da água foram assumidas estratégias preventivas, nas quais os riscos devem ser identificados de forma proativa, além de também serem adequadamente avaliados e monitorados. Esta postura tem sido difundida a partir da elaboração e ação dos planos de segurança da água, mais especificamente, por meio do gerenciamento e monitoramento dos riscos para o suprimento de água, da captação ao consumidor final (HAMILTON *et al.*, 2006).

A definição feita pelos Guias da Organização Mundial da Saúde a esses projetos de gerenciamento para serem elaborados através dos prestadores de serviços de água é o “PSA - Plano de Segurança da Água” (OMS,2017). Um PSA abrange a análise e o projeto do sistema, os planos de gerenciamento e controle operacional, agregando também a documentação e comunicação relevantes. Seus itens tem fundamento no princípio de barreiras múltiplas, os princípios de análise de risco e ponto crítico de controle, além de outras metodologias de gerenciamento. Os planos devem abranger todas as características do sistema de água potável (WHO/IWA, 2009).

Uma das ações que pode ser assumida como estratégias para diminuir riscos de natureza microbiológica, física ou química agregados no ato de abastecimento de água é a utilização de barreiras de proteção, chamadas de barreiras múltiplas. Seu conceito é constituído de etapas do sistema, no qual se inserem procedimentos para agir com prevenção, redução, eliminação ou até mesmo minimização da contaminação da água, desde a captação até a distribuição (Brasil, 2021). A atitude de proteger a água para consumo humano pode ser

implantada pela administração do SAA. Algumas sugestões de barreiras de proteção que podem ser inseridas no SAA são apresentadas na Figura 9.

Figura 9: Múltiplas barreiras de proteção em SAA.



Fonte: Autora (2023).

As chamadas barreiras de proteção são importantes para mitigar riscos que se caracterizam como inaceitáveis, mesmo após tomada de ações de tratamento terem sido assumidas.

As barreiras múltiplas iniciam-se pela proteção da bacia e manancial, continuando sua ação pelas práticas adequadas de tratamento da água e persistindo por meio da adequada distribuição da água, como ilustra a Figura 10.

Figura 10: Princípio de múltiplas barreiras nos SAA.



Fonte: Autora (2023). Dados Vieira e Morais (2005).

Nesse panorama, nota-se a interface existente entre o PSA e os inúmeros instrumentos divulgados e de amplo conhecimento das áreas de Recursos Hídricos, de Gestão e de Saúde Ambiental, como: estudo dos impactos ambientais, avaliação ambiental estratégica, projetos de manejo, planos de gerenciamento, entre outros.

Os principais benefícios de elaborar e aplicar o PSA em sistemas que já fornecem água de qualidade segura dizem respeito à priorização de avaliação e classificação de perigos, bem como as barreiras operacionais ou medidas de controle. Além disso, um PSA inclui um sistema organizado que reduz a probabilidade de falhas ou omissões na gestão, bem como planos de contingência para remediar a falhas do sistema ou eventos perigosos imprevistos (WHO, 2005).

Os principais objetivos de um PSA para zelar pela aplicabilidade de métodos pertinentes no abastecimento de água potável são demonstrados na Figura 11.

Figura 11: Principais objetivos do Plano de Segurança da Água.



Fonte: Autora (2023). Dados MS (2006).

Tais objetivos tornam-se atingíveis graças a certas medidas necessárias, sendo: (WHO, 2009):

- Conhecimento do sistema e sua capacidade de distribuir água que cumpra as metas de proteção à saúde;
- Determinação das possíveis fontes de contaminação e do modo como se pode controlar;
- Validação das medidas de controle empregadas para combater os fatores de perigo;
- Aplicação de um sistema de monitoramento das medidas de controle adotadas no sistema de abastecimento de água;
- Adoção de um prazo suficiente de medidas corretivas para garantir a distribuição contínua de água inócua;
- Verificação da qualidade da água potável, a fim de comprovar a correta execução do PSA e que sua eficácia é a necessária para cumprir as normas ou objetivos da qualidade da água pertinentes de âmbito nacional, regional e local.

De acordo com o MS (2006), o desenvolvimento e aplicação de um PSA deve ser competência de toda entidade que exerça gerenciamento de sistema de água potável. Este projeto geralmente deve sofrer revisões e ser aprovado pelo Oficial de Proteção à Saúde Pública, para resguardar que a equidade de água distribuída atenda aos planos de proteção à saúde traçados.

De acordo com Lane *et al* (2022), é necessário ter parcerias e apoios entre a comunidade e a administração pública como fonte de informação e orientação sobre a forma adequada de gerir as fontes de água para consumo, principalmente onde não houver um prestador de serviço formal, pois, essas comunidades necessitam de uma estrutura de gestão para promover o fornecimento de água potável e segura para a população.

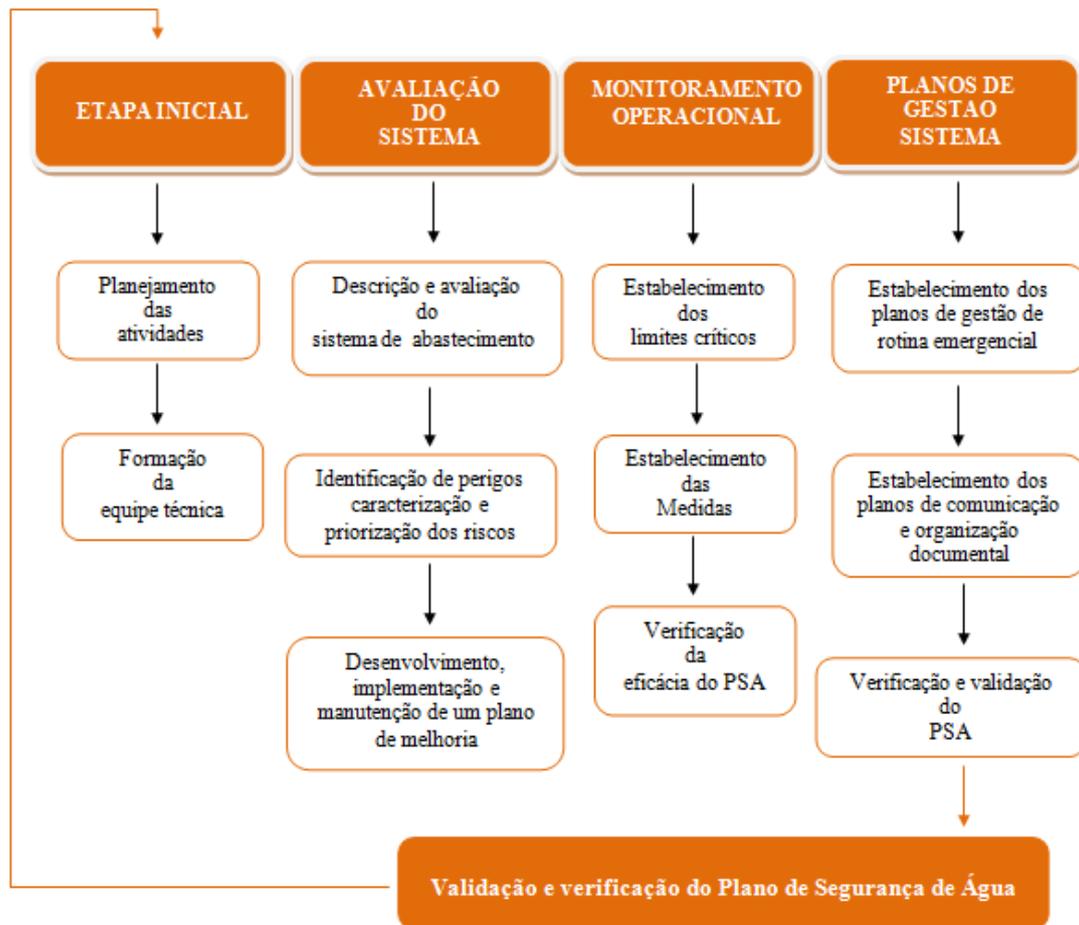
4.4.2 Etapas de um Plano de Segurança de Água-PSA

O PSA apresenta um mínimo de três medidas cruciais, guiadas por finalidades de proteção à saúde e gerenciadas mediante o monitoramento do abastecimento de água potável, para resguardar a segurança da água para consumo humano. Tais medidas são direcionadas com responsabilidade do prestador de serviço de água, sendo: avaliação do sistema, monitoramento operacional eficaz e gestão (OMS, 2006).

As etapas fundamentais para a elaboração de um plano de segurança da água

conforme WHO(2005), são apresentadas na Figura 12.

Figura 12: Etapas de um Plano de Segurança da Água.



Fonte: Autora (2023). Dados de WHO (2005).

Determinar uma equipe com qualificação técnica e comprometimento é um dos requisitos para assegurar que se tenha critérios técnicos necessários para desenvolver um PSA. Tal grupo assumirá competência para elaboração, execução e manutenção do PSA como parte essencial de suas atribuições rotineiras. É crucial que todos os integrantes apoiem a metodologia de PSA e apresentem uma função ativa em seu desenvolvimento.

É relevante que o grupo responsável pelo PSA tenha suporte teórico e prático para compreender a captação, tratamento e distribuição de água e os perigos que podem afetar a segurança da água em todo o sistema de abastecimento, da bacia de captação ao ponto de consumo (WHO/IWA, 2009).

Adota-se como primeira atividade da equipe de PSA, a descrição completa do sistema de abastecimento de água. Além disso, é importante a aferição da parte documental do sistema de abastecimento de água. Caso não possua registros, é imperativo realizar ação

de documentá-lo. A finalidade é garantir a fidelidade da documentação subsequente sobre a natureza da qualidade da água bruta , semitratada e tratada, e do sistema usado para produzir água com qualidade, para permitir a avaliação e gestão adequadas dos riscos (WHO/IWA, 2009).

A etapa do minitoramento operacional tem objetivo de monitorar os riscos e assegurar que as metas de saúde ocorram conforme estabelecidas. Os planos de gestão permitem a verificação contínua do PSA descrevendo a rotina do sistema e suas condições. Sua finalidade é documentar todas as ações realizadas na etapas anteriores a fim de verificar a eficácia da implantação do PSA (VIEIRA e MORAIS, 2005).

É necessário descrever o sistema de abastecimento de água com todas as informações necessárias conforme pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1: Informações para avaliação do SAA.

COMPONENTE DO SAA	
Bacias de captação	Geologia e hidrologia;
	Dados meteorológicos e climáticos;
	Situação geral da bacia de captação e rio(s);
	Fauna e flora;
	Outros usos da água;
	Tipo e intensidade do manejo e uso das terras;
	Outras atividades realizadas na bacia que podem liberar contaminantes na água;
	Atividades futuras previstas.
Águas superficiais	Descrição do tipo (rio, reservatório, barragem);
	Características físicas (tamanho, profundidade, estratificação térmica, altitude);
	Vazão e confiabilidade da água de origem;
	Tempos de retenção;
	Constituintes da água (físicos, químicos, microbiológicos);
	Proteção (cercas, acessos);
	Atividades recreativas e outras atividades humanas;
	Transporte de água a granel.
Águas subterrâneas	Aquíferos confinados ou não;
	Características hidrogeologias do aquífero;
	Vazão e direção;
	Capacidade de diluição;
	Zona de recarga;
	Proteção da boca do poço;
	Profundidade de revestimento;
	Transporte de água a granel.
Tratamento	Operações de tratamento (inclusive as opcionais);
	Desenho dos equipamentos;
	Equipamentos de monitoramento e de operação automática;
	Substâncias químicas utilizadas;
	Rendimentos do tratamento;
	Eliminação de agentes patógenos mediante desinfecção;
	Resíduo de desinfetante / tempo e contato.
Reservatório e Distribuição	Desenho dos reservatórios;
	Tempos de retenção;
	Variações sazonais;
	Proteção (cobertura, cerca, acessos);
	Desenho do sistema de distribuição;
	Condições hidráulicas (pressões, vazões);
	Proteção contra refluxo;
Resíduos de desinfetante.	

Fonte: Autora (2023). Dados OMS (2006).

A equipe de PSA deverá determinar para cada etapa do diagrama de fluxo do processo validado o que pode apresentar falha no sistema de abastecimento de água. Ou seja, quais perigos ou eventos perigosos podem se fazer presentes. A indicação dos perigos é realizada mediante visitas *in loco* na área além de pesquisa e elaboração da documentação de vistoria técnica.

A vistoria visual de aspectos como a zona adjacente aos pontos de captação e os componentes do tratamento podem fazer cruciais revelações sobre perigos que não seriam detectados unicamente mediante análise da documentação. A constatação dos perigos também exige o estudo de fatos e informações passados, assim como de prognósticos baseados na informação e conhecimentos do serviço de abastecimento de água sobre aspectos particulares dos sistemas de tratamento e abastecimento (WHO/IWA, 2009). A Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) é mais um dos princípios utilizados no PSA. A APPCC fundamenta-se em uma perspectiva sistêmica para identificar perigos, tangendo a possibilidade de provocar danos à saúde. Além disso, permite avaliar os riscos que são capazes de atingir a qualidade da água, com a finalidade de determinar medidas para contê-los (WHO, 1995, GUNNARSDÓTTIR, *et al.*, 2010).

Segundo WHO (1995), o sistema APPCC baseia-se em um sistema de engenharia conhecido como Análise de Modos de Falhas e Efeitos (*Failure Mode and Effect Analysis – FMEA*), em que se observam, em cada etapa do processo, as falhas que podem ocorrer, suas causas prováveis e seus efeitos, para então estabelecer mecanismos de controle.

Os dados presentes nos diagramas de fluxo e o conhecimento do funcionamento do sistema de abastecimento são as bases para a identificação dos perigos relacionados com a deteriorização da água (VIEIRA e MORAIS, 2005). Utilizando-se o mesmo fundamento aos sistemas de abastecimento de água, definindo-se um Ponto Crítico de Controle - PCC como a etapa do processo onde é crucial a aplicação de parâmetros de controle para prevenir, eliminar ou reduzir a um nível aceitável um perigo à segurança da água potável (VIEIRA e MORAIS, 2005).

Ainda de acordo com Vieira e Morais (2005), para analisar os riscos advindos de cada perigo, é necessário determinar uma escala de probabilidade de ocorrência, e suas consequências para a saúde da população abastecida, além de uma escala de severidade das consequências que podem ser observadas nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3: Escala de probabilidade de ocorrência.

Probabilidade de Ocorrência	Descrição	Peso
Quase certa	Espera-se que ocorra 1 vez por dia	5
Muito provável	Vai acontecer provavelmente 1 vez por semana	4
Provável	Vai acontecer provavelmente 1 vez por mês	3
Pouco provável	Pode ocorrer 1 vez por ano	2
Raro	Pode ocorrer em situações excepcionais (1 vez em 10 anos)	1

Fonte: Autora (2023). Dados: Vieira & Morais (2005).

Tabela 4: Escala de severidade e consequência.

Severidade das Consequências	Descrição	Peso
Catastrófica	Letal para uma parte significativa da população ($\geq 10\%$)	5
Grande	Letal para uma pequena parte da população ($< 10\%$)	4
Moderada	Nocivo para uma parte significativa da população ($\geq 10\%$)	3
Pequena	Nocivo para uma pequena parte da população ($< 10\%$)	2
Insignificante	Sem qualquer impacto detectável	1

Fonte: Autora (2023). Dados: Vieira & Morais (2005).

A especificação dos riscos pode ser realizada com base no produto entre a probabilidade de ocorrência e a severidade da consequência, como se pode observar na Tabela 5.

Tabela 5: Matriz de classificação de riscos por ordem de importância.

Probabilidade de Ocorrência	SEVERIDADE DAS CONSEQUÊNCIAS				
	Insignificante	Pequena	Moderada	Grande	Catastrófica
Quase certa	5	10	15	20	25
Muito Provável	4	8	12	16	20
Provável	3	6	9	12	15
Pouco provável	2	4	6	8	10
Raro	1	2	3	4	5

Fonte: Autora (2023). Dados: Vieira & Morais (2005).

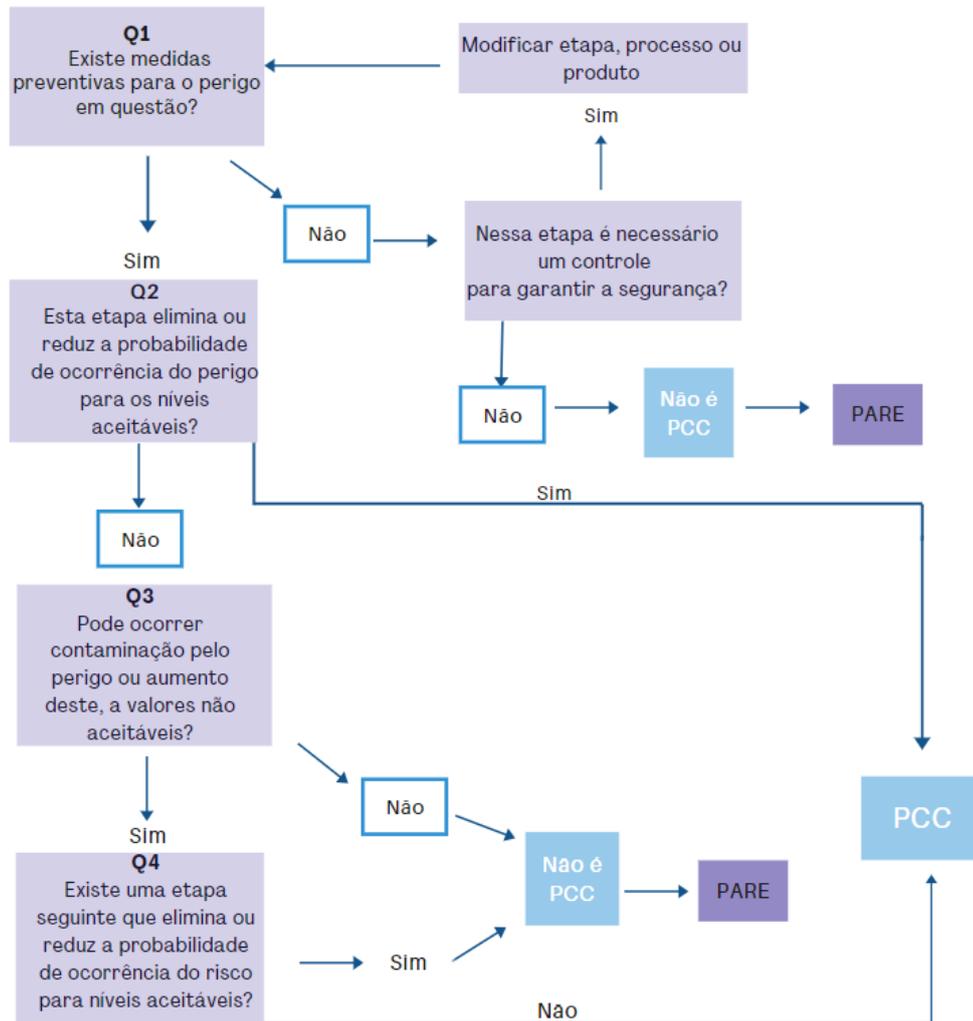
A análise desta matriz pode determinar vários intervalos, tendo as seguintes referências: de [1-5] o risco classificado como baixo, [6-10] moderado, [12-15] elevado e de [16-25] extremo. A adoção desta metodologia requer a utilização de bom senso de maneira a poderem distinguir casos que representam situações de perigo distintas, embora possam apresentar pontuações semelhantes (VIEIRA e MORAIS, 2005). O grupo responsável pela elaboração necessita determinar valores de controle, e sob a ótica destes valores, atentar-se para os riscos que exigem uma atenção maior, que são os riscos de maiores pesos. Já os riscos com pesos menores serão considerados como baixa prioridade, que devem ser considerados nas interações futuras (WHO, 2004).

Com isso, os eventos perigosos classificados como raros, como as consequências catastróficas, devem ter maior prioridade para controle do que outros, que embora ocorram com maior frequência apresentam danos limitados na saúde pública. Constatando-se a pontuação de risco classificada com um valor igual ou superior a 6 (Moderado) considera-se um Ponto de Controle (PC) (VIEIRA e MORAIS, 2005).

Em mesmo momento em que se caracterizam os perigos e é feita análise de valor dos riscos, os responsáveis pelo PSA devem elaborar a documentação sobre as medidas de controle disponíveis e com potencial. Ou seja, a equipe tem de analisar se as medidas de controle existentes apresentam eficácia.

A Figura 13 apresenta um diagrama para definição dos possíveis PCCs (pontos críticos de controle).

Figura 13: Árvore de decisão para definição de PCC.



Fonte: Autora (2023). Dados: Vieira & Morais (2005).

Caso na etapa anterior constata-se que existem riscos significativos para a segurança da água, os quais demonstram que não existem medidas de controle ou as mesmas se apresentam com eficácia adequada, deve-se desenhar um plano de melhoria ou modernização. Cada melhoria deve ser acompanhada por uma data de execução definida e por alguém responsável por sua implementação. A avaliação às vezes não determina a demanda de executar novos investimentos. Mesmo porque, em algumas ocorrências é o suficiente a análise e o procedimento de documentação para formalizar os métodos que não são eficazes.

Assim, em diferentes circunstâncias, podem surgir a necessidade de implementar melhorias adequadas, que podem requerer ações de controle ou até mesmo o aprimoramento das já existentes no contexto. Além disso, em determinadas situações, pode ser necessário realizar intervenções mais significativas na infraestrutura do sistema. (WHO, IWA, 2009).

4.5 FMEA

A análise de modo e efeitos de falhas (*Failure Mode and Effects Analysis* - FMEA) foi elaborada primeiramente na década de 60, em 1963, através da indústria aeroespacial, a qual tinha como objetivo minimização de riscos em missões espaciais (BAHRAMI, BAZZAZ, SAJJADI, 2012). A metodologia se apresentou como ferramenta de suma importância na análise e prevenção de potenciais falhas (MANDAL e MAITI, 2014). A FMEA se caracteriza como técnica para identificar e eliminar falhas, problemas e/ou erros, sejam conhecidos ou potenciais, de um sistema, processo ou serviço antes de chegar ao consumidor final (LOLLI *et al.*, 2015). FMEA tem sido utilizada em diversas áreas da indústria e do conhecimento, até mesmo a automotiva, aeroespacial, nuclear, eletrônica, química, mecânica, meio ambiente, entre outras (LIU, 2013, CHIN *et al.*, 2009, SHARMA *et al.*, 2005, ZAMBRANO e MARTINS, 2007).

A FMEA tem característica de flexibilidade em sua utilização, assim proporciona inúmeras adaptações para vários segmentos distintos, sendo esta uma das suas principais vantagens diante de outros métodos. A FMEA, assumindo cunho tradicional, tem como fundamento, inicialmente, formação de equipe multidisciplinar, seguida da etapa de caracterização das demandas de falhas potenciais do sistema ou produto, a partir de reuniões sistemáticas de discussões da equipe integrante. Após tal processo, um estudo crítico é realizado sobre os modos de falha, levando em conta os fatores de ocorrência (*O*), severidade (*S*) e detecção (*D*). O objetivo é apresentado para quantificar as falhas com finalidade de determinar prioridades para atribuir recursos ou ações para os riscos mais críticos (LIU *et al.*, 2012).

De acordo com Garcia (2013) a Ocorrência (*O*) está relacionada com a probabilidade e frequência de demandas de eventos perigosos. A Severidade (*S*) caracteriza-se como a magnitude ou intensidade dos efeitos associados à ocorrência do modo das falhas no sistema. A Detecção (*D*) é a capacidade de caracterização de uma causa potencial de falha, ou seja, a facilidade de percepção do perigo, de modo a prevenir a ocorrência do evento.

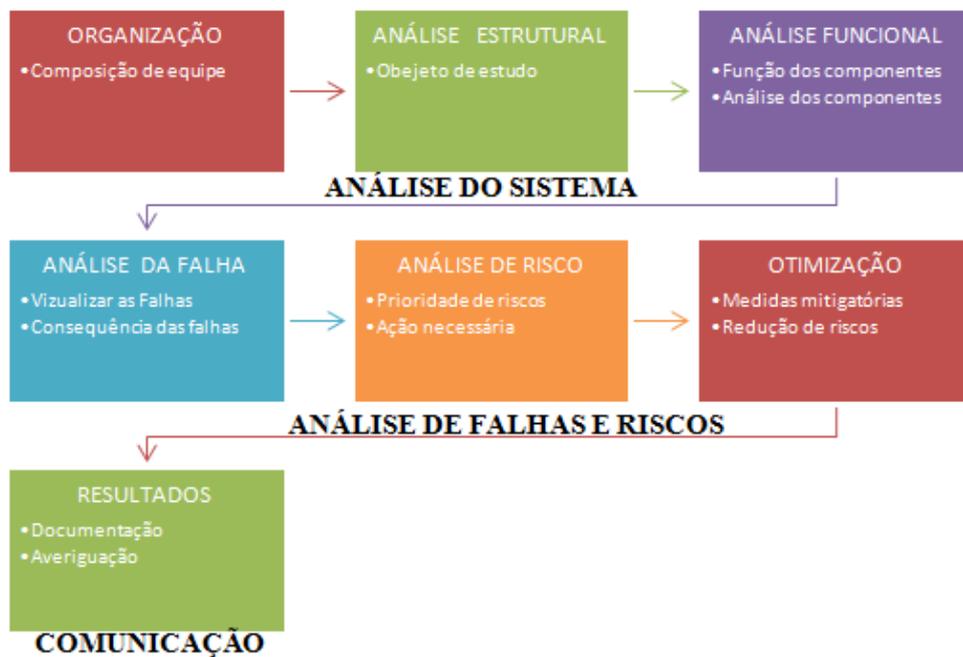
Geralmente, a priorização de tipos de falhas para caracterização de medidas corretivas, é determinada pelo Número de prioridade de Risco ou *Risk Priority Number* (RPN) em inglês.

Segundo Stamatis (2003), há ocorrência de três principais tipos de FMEA. A FMEA de sistema, a qual é utilizada para realização de critérios de avaliação das falhas no sistema nos estágios iniciais de conceituação e projeto. A FMEA de produto a qual é utilizada para

analisar possíveis falhas no projeto do produto antes da sua liberação para a manufatura. A FMEA de processo é utilizada para análise das falhas em processos. Cita as falhas do processo em relação ao cumprimento dos seus objetivos pré-definidos e está diretamente ligada à capacidade do processo em cumprir tais objetivos.

De acordo com Manual AIAG & VDA FMEA -1º edição, o método FMEA pode ser dividido em 7 etapas, conforme Figura 14.

Figura 14: Etapas para elaboração do FMEA.



Fonte: Autora (2023). Dados: Manual AIAG & VDA FMEA.

Segundo o manual AIAG & VDA FMEA, os passos podem ser agrupados em três fases:

- As etapas 1 a 3 representam a fase “Análise do sistema” de um estudo de FMEA.
- As etapas 4 a 6 representam a fase “Análise de falhas e mitigação de riscos” de um estudo da FMEA.
- A terceira fase, 7ª “Comunicação”, engloba a etapa de documentação dos resultados. (SANTOS *et al* 2021, PALADY, 2011).

4.5.1 Passos para elaboração da FMEA

- Planejamento e Preparação

O estudo de FMEA começa com a definição intencional e criteriosa de seu escopo. A equipe de gerenciamento é responsável pela definição do escopo do referido estudo.

- Análise da Estrutura

O estudo da estrutura é usado para realizar identificação e decomposição do processo em etapas sequenciais, interfaces e elementos logísticos. Tal análise utiliza os limites estabelecidos pela definição de escopo estabelecido no passo 1, como forma de identificação de cada etapa, interface e elemento logístico do processo em estudo.

A análise de estrutura tem como objetivo facilitar um entendimento completo do processo. Iniciando com o elemento central do seu escopo, identificando o processo do qual ele faz parte e, finalmente, aponte todos os elementos relacionados diretamente a ele.

- Análise da Função

Na etapa Análise da Função deve ser explorado o que o produto deveria fazer, o que o processo geral (e cada uma de suas atividades) deveria executar e como essa funcionalidade é facilitada. Usando a Análise da Estrutura, desenvolvida no passo 2, cada elemento é analisado separadamente em termos de funções e requisitos correspondentes.

- Análise da Falha

No passo 4, o conceito de “cadeia de falhas” é usado para entender e visualizar as imperfeições no processo. Esta cadeia é constituída pelo modo, efeito e pela causa de falha.

- Um modo de falha é representado por qualquer maneira pela qual um item (o elemento principal) pode falhar ao atender à função pretendida.
- Um efeito de falha caracteriza-se como consequência de um modo de falha.
- Uma causa de falha é um indício de causa que pode ter ocasionado a falha.

A análise de falhas engloba a identificação sobre como os elementos detalhados durante a Análise da Estrutura podem apresentar erro na execução das funções pretendidas, documentadas pela análise da Função. Um modo de falha acarreta um efeito acionado por uma causa de falha. A determinação de possíveis causas é o elemento central de uma FMEA.

- Análise de Risco

No Passo 5, a Gravidade, Ocorrência e Detecção de cada cadeia de falhas é analisada. Um nível de prioridade de ação é obtido com base nas avaliações, conforme indicado nas Tabelas de Prioridades de Ação. Pode-se atentar que as tabelas não realizam estabelecimento de “prioridade de risco”, pois apresentam um nível de prioridade para a execução de medida adequada, a qual busca a redução do risco de falha no funcionamento, conforme previsto previamente.

O Quadro 2 apresenta alguns exemplos de índices de severidade, índices de probabilidade de ocorrência e índices de probabilidade de detecção, respectivamente para realização de análise e alcance de satisfação do cliente (SAE, 1994).

Quadro 2: Índice de Severidade Si, índice de Ocorrência Oi e índice de Detecção Di

Si		Oi		Di	
Si	Efeito	Oi	Probabilidade	Di	Probabilidade
1	Muito baixo	1	Improvável (0,1%)	1	Quase certa
2,3	Baixo	2 3	Remoto (0,1% a 1%)	2	Muito alta
4,5	Médio	4, 5,6	Ocasional (1,0% a 10%)	3	Alta
6,7,8	Severo	7,8,9	Provável (10% a 20%)	4	Moderadamente alta
9	Muito severo	10	Frequente (>20%)	5	Moderada
10	Catastrófico			6	Baixa
				7	Muito baixa
				8	Remota
				9	Muito remota
				10	Quase impossível

Fonte: Autora (2023). Dados Norma SAE J1739 (1994).

Caso o nível obtido seja considerado como alto, obrigatoriamente devem ser tomadas medidas corretivas para melhoramento dos controles de prevenção e/ou detecção, ou informar justificativa sobre o porquê os atuais controles são tidos como adequados. Se tal nível for médio, é aconselhável que ações de medidas sejam adotadas para garantir melhoramento dos controles de prevenção e/ou detecção, ou comunicar justificativa sobre o porquê os controles

atuais são considerados adequados e finalmente, apresentar-se como nível baixo, ações de medidas corretivas são adotadas para melhorar os controles de prevenção e/ou detecção. Contudo, podem ser tomadas, mas não são tidas como obrigatórias.

- Otimização

A finalidade principal desta etapa de otimização é a busca do desenvolvimento de ações para se obter redução dos riscos e aumento da satisfação do cliente, melhorando, como consequência, o processo do sistema. Busca-se com grande parte das ações a redução da probabilidade de demanda das causas de falha ou a melhoria dos controles de detecção.

- Documentação dos Resultados

Os resultados obtidos em cada análise de FMEA devem fazer parte por completo de seu acervo documental. Um estudo da FMEA não tem capacidade de ser finalizado até que o Passo 7 seja concluído.

Vieira (2012) analisou a degradação da qualidade da água de um sistema de abastecimento de água de porte médio, através da FMEA, observou os riscos que representaram maior relevância (como a alta concentração de cloro residual livre, e os elevados valores de turbidez) no sistema estudado. A eficácia da metodologia FMEA também é verificada e confirmada por Zambrano e Martins (2007) que observaram os riscos ambientais durante o processo produtivo de empresas de pequeno porte através do FMEA. Vieira (2012), Zambrano e Martins (2007) concluíram que a ferramenta foi eficiente para a categorização dos riscos nos pontos monitorados pelo estudo.

Matos (2014) adaptou e utilizou a FMEA para avaliar o risco da qualidade da água em três sistemas de captação e tratamento de água de chuva. Bem como os demais autores, Matos (2014) também definiu o uso da metodologia como útil, adicionando que é uma metodologia de simples entendimento, que tem potencial de ser facilmente adaptada para outros sistemas de abastecimento de água.

A avaliação de riscos caracteriza-se como etapa seguinte a atividade de apuração dos escores de severidade, ocorrência e detecção. Segundo Silva *et al.* (2014) é a etapa que analisa o grau de importância, em percentual, de cada risco pesquisado para o risco total do sistema.

5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

5.1 Localização geográfica

O município de Nova Era localiza-se na região centro-leste do Estado de Minas Gerais a aproximadamente 130 km da capital mineira (Belo Horizonte). Está estabelecido entre a Região Metropolitana de Belo Horizonte e a Região Metropolitana do Vale do Aço. Pertence à Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte e Microrregião de Itabira conforme divisão exibida no IBGE (2010). O município de Nova Era possui área de 361,9 km², conforme dados do Censo Demográfico IBGE (2022) tendo 17.438 habitantes e uma densidade demográfica de 48,18 hab/km² e pertencente à bacia hidrográfica federal do rio Doce, como demonstra a Figura 15.

Figura 15: Mapa de localização do município de Nova Era no contexto da Bacia do Rio Doce.



Fonte: PMSBNE, (2014).

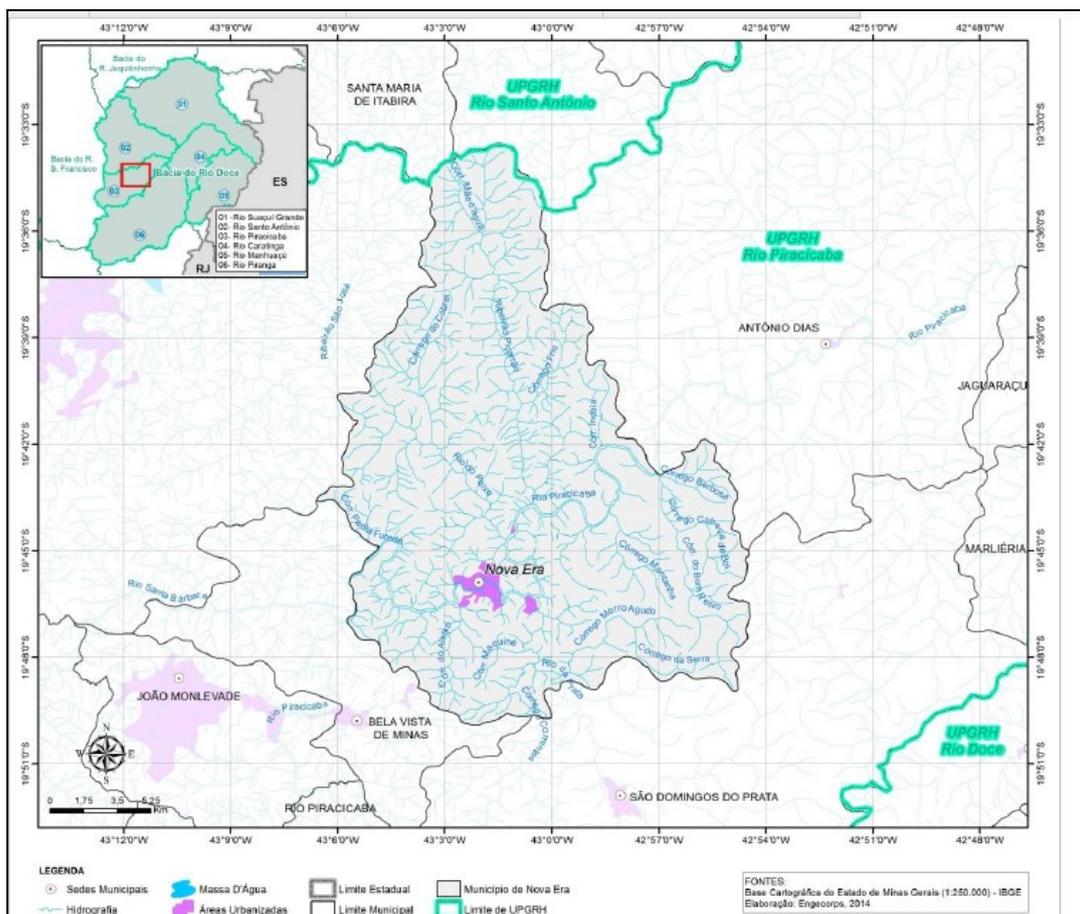
5.1.1 Delimitação da bacia hidrográfica e hidrografia

O município de Nova Era pertence à sub-bacia hidrográfica do rio Piracicaba, a qual tem destaque entre as 6 Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) da Bacia do Rio Doce. É identificada através da sigla DO2.

A UPGRH DO2 abrange uma área 5.465 km², com extensão de quase 1% do território do estado. Constitui-se pelas sub-bacias do rio do Peixe e Santa Bárbara, pela margem esquerda, e pela sub-bacia do rio da Prata, pela margem direita. O rio Piracicaba recebe descarga de uma estimativa de uma centena de córregos e ribeirões, os quais constituem sua rede de drenagem (PARH PIRACICABA, 2010).

O município de Nova Era, objeto deste estudo, estabelecido na região do Médio Piracicaba, tem em seu território, tanto o rio Piracicaba quanto seus afluentes, o rio da Prata pela margem direita e o rio do Peixe pela margem esquerda, como ilustra a Figura 16.

Figura 16: Mapa hidrográfico de Nova Era.

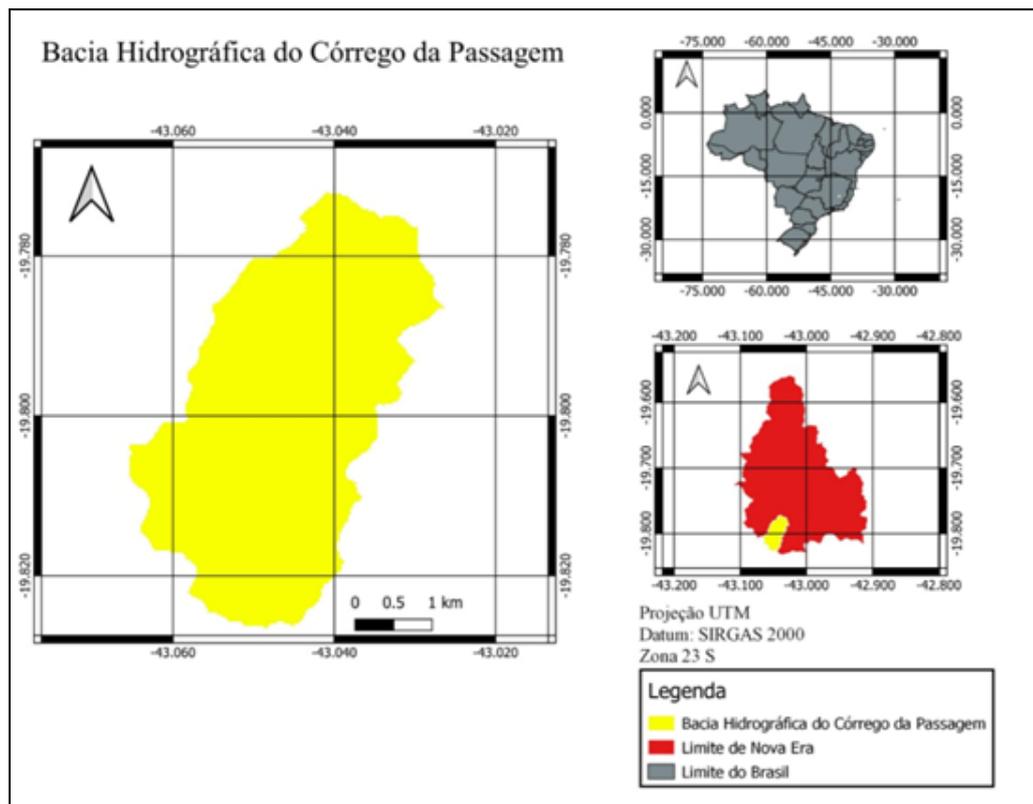


Fonte: PMSBNE, (2014).

Pode-se observar mais um curso d'água de relevante importância, o córrego da Passagem. Categorizado como Classe 1, de acordo com a Deliberação Normativa COPAM nº 09 de 1994, é tido como fundamental ponto de captação do sistema de abastecimento de água de Nova Era. De acordo com PIRH (2008) esta captação é responsável por aproximadamente 90% do abastecimento do município. A bacia hidrográfica do córrego da Passagem (BHCP), desde seu ponto de captação, tem cerca de 13,76 km² de área (VALADARES, 2021).

A Figura 17 demonstra a localização geográfica da sub-bacia do córrego da Passagem.

Figura 17: Mapa da Bacia hidrográfica córrego da Passagem.



Fonte: VALADARES (2021).

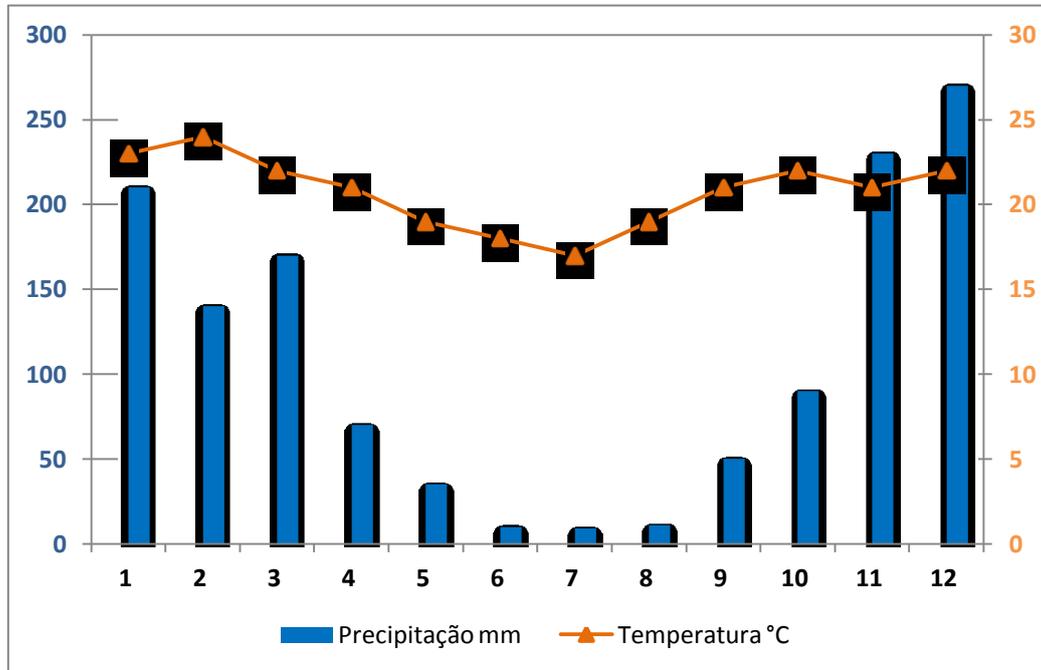
5.1.2 Clima

As características climáticas viabilizam compreender os fenômenos naturais de um determinado lugar como o ciclo hidrológico, como a definição dos períodos seco e chuvoso, de acordo da sazonalidade, tendo também associação direta com a disponibilidade hídrica em relação a aspectos quantitativos e qualitativos. (PMSBNE, 2014).

A classificação do clima é *Aw* de acordo com a Köppen e Geiger (Alvares *et al.* 2014). O verão no município tem característica de maior pluviosidade que o inverno, sendo que a média anual de pluviosidade é de 1332 mm e a temperatura média anual é

aproximadamente de 21°C de acordo com Climate-data.org. (2019) o qual pode ser constatado na Figura 18.

Figura 18: Temperatura e índices pluviométricos de Nova Era.



Fonte: Autora (2023). Dados obtidos de Climate-data.org. (2019).

O mês mais chuvoso é dezembro, e os meses de junho, julho e agosto, apresentam-se com os menores índices pluviométricos. O clima pode ter influência na qualidade e quantidade de água, pois a temperatura pode afetar os equilíbrios físico-químicos e as reações biológicas da água (DELPLA *et al*, 2011).

5.1.3 Solos

No município de Nova Era há predominância dos solos das classes Latossolo Vermelhos e Latossolo Vermelho-Amarelo. Percebe-se o Latossolo Vermelho-Amarelo recobrendo uma parcela significativa de Nova Era, com representação de aproximadamente 90% do território municipal. Tal solo tem peculiaridades de ser profundo e bem drenado, localizado em maior ocorrência nos planaltos dissecados. É um solo muito utilizado geralmente para atividades de viés da agropecuária, contudo, possui limitação de ordem química em profundidade ao desenvolvimento do sistema radicular (PMSBNE, 2014).

Os Latossolos Vermelhos, por sua vez, têm ocorrência mais restrita à parte sudeste do município, incidem cobertura de aproximadamente 10% do território. Com cores

avermelhadas oriundas dos altos teores de óxidos de ferro ocorrentes no material de origem, tem presença, predominantemente, em áreas com características planas e em áreas com relevo suave ondulado. Possuem um baixo valor de erodibilidade, devido a seu elevado estado de intemperismo e por apresentar quantidades variáveis de óxidos de ferro e alumínio, que acrescentam a esses solos boa estrutura (SILVA, *et al*, 2010). Os Latossolos Vermelhos têm representatividade com baixa quantidade de água disponível às plantas, suscetíveis à compactação.

A susceptibilidade à erosão no município de Nova Era é predominantemente média. Devido a estas susceptibilidades, as áreas que envolvem as nascentes dos principais rios do município, proporcionam maior quantidade de sedimentos, variando entre 100 a 200 t/km²/ano. Entre outros fatores, as altas taxas de geração de sedimentos estão associadas às características de uso dos solos do município (PMSBNE, 2014).

5.1.4 Esgotamento sanitário e resíduos sólidos

Referente ao esgotamento sanitário, a Secretaria de Água e Esgoto é responsável pelos serviços de esgoto no município. A rede de coleta atende 80% da área urbana, porém, o município não dispõe de uma estação de tratamento de esgoto (ETE), e os mesmos são lançados *in natura* nos córregos e rios do município, em destaque o córrego da Passagem e nos rios do Prata e Piracicaba (PMSBNE, 2014). Em 2023 o município de Nova Era foi contemplado com recursos para projetos de esgotamento sanitário como também recursos para melhorias no abatecimento de água através do Projeto Protratar, com iniciativas do Comitê de Bacias do Rio Piracicaba e Doce (CBH PIRACICABA, 2023). As águas superficiais do município sofrem também com contaminação por ações das empresas mineradoras e siderurgias as quais causam alterações significativas na qualidade da água (PMSBNE, 2014).

O gerenciamento de resíduos sólidos do município é administrado pelo Consórcio público de Gestão de Resíduos Sólidos (CPGRS) que atende os municípios de João Monlevade, São Domingos do Prata, Rio Piracicaba, Bela Vista de Minas, Alvinópolis e Nova Era (AMEPI, 2017). A prefeitura possui um convênio com a Associação de Triadores de Materiais Recicláveis de Nova Era- ASTRINE responsável pela coleta seletiva (PMNE, 2023).

6 METODOLOGIA

6.1 Descrição do Sistema de Abastecimento de Água de Nova Era

6.1.1 Captação manancial córrego da Passagem

O Sistema de abastecimento de Água de Nova Era está sob responsabilidade da SEMAE – Secretaria municipal de água e esgoto do município.

O objeto deste estudo refere-se ao sistema de abastecimento do córrego da Passagem que é o principal manancial responsável por abastecer 90% da população de Nova Era. (ANA, 2018).

A captação ocorre na área urbana no Bairro Santa Maria com coordenadas geográficas de localização SAD 19 S 19°46'34,59" e W 43°02'37,20". A água é represada e captada através de tomada direta com duas caixas de passagem até o poço de sucção da Estação Elevatória de Água Bruta – EEAB, que recalca água bruta até a Estação de Tratamento de Água ETA principal (Dados obtidos *in loco*, 2021).

Na Figura 19 pode ser observado o represamento para captação de água.

Figura 19: Represamento para captação de água.



Fonte: Autora (2021).

A EEAB principal está localizada junto à captação do Córrego Passagem e possui dois conjuntos motobombas centrífugas instalados, atualmente responsáveis pelo recalque de 43,2 L/s, logo a água é aduzida até a ETA Principal (ANA, 2018) Como pode ser visto na Figura 20.

Figura 20a: EEAB para captação de água bruta.



Figura 20b: Conjunto de motobombas em operação



Figura 20c: Motobombas reservas



Fonte: Autora (2021).

A EEAB possui outros conjuntos motobombas reservas, como pode ser observado nas Figuras 20b e 20c.

A ETA principal de Nova Era está localizada na Rua Nossa Senhora do Rosário, nº 875, nas coordenadas geográficas SAD 19 na latitude S 19°46'16.63'' e longitude W 43°02'26.08''. A ETA opera desde o ano de 1971. A obra foi executada em convênio entre a prefeitura e a Fundação SESP. A Estação de tratamento de água é do tipo convencional, com capacidade nominal de projeto de 35 L/s e constituída de Calha Parshall, 5 (cinco) floculadores tipo Alabama, 2 (dois) decantadores e 2 (dois) filtros rápidos com fluxo descendentes de fundo falso e camadas filtrantes e também tanque de contato. As etapas da ETA são apresentadas nas Figuras 21, 22, 23, 24 e 25.

Figura 21: Mistura rápida



Figura 22: Floculadores



Figura 23: Decantadores



Figura 24: Filtros



Figura 25: Tanque de contato



Fonte: Autora (2021).

Para o tratamento da água são utilizados sulfato de alumínio, cal hidratada, hipoclorito de sódio, fluorsilicato de sódio (Figura 27). Para realização de análises físicas e químicas, a estação possui um laboratório (Figura 26). A ETA opera em regime de 24 horas diárias e contém um reservatório de água potável (RAP) de concreto (Figura 28) semienterrado com capacidade para armazenamento de 600m³ (Dados obtidos *in loco*, 2021).

Figura 26: Laboratório



Figura 27: Armazenamento de produtos químicos



Fonte: Autora (2021).

Figura 28: Reservatório de água tratada



Fonte: Autora (2021).

6.2 Avaliação semiquantitativa de riscos

Para realização dessa pesquisa, utilizou-se como base a metodologia aplicada por Vieira e Morais (2005) e Vieira (2012). A metodologia referida, trata-se do método aplicado em avaliação de riscos nos Planos de Segurança da Água, que utiliza-se planilhas que obtêm classificações e valores de pesos de 1 a 5. Neste estudo utilizou-se a metodologia FMEA, que utiliza classificações e valores de pesos de 1 a 10, e assim permite maior variação nos pesos, podendo detalhar melhor as falhas e riscos do Sistema de Abastecimento de Água do município de Nova Era MG.

Sendo assim, a aplicação da metodologia para a elaboração do FMEA Sistemas foi realizada em 9 etapas, conforme descrita o Quadro 3 .

Quadro 3: Etapas e Planejamento da Metodologia aplicada no trabalho.

ETAPAS FMEA		
Organização	1- Planejamento	Identificar os componentes do SAA e sua função.
Análise dos Riscos	2- Modo de falha	Apontar a falha e os riscos encontrados/possibilidades nos componentes do SAA;
	3-Efeito potencial da falha	Quais as consequências das falhas encontradas pode ocasionar no sistema;
	4-Possibilidade de ocorrência da falha	Histórico de falhas de quanto em quanto tempo a falha ocorre ou se já ocorreu no SAA;
	5- Severidade da falha	Determinar o dano que a falha irá ocasionar na saúde da população;
	6- Possibilidade de detecção da falha	Determinar como a falha pode ser identificada, se pode ser de forma visual ou se há necessidade de tecnologias para identificação;
	7-RPN- (Risc Priority number) – número de prioridade de risco-	Cálculo realizado pelo FMEA irá identificar os riscos prioritários do SAA;
	8- Classificação	Classificar os riscos como: baixo, moderado, elevado e crítico;
Otimização	9- Ação corretiva	Proposição de medidas mitigatórias para minimizar ou eliminar as falhas e riscos.
Comunicação	10- Resultados	Defesa e resultados da dissertação.

Fonte: Autora (2023).

Após a organização das etapas, foi adaptada a tabela de probabilidade de ocorrência utilizada por Vieira e Morais (2005), para a metodologia FMEA. É importante ressaltar que a classificação de 1 a 10 é pertencente ao modelo da planilha FMEA utilizada no trabalho, podendo ser visualizada na Tabela 7.

Tabela7: Escala de Possibilidade de Ocorrência.

Possibilidade de ocorrência	Frequência	Classificação
Chance remota de falha		1
Frequência muito baixa	1 vez a cada cinco anos	2
Pouco frequente	1 vez cada dois anos	3
Frequência baixa	1 vez por ano	4
Frequência ocasional	1 vez por semestre	5
Frequência moderada	1 vez por mês	6
Frequente	1 vez por semana	7
Frequência elevada	Algumas vezes por semana	8
Frequência muito elevada	1 vez ao dia	9
Frequência máxima	Várias vezes ao dia	10

Fonte: Autora (2023). Adaptada Vieira e Morais (2005).

A proposta é apresentar a possibilidade de uma análise mais ampla sobre o SAA, que pode haver ocorrências variadas perante o diagnóstico do sistema. Dessa maneira, utilizou-se a classificação dos pesos de 1 a 10.

Referente ao índice de severidade, a classificação utilizada foi adaptada de Vieira e Moraes (2005), também atribuindo pesos de 1 a 10 de acordo com a tabela FMEA. As descrições voltadas para as consequências das falhas na saúde da população conforme explanado na Tabela 8.

Tabela8: Escala de Severidade da Falha.

Severidade da falha	Classificação
Efeito não detectável no SAA	1
Efeito detectável com baixa severidade , mas pode causar efeitos leves à saúde e ou não conformidades potenciais.	2-3
Efeito detectável com severidade moderada , Podendo causar efeitos prejudiciais à saúde e/ou não conformidade real.	4-5-6
Efeito detectável com severidade alta , Podendo causar malefícios graves na saúde e/ou não conformidades graves.	7-8
Efeito detectável com Severidade muito alta , podendo causar Risco potencial de morte e/ou não conformidades gravíssimas.	9-10

Fonte: Autora (2023). Adaptada Vieira e Morais

A metodologia utilizada sugere a aplicação do efeito da severidade da falha como: não detectável, baixa, moderada, alta e muito alta para os riscos referente à saúde. Utilizou-se também, os termos de não conformidades, pois, nem todos os efeitos detectáveis no sistema surtirão riscos direto à saúde podendo ocasionar outros riscos como, por exemplo, riscos estruturais, perdas d'água, desabastecimento, dentre outros. Dessa maneira, utilizou-se os termos de não conformidade como mencionado na Norma ISO 9001. (2015).

A não conformidade potencial é aquela que ainda irá acontecer se não for mitigada, ou seja, ainda não se concretizou, mas existem possibilidades de acontecer a qualquer momento (ISO 9001/2015).

No caso da não conformidade real é caracterizada quando ela ocorre no sistema e a mesma já pode ser sentida pela clientela de maneira branda, mas necessita ser corrigida (ISO 9001/2015). Tratando-se da não conformidade grave, refere-se há existência de uma falha pontual e que afeta o cliente causando malefícios e transtornos (ISO 9001/2015).

A respeito da não conformidade gravíssima, percebe-se que é relacionada aos problemas que afetam diretamente o cliente, tanto sua segurança quanto a sua vida. Esta não conformidade deve ser tratada como prioridade.

Sobre a classificação dos pesos, observa-se na tabela 9 que há variação entre 2 e 3, 4, 5 e 6, 7 e 8, 9 e 10. O motivo para essa abordagem é que, dentro dos níveis de severidade, pode haver diferentes riscos específicos com diferentes graus de impacto. Por exemplo, mesmo dentro da categoria de "severidade moderada", pode haver riscos que mereçam um peso mais alto do que outros. A metodologia visa capturar essas variações e refletir adequadamente a importância relativa dos riscos. O exemplo dado de "severidade moderada" contendo três classificações de peso (4, 5 e 6) sugere que há diferentes graus de gravidade dentro dessa categoria. .

A classificação para possibilidade de detecção foi adaptada de Vieira (2012) e pode ser observada na Tabela 9.

Tabela9: Possibilidade de Detecção.

Possibilidade de detecção	Classificação
Probabilidade quase certa de detecção do modo de falha sob análise visual.	1
Probabilidade muita alta de detecção do modo de falha sobe análise visual.	2
Alta probabilidade de detecção do modo de falha.	3
Moderadamente alta probabilidade de detecção do modo de falha.	4
Moderada probabilidade de detecção do modo de falha.	5
Baixa probabilidade de detecção do modo de falha	6
Probabilidade remota do modo de falha	7
Probabilidade muito remota para detecção do modo de falha.	8
É necessário uso de tecnologias para detecção.	9
Não é possível detectar o modo de falha.	10

Fonte: Autora (2022). Adaptada Vieira (2012).

Entende-se que, quanto mais fácil a detecção da falha, menor será o risco, uma vez que a falha ou o risco pode ser facilmente detectado para ser corrigido.

A classificação dos indicadores utilizados na pesquisa, foi de 1 a 10, em que os valores mais próximos de 1 representam riscos menores, enquanto valores mais próximos de 10 representam riscos mais elevados.

Para que os riscos de cada modo de falha identificado sejam classificados, calculado o Número de Riscos Prioritários – RPN, obtido pelo produto dos fatores de Ocorrência (*O*), Severidade (*S*) e Detecção (*D*) (LIU,2013). Na Equação 1 é demonstrada a forma clássica do cálculo do RPN.

$$RPN = O \times S \times D$$

Equação 1

Em que: *O* representa o peso atribuído para a ocorrência da falha, *S* é a severidade da falha, e *D* é a possibilidade de detecção da falha. Com o preenchimento de todos os escores calcula-se a ponderação dos riscos (Equação 2) no qual tem-se a obtenção da relevância de cada risco relacionado das etapas do SAA.

$$P = \frac{R_1}{\sum_1^n R} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

P = Ponderação;

R1 = Risco individual;

n = Quantidade de Risco, e;

$\sum R$ = Soma dos Riscos

O modelo da FMEA foi gerado através da planilha LUZ, desenvolvida para ser utilizado no pacote office Excel que oferece funcionalidades específicas para realizar análises de riscos. A escolha desta ferramenta foi realizada visando facilitar o processo da FMEA. A ferramenta escolhida foi projetada para ser eficiente e agilizar o processo de análise, o que ajuda a economizar tempo, já que ela fornece uma estrutura pré-definida e formatos padronizados que simplificam a coleta e organização de dados, bem como a condução da análise em si. Isso permite que as equipes de profissionais realizem análises de riscos de maneira mais rápida e eficiente em comparação com abordagens manuais mais demoradas. Isso inclui a capacidade de atribuir pontuações para severidade, probabilidade de ocorrência e detecção de forma rápida e fácil, bem como a geração automática de índices de prioridade de risco (RPN) para cada modo de falha, além de sua classificação e *dashboards* para facilitar a visualização dos resultados.

A classificação dos riscos na FMEA LUZ é calculada através de uma fórmula que leva em consideração a possibilidade da ocorrência, a severidade da falha e a possibilidade de detecção. A fórmula utilizada para calcular a classificação de risco através da FMEA é:

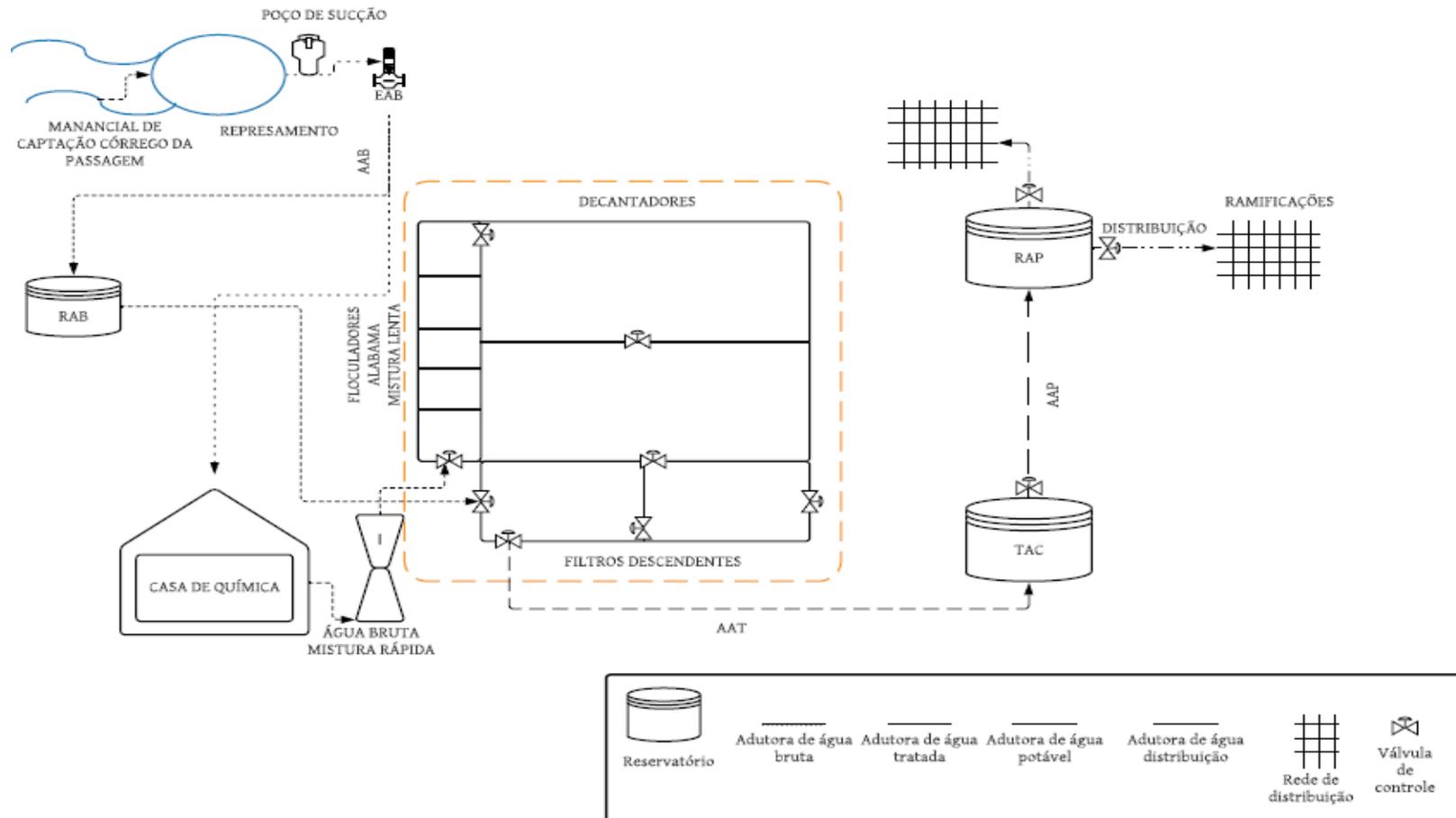
$$=G\&ARRED ((H+F) / 2; 0) \quad \text{Fórmula 1}$$

Onde G é o valor de severidade da falha, H é o valor de possibilidade de detecção da falha e F a possibilidade da ocorrência. Através deste cálculo, a planilha já fornece uma classificação de riscos direta com base nos resultados dos cálculos. Os valores resultantes desse cálculo são representados em uma escala numérica de 11 a 1010, refletindo o nível de risco associado a cada cenário de falha. Cada valor na escala numérica corresponde a uma categoria de risco específica, que é indicada na coluna "PROCV Classificação" da planilha auxiliar. Embora não

haja faixas numéricas explicitamente definidas, cada valor de risco está relacionado a uma classificação de risco particular, como "Risco Baixo", "Risco Moderado", "Risco Elevado" ou "Risco Crítico". A determinação dessas classificações está baseada em uma análise dos critérios de severidade, ocorrência e detecção, essas categorias são determinadas com base em uma análise interna dos valores numéricos e podem refletir nas diretrizes específicas da lógica utilizada na planilha, embora a lógica por trás de cada classificação específica não seja claramente evidente no método utilizado.

A planilha foi preenchida com dados de todo o sistema de abastecimento, considerando a bacia córrego da Passagem, o represamento, captação e a estação de tratamento de água. Neste estudo, não foram consideradas informações referentes ao sistema de distribuição. As informações foram obtidas em visita *in loco* com apoio de *chek list* conforme apresentado no apêndice deste trabalho. A visita foi acompanhada por colaboradores do SAA. Após a visita foi gerado o diagrama de fluxo do SAA para melhor contemplação e análise dos riscos Figura 29.

Figura29: Diagrama de fluxo do SAA de Nova Era MG.



Fonte: Autora (2023).

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Determinação dos Números Prioritários de Riscos (RPN)

7.1.1 Bacia do córrego da Passagem, Captação e Represamento

Em um primeiro momento, o preenchimento da planilha foi baseado nas características dos riscos analisados nos componentes da Bacia do córrego da Passagem, captação e represamento através do *checklist* aplicado e a realização da visita. Após o preenchimento de todas as etapas da FMEA, foi possível obter os valores do RPN e suas classificações para cada modo de falha que pode ser observado no Quadro 4.

Quadro 4: Análises e Classificação de Riscos.

Id	Modo de Falha	Efeito potencial da Falha	Possibilidade de Ocorrência	Severidade da Falha	Possibilidade da detecção	RPN	Classificação
1	Floração de algas.	Eutrofização, impactos na potabilização, encarecimento do tratamento, redução das carreiras de filtração.	6	9	3	162	Risco Crítico
2	Acúmulo de sedimentos.	Assoreamento	5	8	1	40	Risco Moderado
3	Presença de animais.	Eutrofização, Potencial presença de organismos patogênicos.	10	8	1	80	Risco Elevado
4	Falta de cercamento ao entorno do reservatório de acumulação.	Ação de vandalismo (danificação de equipamento e obstrução da operação).	1	8	1	8	Risco Baixo
5	Proximidade de redes de coleta de esgoto com a adutora de água bruta.	Contaminação e turvação se houver danificações na rede.	10	7	3	210	Risco Elevado
6	Vazão de disponibilidade hídrica da bacia sem estudo de quantificação. Má gestão do recurso hídrico.	Desabastecimento	8	10	3	240	Risco Crítico

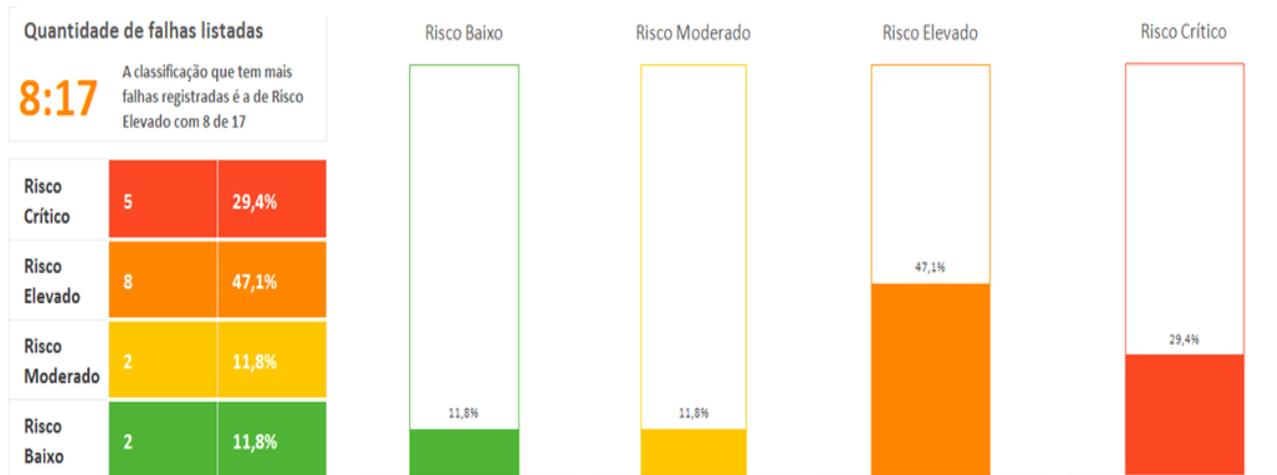
Id	Modo de Falha	Efeito potencial da Falha	Possibilidade de Ocorrência	Severidade da Falha	Possibilidade da detecção	RPN	Classificação
7	Uso não outorgável da água captada.	Insegurança hídrica.	8	7	5	280	Risco Elevado
8	Alteração nas Características da água nos períodos sazonais.	Impactos na potabilização, aumento da dosagem de coagulante e desinfetante, redução das carreiras de filtração.	5	7	2	70	Risco Elevado
9	Desconhecimento populacional sobre os danos da qualidade de água do manancial.	Deterioração da qualidade da água/Agravamento das atividades antrópicas.	6	6	3	108	Risco Elevado
10	Deterioração do manancial causado pelas águas pluviais.	Danos na qualidade da água.	7	8	3	168	Risco Elevado
11	Falta de proteção e fiscalização nas áreas ao entorno da nascente de abastecimento. Intervenção ambiental na área de APP. Área localizada em propriedade particular.	Desabastecimento; Turvação da água.	10	9	2	180	Risco Crítico
12	Queimadas na área do manancial.	Erosão/Assoreamento.	4	3	1	12	Risco Baixo
13	Inexistência de medidores de vazão de água na captação.	Má gestão hídrica.	10	7	2	140	Risco Elevado
14	Poços de sucção abertas sem grades de proteção	Riscos de acidentes / quedas de pessoas e animais.	8	9	1	72	Risco Crítico
15	Rodovia localizada na área da bacia hidrográfica e reservatório de acumulação.	Riscos de acidentes e derramamento de produtos perigosos/contaminação da água/Desabastecimento.	8	8	2	128	Risco Elevado

Id	Modo de Falha	Efeito potencial da Falha	Possibilidade de Ocorrência	Severidade da Falha	Possibilidade da detecção	RPN	Classificação
16	Uso de herbicidas para capina ao entorno do manancial e reservatório de acumulação.	Contaminação da água/ intoxicação da população.	4	8	2	64	Risco Moderado
17	Enchentes e alagamento na bacia de captação.	Riscos à saúde da população, Interrupção do abastecimento, turvação da água, encarecimento do tratamento.	5	9	2	90	Risco Crítico

Fonte: Autora (2023).

Foi possível identificar 17 modos de falha na modalidade bacia, captação e represamento. A classificação que tem o maior número de falhas registradas é a de risco elevado totalizando em oito ocorrências, enquanto o risco crítico foi identificado em cinco ocorrências, o risco moderado e o baixo obtiveram duas ocorrências cada conforme demonstrado na Figura 30.

Figura 30: Quantificação de falhas . Captação e reservação.



Fonte: Autora (2023).

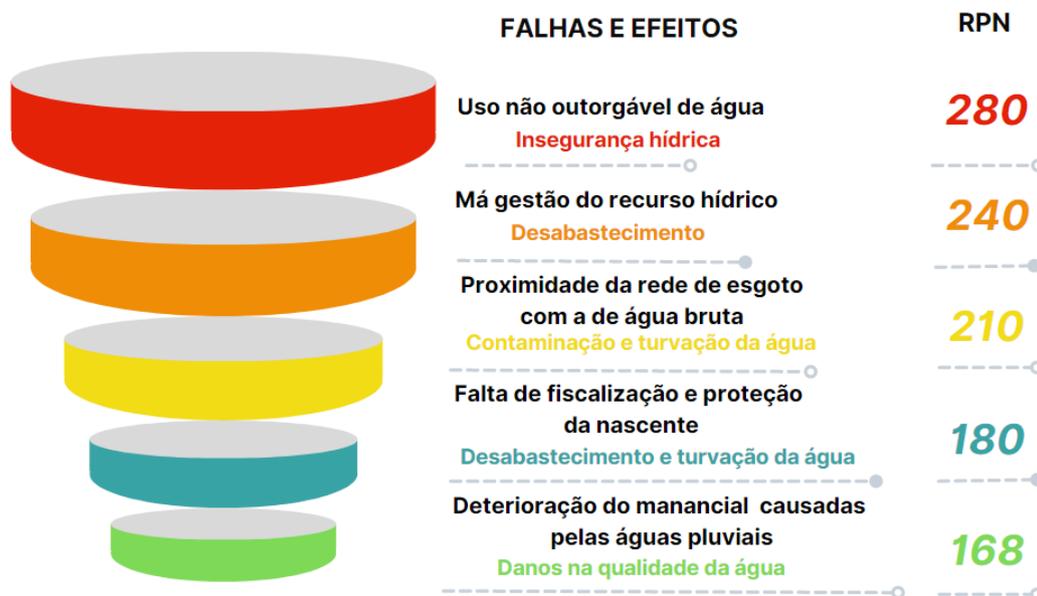
É importante ressaltar que a planilha FMEA não considera apenas os RPNs para classificar os riscos.

Os RPNs são utilizados para identificar as falhas com maior potencial de impacto, mas outras considerações também devem ser levadas em conta ao definir as prioridades para ações

corretivas. Como pode ser observado no Quadro 4 nas falhas de número 14 e 17, essas falhas tem um RPN relativamente baixo, mas podem representar um risco significativo para a segurança, a qualidade do sistema e também para a população. Por isso, são considerados como risco crítico os modos de falhas que receberam pesos de 9 a 10. É fundamental avaliar cuidadosamente cada falha identificada na FMEA e considerar todos os fatores relevantes ao definir as prioridades para as ações corretivas.

Foram listadas 5 falhas que obtiveram maior índice de RPN que podem ser observados na Figura 31.

Figura 31: Riscos prioritários.



Fonte: Autora (2023).

De acordo com os resultados obtidos na etapa bacia de captação e represamento, o modo de falha que apresentou maior prioridade de risco foi o de uso não outorgável da água captada, que correspondem a 26% do RPN total dessa etapa. Este fator está atrelado com a insegurança hídrica da bacia de captação.

Santos e Santos (2021) relatam que o instrumento de outorga age de forma efetiva no controle quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos no Brasil e que atua de maneira a evitar o uso exorbitante de modo em que os rios não sejam capazes de retornar a sua resiliência em quesito qualiquantitativo, considerando os aspectos ambientais, econômicos

como também as questões sociais. Dessa forma, o instrumento tem o papel de trabalhar a fim de evitar a insegurança hídrica.

O segundo maior risco da FMEA corresponde à disponibilidade hídrica da bacia que pode vir a ocasionar o desabastecimento de água para a população. Segundo o croqui elaborado pela ANA (2018), somente para abastecimento público de água é captado 72,0 L/s, sendo que a vazão de permanência do córrego da Passagem é de 96,5 L/s. A captação de água para abastecimento público corresponde a 66% da demanda do córrego da Passagem. Por este fator foi proposto pela ANA (2018) um croqui para a captação de água no rio Piracicaba como uma alternativa para garantir o abastecimento de água no município. Essa busca por fontes alternativas de abastecimento é justificada, além da demanda do abastecimento público, pela degradação do manancial e os usos múltiplos da água na bacia do córrego da Passagem. De acordo com Tehrani *et al* (2019) é importante ressaltar também os impactos nos recursos hídricos causados pelas variações climáticas como o aumento da temperatura e variação da pluviosidade. Tais eventos podem levar a impactos como a redução da vazão da bacia colaborando para uma futura crise hídrica e desabastecimento.

A falha “proximidade de redes de água bruta com rede coletora de esgoto *in natura*” representa 19% da planilha referente aos RPN. De acordo com Cai *et al* (2014) a contaminação da água por esgoto é uma grande ameaça à saúde pública, devido a presença de organismos patogênicos. O esgoto doméstico geralmente é recebido e tratado por estações de tratamento para controlar os riscos patogênicos e melhorar a saúde ambiental e da população. Entretanto, o esgoto não tratado que flui para os ambientes aquáticos pode causar doenças graves transmitidas pela água.

A inexistência de proteção de nascente possui o quarto maior RPN. Uma vez que a fonte produtora de água não é preservada, pode-se perder a garantia da quantidade e qualidade de água. De acordo com Katz *et al* (2022) as atividades antrópicas que sucedem nas áreas das nascentes afetam negativamente na saúde da população e no ecossistema. Além disso, os autores afirmam que é de extrema importância a criação de políticas públicas para a proteção e preservação das fontes de água com monitoramento contínuo e permanente da quantidade e qualidade da água. Ainda segundo Katz *et al* (2022) é necessário que a administração tenha uma boa comunicação com os órgãos responsáveis e cientistas para que possam contribuir de maneira eficaz na proteção, preservação e recuperação das nascentes.

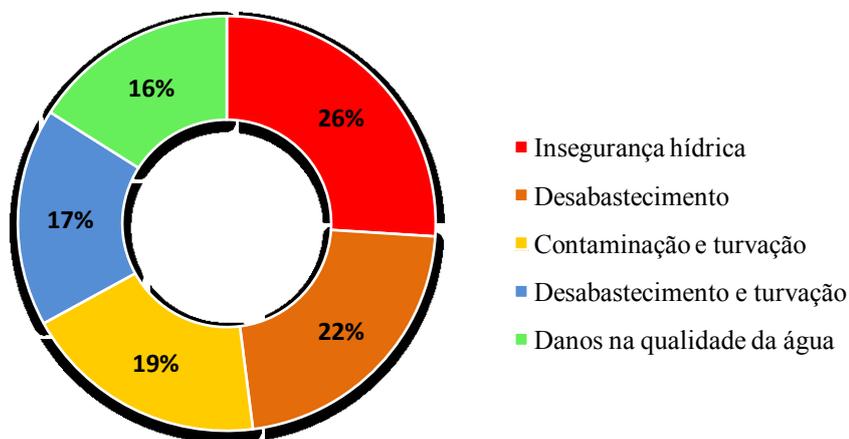
O quinto RPN da planilha FMEA trata-se da falha causada pelas águas pluviais na bacia hidrográfica. De acordo com Shengnan *et al* (2020) a poluição do escoamento superficial das chuvas é uma das principais causas da deterioração da qualidade da água no

sistema urbano de água. Segundo Valadares (2021) o uso do solo da área da bacia do córrego da Passagem tem grande predominância de áreas de pastagem, totalizando em 69,55% da bacia. Por isso, a análise das áreas de pastagens em um mapa de uso e ocupação do solo é importante para identificar possíveis impactos ambientais e para planejar estratégias de gestão que possam minimizar esses impactos.

Segundo Lundy *et al* (2018) as águas pluviais têm o potencial de fornecer um abastecimento de água não potável que requer menos tratamento do que as águas residuais municipais, com o benefício adicional de reduzir os problemas de poluição e erosão nos corpos d'água receptores. No entanto, a adoção da coleta e uso de águas pluviais como uma prática aceita, exige que os riscos sejam analisados, principalmente aqueles associados à saúde pública, ou seja, a água não deve ser alternativa de uso para práticas potáveis e os usos não potáveis devem ser analisados e tratados com tecnologias adequadas para tal.

A Figura 32 retrata a porcentagem das principais falhas potenciais que necessitam de maior prioridade com o intuito da não interrupção do sistema de abastecimento de água.

Figura32: Representatividade de prioridade de falhas.



Fonte: Autora (2023).

Após os apontamentos das falhas é necessário o plano de ação para minimizar ou eliminar os riscos. As medidas mitigatórias propostas para a bacia do córrego da passagem, captação e represamento podem ser observadas no Quadro 5.

Quadro 5: Proposições de medidas mitigatórias.

MODO DE FALHA		PROPOSIÇÕES DE MEDIDAS MITIGATÓRIAS
1	Floração de algas	Tratar efluentes domésticos lançados <i>in natura</i> a montante da captação. Cercamento da área ao entorno do reservatório para evitar a presença de Animais. Realização de análises laboratoriais da água conforme legislação.
2	Acúmulo de sedimentos	Desassoreamento, enriquecimento da vegetação. Recuperar matas ciliares da bacia de captação. Programa de inspeções do manancial.
3	Presença de animais	Cercamento da área ao entorno da captação e margens.
4	Falta de cercamento ao entorno do reservatório de acumulação.	Cercamento da área.
5	Proximidade de redes de coleta de esgoto com a adutora de água bruta.	Desvio de rede coletora de esgoto da área de captação e da adutora de água bruta.
6	Vazão de disponibilidade hídrica da bacia sem estudo de quantificação. Má gestão do recurso hídrico.	Estudos da disponibilidade hídrica e demanda, estudos dos impactos das mudanças climáticas e identificação de novos pontos de captação.
7	Uso não outorgável da água captada	Solicitação de outorga / Avaliar demandas hídricas existentes e ofertada pelo corpo hídrico.
8	Alteração nas características da água nos períodos sazonais.	Proteção do manancial.
9	Desconhecimento populacional sobre os danos da qualidade de água do manancial.	Programas de educação ambiental, sanitária e de proteção do manancial.
10	Deterioração do manancial causado pelas águas pluviais.	Construção de bacias de retenção.
11	Falta de proteção e fiscalização nas áreas ao entorno da nascente de abastecimento. Intervenção ambiental na área de APP. Área localizada em propriedade particular.	Desapropriação das áreas ao entorno das nascentes e do manancial, cercamento da nascente e medidas fiscalizatórias.
12	Queimadas na área do manancial	Proteção das áreas da bacia e programas de educação ambiental.
13	Inexistência de medidores de vazão de água na captação.	Instalação de equipamento de medição para aferição da vazão.
14	Poços de sucção abertas sem grades de proteção	Inserir grades de proteção.
15	Rodovia localizada na área da bacia hidrográfica e reservatório de acumulação.	Construção de canaletas de coleta com caixa de tratamento e drenagem do resíduo. Implantação de sinalização e redutores de velocidade.

MODO DE FALHA		PROPOSIÇÕES DE MEDIDAS MITIGATÓRIAS
16	Uso de herbicidas para capina ao entorno do manancial e reservatório de acumulação	Fazer manutenções, limpeza da área com uso de capina manual (roçadeiras)
17	Enchentes e alagamento na bacia de captação.	Fornecimento de água via caminhão pipa, realizar estudos de área alagada, Desassoreamento do córrego e do reservatório de acumulação de água.

Fonte: Autora (2023).

7.1.2 Estação de Tratamento de Água

7.1.3 Coagulação

Após o preenchimento da planilha FMEA tratamento de água da etapa de coagulação foi feito a abordagem e quantificação dos riscos conforme Quadro 6.

Quadro 6: Análise e Classificação de Riscos-Coagulação.

Id	Modo de Falha	Efeito potencial da Falha	Possibilidade de Ocorrência	Severidade da Falha	Possibilidade da Detecção	RPN	Classificação
1	Calha Parshall sem leitor de vazão e paredes deterioradas.	Deficiência na aplicação de produtos químicos; comprometimento da medição de vazão.	9	6	4	216	Risco Elevado

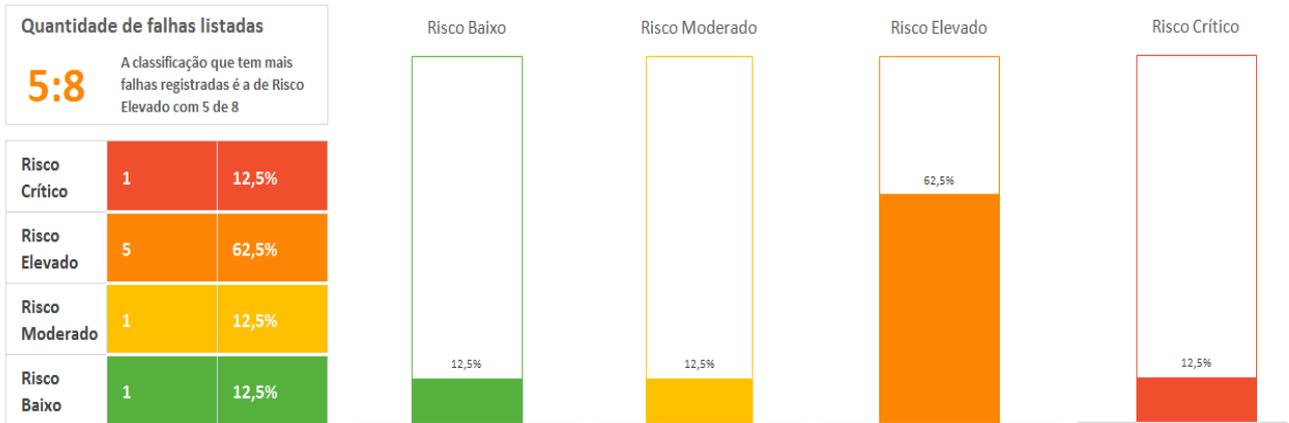
Id	Modo de Falha	Efeito potencial da Falha	Possibilidade de Ocorrência	Severidade da Falha	Possibilidade da Detecção	RPN	Classificação
2	Possibilidade das dimensões da calha Parshall não estar em conformidade com as normas.	Comprometimento da qualidade da água	3	5	6	90	Risco Elevado
3	Aplicação do coagulante em ponto inadequado.	Instabilidade do tratamento de água; compromete a desestabilização das partículas/ compromete a eficiência das outras unidades.	10	6	4	240	Risco Elevado
4	Possibilidade de haver a não precisão no controle de dosagem de coagulante. (dosagem manual).	Comprometimento da qualidade da água; Picos elevados de turbidez; riscos à saúde; Aumento dos custos operacionais.	6	6	5	180	Risco Elevado
5	Ausência de aparelho jar test.	Comprometimento da qualidade da água,	10	9	1	90	Risco Crítico
6	Viabilidade do pH de coagulação não estar de acordo com a indicação da literatura.	Não desestabilização química das partículas, riscos à saúde.	2	2	3	12	Risco Baixo
7	ETA operando com vazão superior à de projeto.	Comprometimento do tratamento e qualidade da água.	10	8	3	240	Risco Elevado
8	Necessidade de treinamento para os operadores.	Falhas na operação e riscos à saúde	5	3	3	45	Risco Moderado

Fonte: Autora (2023).

A partir da planilha FMEA pode-se identificar em sua totalidade 8 registros de falhas encontradas na modalidade de Tratamento de Água - Coagulação. A classificação que tem o maior número de falhas registradas é a de risco elevado totalizando em cinco ocorrências, enquanto o risco crítico, moderado e baixo foi identificado em apenas uma ocorrência,

conforme a Figura 33.

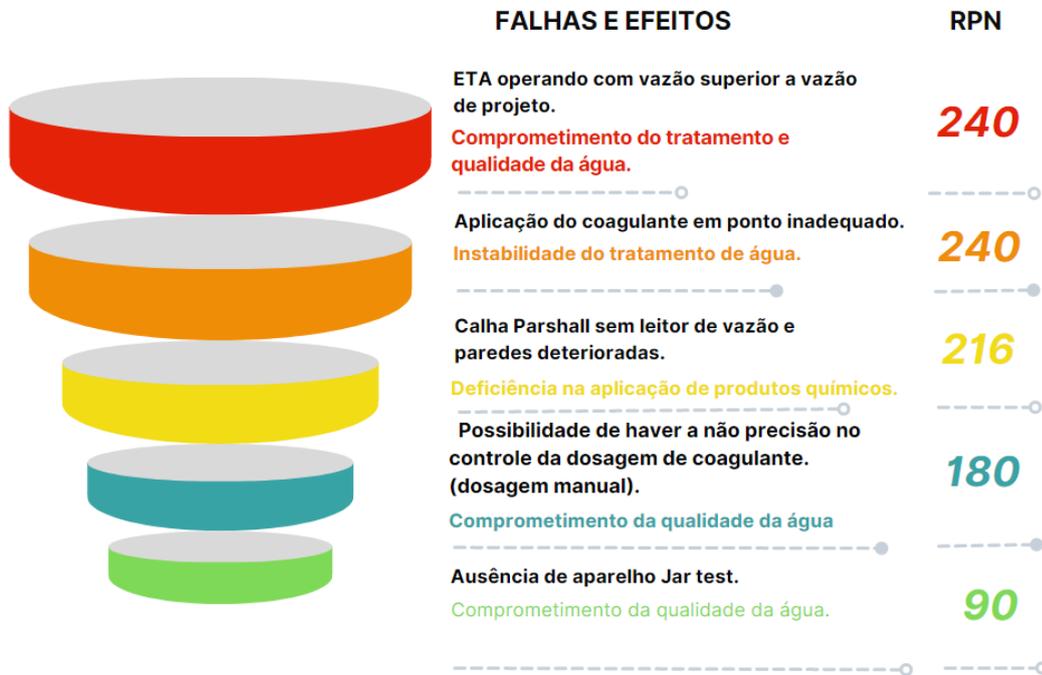
Figura 33: Quantificação de Riscos – Coagulação.



Fonte: Autora (2023).

Através do cálculo RPN foi possível identificar os riscos prioritários. Foram listadas 5 falhas que obtiveram maior índice de RPN que podem ser observados na Figura 34.

Figura 34- Riscos Prioritários - Coagulação.



Fonte: Autora (2023).

Conforme os resultados obtidos na etapa do Tratamento – coagulação o modo de falha que apresentou maior prioridade de risco foi o de ETA operando com vazão superior a vazão

de projeto que correspondem a 26% do RPN total dessa etapa. Esta falha está relacionada com o efeito de comprometimento do tratamento e a qualidade da água. Leite *et al* (2020) ressaltam a importância da otimização operacional dos parâmetros da coagulação no tratamento de água, pois a falta de análise e controle adequados da vazão na estação de tratamento de água pode resultar em ineficiências no processo de coagulação, baixa remoção de contaminantes, problemas de sedimentação e desempenho inadequado do sistema de filtração.

A falha que representa os 25% riscos prioritários, refere-se a falha de aplicabilidade de coagulante no ponto inadequado. O coagulante deve ser aplicado no ponto de maior gradiente de velocidade da calha Parshall, localizado no ressalto hidráulico da calha. Essa abordagem garante uma distribuição adequada do coagulante ao longo da corrente de água, resultando em uma coagulação eficiente e consistente das partículas e impurezas durante o processo de tratamento de água. Ciu *et al* (2020) afirmam que a coagulação é um processo essencial para o tratamento de água e que merece extrema atenção tanto na operação quanto na manutenção.

Paredes deterioradas e a falta de medidor de vazão na calha Parshall corresponde 22% dentre as 5 falhas principais analisadas na modalidade de Coagulação, sendo que, medição de vazão é uma variável importante, pois, ajuda a controlar e ajustar os processos de tratamento de água. Ao conhecer a vazão em diferentes etapas do processo, é possível determinar a quantidade correta de produtos químicos, tempo de retenção e taxa de filtração necessários para atingir os padrões desejados de qualidade da água tratada (DI BERNARDO, 2008).

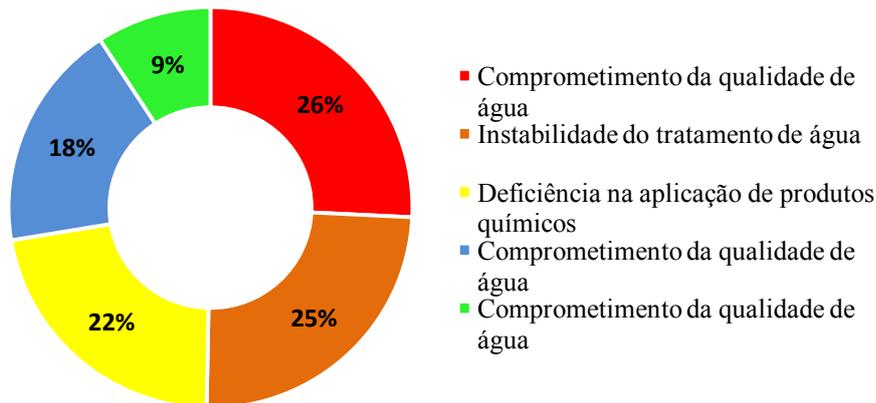
A falha que equivale 18% dos riscos prioritários refere-se à possibilidade da não precisão de dosagem de coagulante, a partir da aplicação manual. Krupińska (2020) salienta que concentrações anormais de coagulantes na água podem causar risco potencial à saúde humana além de aumentar o custo do tratamento. É importante que os operadores de tratamento de água realizem testes e monitorem cuidadosamente os processos de coagulação para garantir a qualidade da água tratada e a segurança dos consumidores.

Ressalva-se que na planilha FMEA, Figura 35, há duas falhas com valores de RPN 90, a falha de numeração 2 que foi classificada como risco elevado e a 5 como risco crítico. O que diferencia as duas falhas são os critérios de riscos. Não realizar testes de jarros no tratamento de água pode acarretar diversos riscos significativos. Os testes de jarros são uma ferramenta importante para avaliar a eficiência do processo de tratamento de água e ajustar as dosagens de coagulantes. Diante disso, esse modo de falha recebeu maior peso na severidade, o que justifica a diferença na classificação. Ye *et al* (2015) salientam a importância da identificação

dos riscos potenciais no sistema de abastecimento de água e que além das medidas corretivas é necessário o monitoramento e controle operacional diário, a validação e a documentação.

A Figura 35 representa a porcentagem das cinco falhas potenciais da modalidade de tratamento - coagulação que necessitam de maior prioridade.

Figura 35- Representatividade de prioridades de falhas - Coagulação.



Fonte: Autora (2023).

As medidas mitigatórias propostas para a modalidade tratamento - coagulação podem ser observadas no Quadro 7.

Quadro 7: Proposição de medidas mitigatórias-Coagulação.

MODO DE FALHA		PROPOSIÇÕES DE MEDIDAS MITIGATÓRIAS
1	Calha Parshall sem leitor de vazão e paredes deterioradas.	Inserir medidor de vazão permanente ou ultrassônico na calha Parshall. Finalidade: Monitoramento contínuo e preciso da vazão, melhorias na eficiência do serviço. Manutenção Medidor Ultrassônico: Recomendável realizar calibração periódica (de 6 a 12 meses) para garantir a precisão da medição. Manutenção das paredes/instalação de calha Parshall pré-moldada/fibra de vidro. Finalidade: Precisão das medições, evitar vazamentos e danos estruturais. Fibra de vidro Durabilidade e resistência a produtos químicos.
2	Possibilidade das dimensões da calha Parshall não estar em conformidade com as normas.	Realizar avaliação detalhada das dimensões da calha Parshall existente, verificar se a capacidade da calha é adequada para atender a vazão máxima atual. Calcular as dimensões da calha conforme as Normas NBR/ISO9826: 2008, ASTM 19 41:1975 e NBR 12216. Finalidade: Evitar o descontrole e a ineficiência no processo de tratamento(ex: pode afetar a dosagem de produtos químicos, tempo de contato e a qualidade da água tratada).

MODO DE FALHA		PROPOSIÇÕES DE MEDIDAS MITIGATÓRIAS
3	Aplicação do coagulante em ponto inadequado.	Aplicar o coagulante no ponto do ressalto hidráulico. Finalidade: Eficiência na dispersão do coagulante na água, redução de produtos químicos, formação de flocos maiores, melhoria na eficiência da decantação.
4	Possibilidade de não haver precisão na dosagem de coagulante. (dosagem manual).	Aquisição de bombas dosadoras automáticas de produtos químicos. (necessárias bombas reservas). Finalidade: Precisão nas dosagens dos produtos químicos. Adquirir bombas visando ao atendimento das vazões mínimas e máximas requeridas dos produtos químicos e da ETA. Manutenção: É necessário fazer manutenção com periodicidade conforme recomendações do fabricante.
5	Ausência de aparelho jar test	Adquirir e fazer uso do <i>jar tests</i> frequentemente. Finalidade: Determinar a dosagem ideal de produtos químicos para melhorar a eficácia da coagulação, floculação, decantação e filtração como também remoção de impurezas e partículas da água.
6	Possibilidade do pH de coagulação não atingir a faixa adequada de acordo com a literatura.	Instalação de medidores automáticos de pH. Finalidade: Monitoramento do pH da água de forma contínua e precisa, facilitando tomada de atitudes para a correção e que o coagulante seja aplicado na dosagem e pH adequados para remoção das impurezas. Manutenção: Seguir orientações do fabricante, capacitar o operador para realização diária de calibração.
7	ETA operando com vazão superior a vazão de projeto.	Otimização da ETA. Devem ser calculados o tempo de floculação e decantação conforme vazão atual, e replica-los no ensaio. NBR 12216. Finalidade: Avaliar o desempenho da estação e determinar as condições ótimas para formação de flocos que possam ser removidos com facilidade na unidade de filtração.
8	Necessidade de treinamento para os operadores.	Qualificar os operadores através de treinamentos e cursos. Finalidade: Aumento das habilidades para executar as atividades diárias.

Fonte: Autora (2023).

7.1.4 Floculação

Sun (2007) utilizou o método de identificação dos riscos no sistema de abastecimento de água incluindo as variáveis coagulação e floculação em um mesmo módulo. É pertinente ressaltar que este trabalho tem a finalidade de detalhar todas as modalidades do tratamento de água do sistema de abastecimento de água do córrego da Passagem de forma que possam ser

apontadas medidas para cada um dos módulos especificamente, tendo a facilidade de visualização dos riscos prioritários de cada etapa. A FMEA da modalidade de tratamento – Floculação pode ser observada no Quadro 8.

Quadro 8: Análise e Classificação de Riscos-Floculação.

Id	Modo de Falha	Efeito potencial da Falha	Possibilidade de Ocorrência	Severidade da Falha	Possibilidade da Detecção	RPN	Classificação
1	Floculação com vazão superior a vazão de projeto.	Má formação de flocos, redução da eficiência dos decantadores e comprometimento da carreira de filtração. Sobrecarga das unidades.	8	7	4	224	Risco Elevado
2	Falta de Treinamentos contínuo dos operadores.	Comprometimento no tratamento e qualidade da água.	7	8	3	168	Risco Elevado
3	Paredes dos floculadores com acúmulo de lodos.	Ocasionalmente de curtos-circuitos hidráulicos e diminuição do tempo de detenção, riscos à saúde.	7	7	3	147	Risco Elevado
4	Rachaduras e trincas na estrutura dos floculadores.	Prejuízos no desempenho operacional / comprometimento da estrutura da unidade/Exposição a situação de riscos estrutural.	10	8	1	80	Risco Elevado

Fonte: Autora (2023).

Foram identificados na análise da floculação 4 riscos no qual os quatro são considerados riscos elevados, não havendo riscos crítico, baixo e nem moderado que podem ser observados na Figura 36.

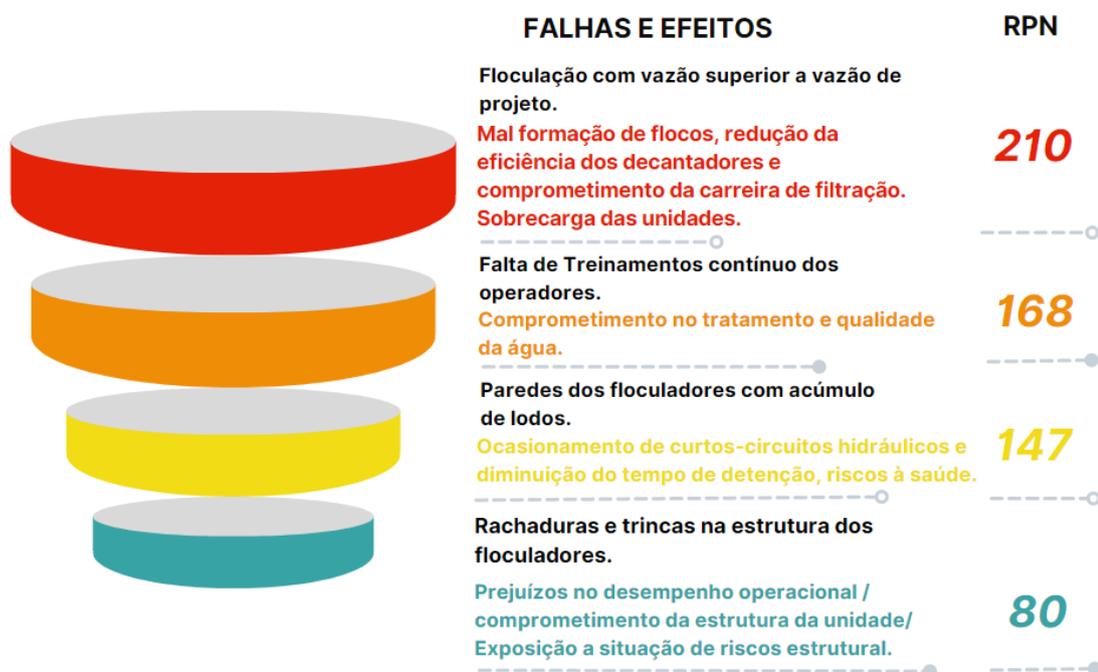
Figura 36 - Quantificação de riscos - Floculação.



Fonte: Autora (2023).

Através do cálculo RPN foi possível identificar os riscos prioritários. Foram listadas 4 falhas que obtiveram maior índice de RPN que podem ser observados na Figura 37.

Figura 37- Riscos Prioritários- Floculação.



Fonte: Autora (2023).

Conforme os resultados dos riscos prioritários da etapa de tratamento – floculação o risco que representa 35% das prioridades corresponde a falha de floculador operando com vazão superior a vazão de projeto da ETA, essa falha causa a mal formação de flocos e

comprometem a carreira de filtração. A floculação adequada requer tempo suficiente para que as partículas se encontrem e se aglutinem em flocos maiores. Se o floculador estiver operando com velocidade elevada, o tempo de residência das partículas no floculador pode ser insuficiente para uma floculação completa. Isso pode levar a uma menor remoção de partículas e impurezas durante as etapas subsequentes do tratamento (Qasin, 2020).

Conforme Lapointe (2016) a formação de flocos é influenciada pela intensidade e duração da mistura no floculador. Se a agitação for excessiva ou se a energia de mistura for aplicada por um período elevado, pode ocorrer a ruptura dos flocos formados. Por outro lado, se a agitação não for intensa o suficiente ou o tempo de mistura for reduzido (o que pode ocorrer a partir de uma vazão maior que a de projeto), as partículas podem não formar flocos maiores. De acordo com Nan (2016) o uso excessivo de coagulante pode levar à formação de flocos finos, pode saturar as partículas suspensas com carga positiva ou negativa resultando em repulsão entre as partículas e dificultando a formação de flocos grandes e densos. Fitzpatrick (2004) ressalva que a temperatura também é uma variável importante que pode afetar a floculação e que esse parâmetro pode contribuir para a redução dos flocos. O pH da água durante a coagulação também pode afetar a formação dos flocos, sendo que valores de pH fora da faixa ideal podem prejudicar a neutralização das cargas das partículas e afetar a estabilidade dos flocos formados levando à formação de flocos finos e menos coesos (Yang, 2015). Portanto, é importante garantir que o floculador opere em condições adequadas para a vazão atual. Isso pode ser alcançado através de um novo estudo hidráulico e redimensionamento do floculador e sua otimização considerando as características e variáveis da água a ser tratada atualmente.

A falha que corresponde a falta de treinamento contínuo dos operadores que pode comprometer o tratamento e a qualidade da água corresponde a 28% da planilha, a falta de treinamento contínuo dos operadores pode levar a erros operacionais, como ajustes incorretos de parâmetros de tratamento, dosagem inadequada de produtos químicos, falhas na manutenção dos equipamentos, entre outros. Esses erros podem comprometer a eficiência do processo de tratamento e resultar em problemas como aumento da turbidez, contaminação microbológica ou redução da remoção de substâncias indesejáveis. De acordo com Ventura (2019) é essencial o acompanhamento e envolvimento da administração superior na tomada de decisões tanto no monitoramento quanto no operacional das estações de tratamento de água, a fim de estabelecer medidas para melhorias e capacitações dos funcionários técnicos para garantia da qualidade dos serviços de tratabilidade da água.

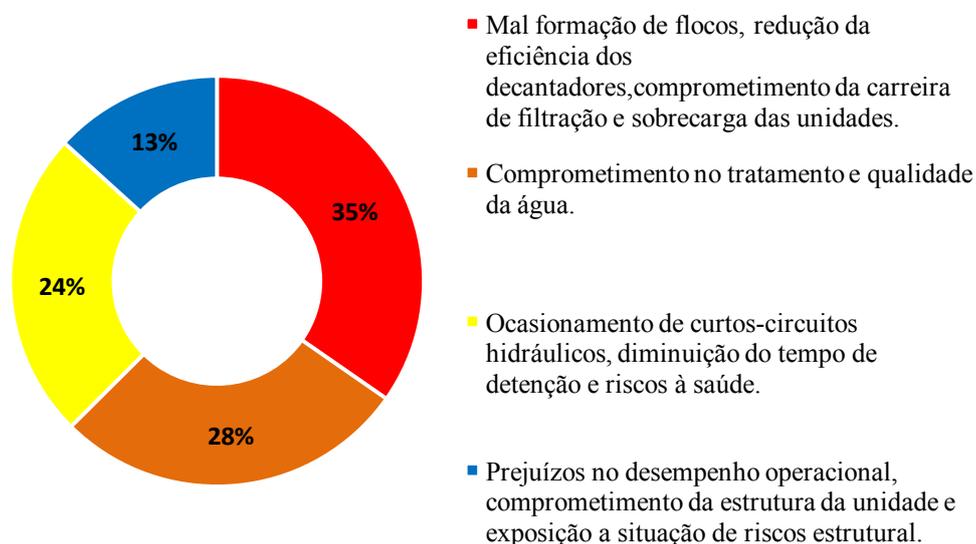
O acúmulo de lodo nas paredes dos floculadores pode causar obstruções e interferir na

distribuição uniforme do fluxo de água ao longo do tanque que resultam em variações no tempo de detenção hidráulica e na intensidade da mistura, afetando negativamente a qualidade da floculação e a formação de flocos adequados. Segundo Jalili (2021) o acúmulo de lodos nas paredes dos floculadores cria um ambiente propício para o crescimento de microrganismos indesejáveis, como bactérias, algas e fungos. Esses microrganismos podem interferir no processo de tratamento, causar problemas de odor, gosto e aparência da água tratada, além de representar riscos à saúde pública. Esses são os efeitos que podem ser causados pela falha que equivale a 24% da FMEA – floculação.

A possibilidade de não haver a reavaliação de desempenho dos floculadores pode causar insegurança no tratamento e o comprometimento da qualidade da água, segundo Qasin (2020) a ausência da análise de desempenho e manutenção dos floculadores pode levar a uma menor eficiência na remoção de turbidez, matéria orgânica, cor, microrganismos e outras impurezas presentes na água, não atendendo aos padrões de potabilidade.

A representatividade de porcentagem das quatro falhas potenciais da modalidade de tratamento - floculação que necessitam de maior prioridade pode ser observada na Figura 38.

Figura 38- Representatividade de prioridades de falhas – Floculação.



Fonte: Autora (2023).

As medidas mitigatórias propostas para a modalidade tratamento - floculação pode ser observadas no Quadro 9.

Quadro 9: Proposições de medidas mitigatórias-Floculação.

MODO DE FALHA		PROPOSIÇÕES DE MEDIDAS MITIGATÓRIAS
1	Floculação com vazão superior a vazão de projeto.	Realizar testes de jarros com base nos parâmetros atuais de operação para que sejam alcançados os parâmetros operacionais ótimos. Viabilidade do emprego de polímero como auxílio na floculação, na sedimentação, na duração das carreiras de filtração e redução do volume de lodos. Finalidade: melhorar a formação de flocos, facilitar a sedimentação das partículas sólidas, prolongar a vida útil dos meios filtrantes e reduzir a quantidade de lodo gerado durante o processo de tratamento.
2	Falta de Treinamento contínuo dos operadores.	Realização de treinamentos frequentes/ atualização do manual de operação. Finalidade: Melhora operacional. Atualizar os manuais ajuda a garantir que as operações estejam em conformidade com as regulamentações mais recentes.
3	Paredes dos floculadores com acúmulo de lodo.	Programa de limpeza e lavagem das unidades de floculação. Finalidade: Evitar o acúmulo de lodo que pode interferir no processo de floculação.
4	Rachaduras e trincas na estrutura dos floculadores.	Manutenção da estrutura da unidade de floculação. Revestimentos à base de epóxi ou poliuretano podem ser aplicados sobre a superfície de concreto para criar uma camada protetora que ajuda a impermeabilizar e proteger contra a corrosão. Selantes à base de silicone podem ser usados para selar juntas e fissuras em estruturas de concreto, prevenindo a infiltração de água. Finalidade: Evitar vazamentos de água, corrosão, falhas estruturais e operacionais, interrupções não programadas e prolongar vida útil da unidade.

Fonte: Autora (2023).

7.1.5 Decantação

A decantação é uma etapa crucial no tratamento de água, onde partículas sólidas suspensas são removidas por sedimentação (Di Bernado, 2008). A avaliação dos riscos da etapa de tratamento - decantação pode ser observada no Quadro 10.

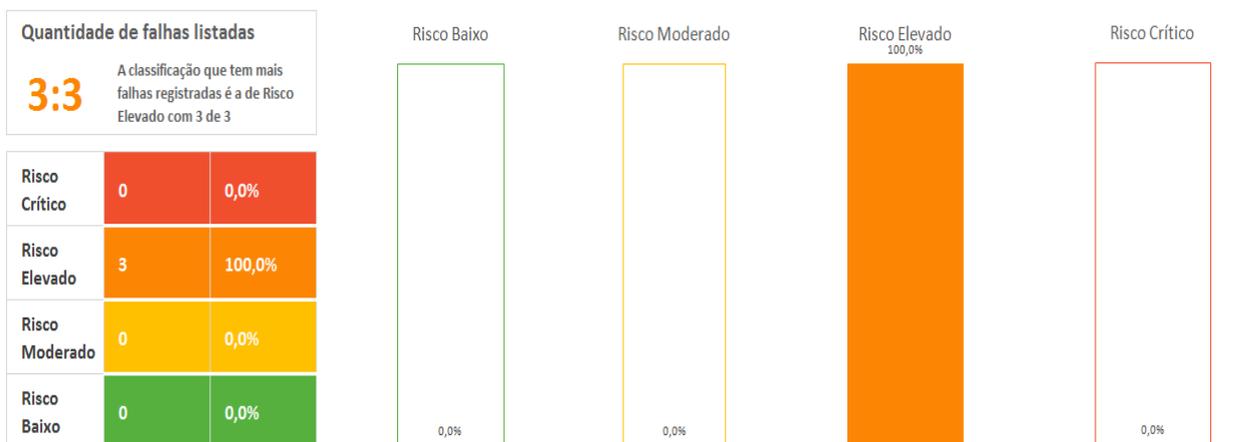
Quadro 10: Análise e Classificação de Riscos-Decantação.

Id	Modo de Falha	Efeito potencial da Falha	Possibilidade de Ocorrência	Severidade da Falha	Possibilidade da Detecção	RPN	Classificação
1	Possibilidade de acúmulo de lodo no fundo dos decantadores.	Passagem de sedimentos para os filtros; redução da eficiência de sedimentação, turbidez alta.	6	6	4	144	Risco Elevado
2	Devido a rachaduras pode haver desnivelamento do vertedouro ou bordas da água decantada.	Comprometimento da velocidade entre os decantadores, passagem de flocos para os filtros.	5	5	3	75	Risco Elevado
3	Visualização de flocos suspensos nos decantadores.	Floculação ineficiente, baixa remoção de impurezas.	7	6	2	84	Risco Elevado

Fonte: Autora

Na análise e classificação de riscos da decantação foram identificados 3 riscos, sendo considerados risco elevado, não havendo identificação de riscos baixo, moderado e crítico para essa modalidade que podem ser observados na Figura 39.

Figura 39- Quantificação de riscos - Decantação.



Fonte: Autora (2023).

Através do cálculo RPN foi possível identificar os riscos prioritários. Foram listadas 3 falhas que obtiveram maior índice de RPN que podem ser observados na Figura 40.

Figura 40- Riscos Prioritários - Decantação.



Fonte: Autora (2023).

Os riscos prioritários dos decantadores são representados por 3 falhas, entre elas encontra-se a falha que equivale 47% dos riscos, possibilidade de acúmulo de lodo no fundo dos decantadores, que pode ter como efeito a passagem de flocos para os filtros, e alta turbidez. Segundo Marguti (2018) o lodo é um dos principais resíduos gerado nas estações de tratamento de água. A quantidade média de resíduos produzidos diariamente nos decantadores das estações de tratamento de água convencionais varia de 0,1% a 3% do volume total de água processada na unidade (Di Bernardo *et al.*, 2012). Encontrar uma solução apropriada para a disposição do lodo gerado nas estações de tratamento de água que seja economicamente sustentável e ecologicamente segura, tem se tornado um dos principais obstáculos enfrentados pelos responsáveis pelo abastecimento público de água, pois, seu despejo em corpos hídricos causa impactos ambientais significativos (AHMAD *et al.*, 2017).

Ainda segundo Ahmad *et al.* (2017) uma forma sustentável de estar aproveitando este resíduo é sua utilização na construção civil, pois, suas propriedades tem potencial para atender este ramo e fortalecer seu descarte seguro. Além da gestão do lodo gerado pelo tratamento da água deve-se se atentar a rotina operacional que apresenta melhores resultados e eficiência dos decantadores e elaborar um programa de limpeza e frequência de descarte de lodo para alcançar resultados melhores na turbidez, cor e sólidos suspensos (CUNHA, 2004).

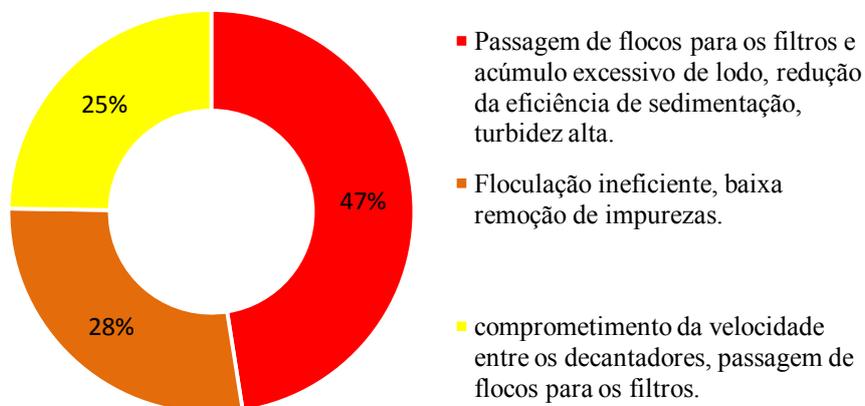
Tratando-se da falha de visualização de flocos suspensos nos decantadores, esta pode comprometer a qualidade da água. Bartiko *et al.*, (2014) salientam a necessidade de avaliar a

eficácia dos decantadores, a capacidade que eles têm de remover partículas sólidas da água. Sem esses testes, não é possível avaliar de forma precisa o desempenho do processo de decantação, o que pode levar a uma eficiência reduzida na remoção de partículas e sólidos suspensos. Isso pode resultar em água tratada com qualidade inferior, contendo impurezas que comprometem sua segurança e potabilidade (DI BERNARDO *et al.*, 2002).

Segundo Vidal *et al.*, (2019) as falhas estruturais, como trincas e rachaduras, podem prejudicar o operacional do tratamento. Dessa forma, tais falhas devem ser identificadas e reparadas antes que se agravem e causem a paralisação do tratamento. As medidas de monitoramento contínuo permitem a identificação de eventos perigosos além de permitir uma ação rápida para reparo.

A representatividade de porcentagem das três falhas da modalidade de tratamento - decantação que necessitam de maior prioridade podem ser observadas na Figura 41.

Figura 41- Representatividade de prioridades de falhas – Coagulação.



Fonte: Autora (2023).

As medidas mitigatórias propostas para a modalidade tratamento - decantação podem ser observadas no Quadro 11.

Quadro 11: Proposições de medidas mitigatórias-Decantação.

MODO DE FALHA		PROPOSIÇÕES DE MEDIDAS MITIGATÓRIAS
1	Possibilidade de acúmulo de lodo no fundo dos decantadores.	Estabelecer programa de limpeza regular dos decantadores para remoção do lodo. Finalidade: Diminuição da carga de sólidos, evitar sobrecarga dos filtros.
2	Devido a rachaduras pode haver desnivelamento do vertedouro ou bordas da água decantada.	Avaliar as rachaduras para determinar sua extensão, causa e impacto na operação do decantador. Realizar manutenção estrutural, impermeabilização e proteção anticorrosiva. As rachaduras podem alterar o fluxo da água dentro do decantador permitindo que partículas permaneçam em suspensão. Finalidade: Evitar a ineficiência da sedimentação.
3	Visualização de flocos suspensos nos decantadores.	Monitorar o desempenho dos decantadores através dos testes de turbidez (valores satisfatórios inferiores a 5 uT) (DI BERNARDO, 2005, MS 888/2021). Implantar o uso de polímero como auxiliar de floculação visando a melhoria da água decantada (realizar ensaios de jarros). Contratar equipe especializada para a averiguação da viabilidade de otimizar os decantadores através de instalação de placas lamelares. As placas lamelares aumentam a área de superfície disponível para a sedimentação de partículas suspensas na água. Finalidade: Permitir remoção mais eficiente de sólidos suspensos, aumentar carreira de filtração.

Fonte: Autora (2023).

7.1.6 Filtração

A avaliação dos riscos da etapa de tratamento - filtração pode ser observada no Quadro

12.

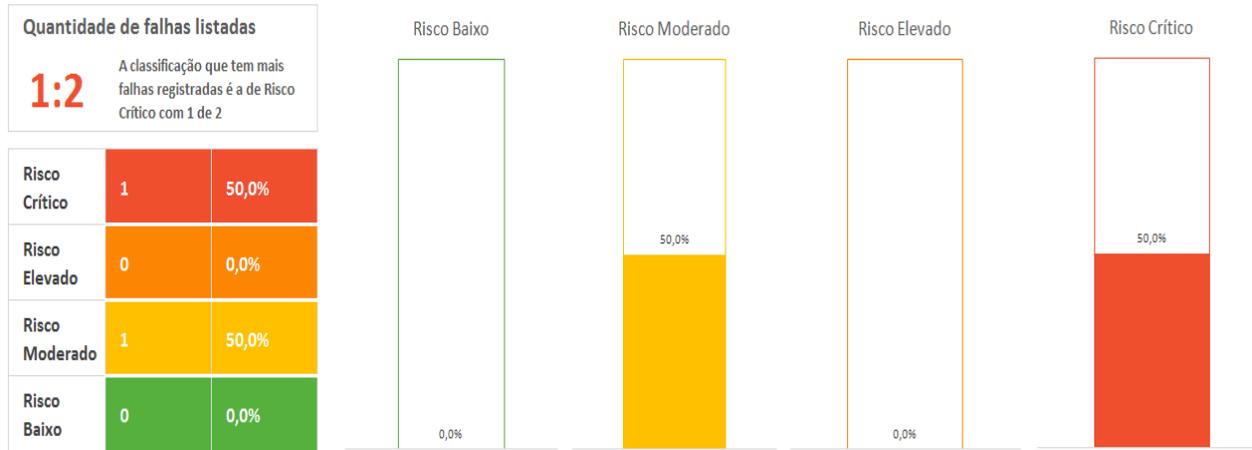
Quadro 12: Análise e Classificação de Riscos-Filtração.

Id	Modo de Falha	Efeito potencial da Falha	Possibilidade de Ocorrência	Severidade da Falha	Possibilidade da Detecção	RPN	Classificação
1	Possibilidade de que a cor e turbidez possam estar excedendo os valores permitidos devido as possíveis ineficiência dos processos anteriores.	Contaminação da água.	5	4	3	60	Risco Moderado
2	Meios filtrantes comprometidos. (não houve substituição desde o início operacional da ETA).	Redução da eficiência de remoção das partículas, comprometimento da qualidade da água, riscos à saúde.	10	9	5	450	Risco Crítico

Fonte: Autora (2023).

Conforme a planilha FMEA pôde-se identificar em sua totalidade 2 registros de falhas encontradas na modalidade de Tratamento de Água - filtração. A classificação que tem o maior número de falhas registradas é a de risco elevado, enquanto o risco moderado e crítico foi identificado em apenas uma ocorrência, conforme a Figura 42.

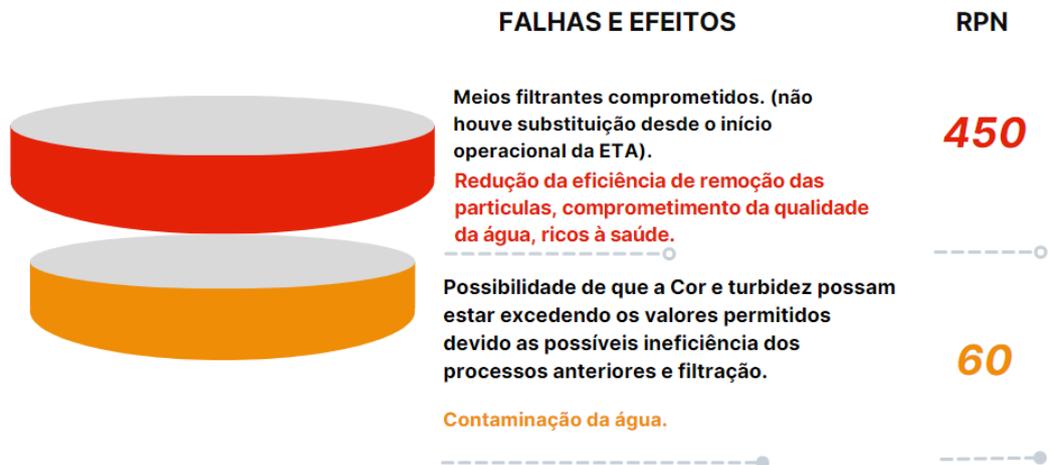
Figura 42- Quantificação de riscos - Filtração.



Fonte: Autora (2023).

Através do cálculo RPN foi possível identificar os riscos prioritários. Foram listadas 2 falhas que obtiveram maior índice de RPN que podem ser observados na Figura 43.

Figura 43- Riscos Prioritários - Filtração.



Fonte: Autora (2023).

Conforme os resultados obtidos na etapa do Tratamento – filtração o modo de falha que apresentou maior prioridade de risco foi o de meios filtrantes comprometidos que correspondem a 88% do RPN total dessa etapa. Os meios filtrantes são essenciais para o resultado promissor no tratamento da água. Com o passar do tempo, o meio filtrante acumula

partículas, sedimentos e materiais retidos durante o processo de filtração que leva ao aumento da perda de carga e à redução da capacidade de retenção de sólidos suspensos (MAIYO, 2023). Neste cenário, a eficiência da filtração é comprometida, permitindo que partículas indesejáveis passem pelos filtros e cheguem à água tratada. Filtros com meio filtrante comprometido exigem limpezas mais frequentes e intensas para tentar restaurar sua capacidade de filtração. Isso implica em maior tempo de parada do sistema, aumento do consumo de água durante a lavagem dos filtros e maiores esforços operacionais e de manutenção para manter a operação adequada dos filtros (SLAVIK *et al*, 2013).

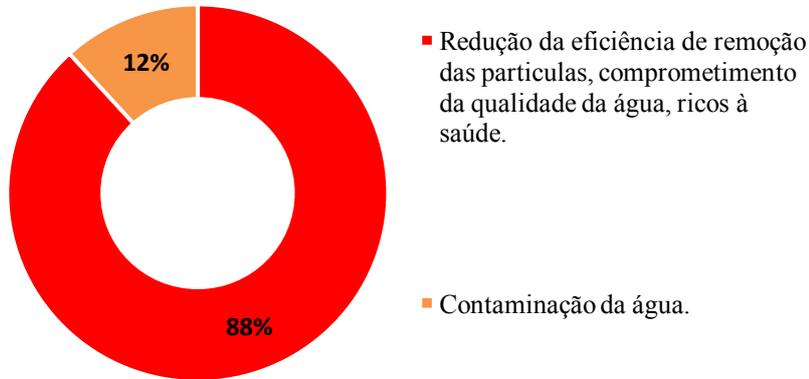
Quando uma ETA opera acima da vazão nominal de projeto, os tempos de retenção dos diferentes estágios de tratamento são comprometidos, o que pode resultar na eficiência reduzida nos processos de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, prejudicando a remoção de partículas, microrganismos e substâncias indesejáveis da água. Além disso, existe maior possibilidade de transbordamentos, desgastes estruturais e de equipamentos e aumento de custos operacionais. É necessário avaliar o desempenho da ETA em escala real para definir soluções ótimas para modernização da planta, a fim de otimizar a operação (SORLINI *et al*, 2015).

O risco que corresponde 12% dos RPN da planilha, se refere à cor e turbidez da água filtrada. Segundo Pimenta (2020) a turbidez da água filtrada desempenha um papel fundamental como parâmetro de monitoramento operacional em estações de tratamento de água, atuando também como indicador microbiológico da qualidade da água tratada, relacionado à possível presença de protozoários.

Portanto, o controle da turbidez da água filtrada é fundamental para garantir a eficiência do tratamento e a qualidade da água fornecida aos consumidores. O monitoramento frequente desse parâmetro permite identificar desvios operacionais, ajustar os processos de tratamento e adotar medidas corretivas para garantir a conformidade com os padrões de qualidade da água estabelecidos.

A representatividade de porcentagem das duas falhas da modalidade de tratamento - filtração que necessitam de maior prioridade pode ser observada na Figura 44.

Figura 44- Representatividade de prioridades de falhas – Filtração.



Fonte: Autora (2023).

As medidas mitigatórias propostas para a modalidade tratamento – filtração podem ser observadas no Quadro 13.

Quadro 13: Proposições de medidas mitigatórias-Filtração.

MODO DE FALHA		PROPOSIÇÕES DE MEDIDAS MITIGATÓRIAS
1	Possibilidade de que a cor e turbidez possam estar excedendo os valores permitidos devido as possíveis ineficiências dos processos anteriores.	Verificar parâmetros da qualidade da água filtrada, monitoramento individual de cada filtro conforme recomendado pela Portaria GM/MS n° 888/21. Otimização das etapas precedentes que influenciam no aporte de partículas ao filtro conforme proposições de medidas mitigatórias das Tabelas 12,13 e 14. Finalidade: Garantir a clarificação da água
2	Meios filtrantes comprometidos. (não houve substituição desde o início operacional da ETA).	Substituição dos meios filtrantes (areia e antracito) de todos os filtros respeitando as recomendações da NBR 12216. Determinar a Taxa de filtração dos filtros através de ensaios de filtração por meio de filtros pilotos conforme métodos utilizados na literatura de Di Bernardo e Teixeira (DI BERNARDO <i>et al</i> , 1993). Finalidade: Duração da carreira de filtração, remoção de impurezas (partículas, bactérias e protozoários), programação de retrolavagem. O desempenho desta unidade é essencial para garantir a produção de água que atenda ao padrão de potabilidade e as demais normativas vigentes, além de permitir ainda que a desinfecção ocorra de forma adequada (DI BERNARDO, 2005).

Fonte: Autora (2023).

7.1.7 Desinfecção

A desinfecção é uma etapa crucial no tratamento de água, que tem como objetivo eliminar ou inativar microrganismos patogênicos. A avaliação dos riscos da etapa de tratamento - desinfecção pode ser observada no Quadro 14.

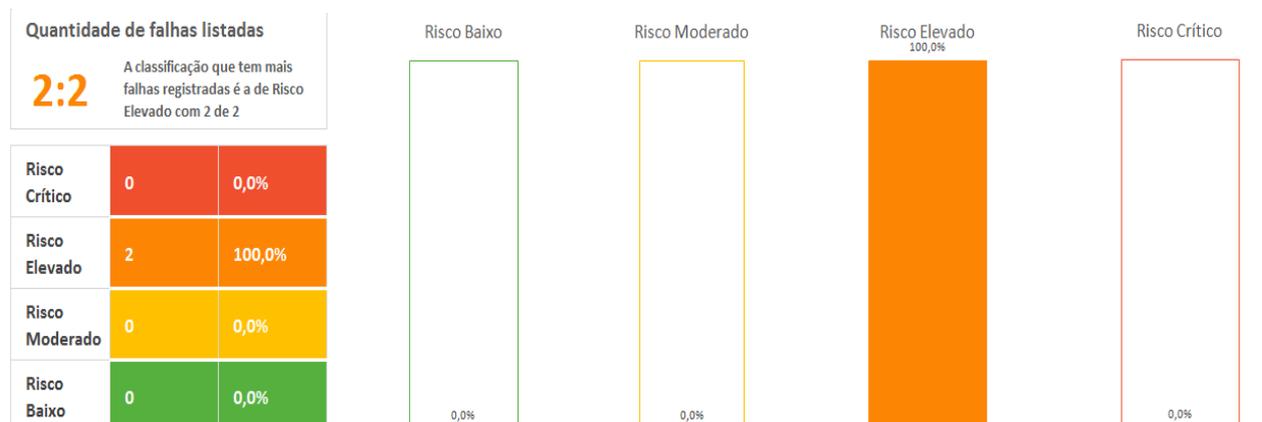
Quadro 14: Análise e Classificação de Riscos-Desinfecção.

Id	Modo de Falha	Efeito potencial da Falha	Possibilidade de Ocorrência	Severidade da Falha	Possibilidade da Detecção	RPN	Classificação
1	Possibilidade de haver presença de substâncias orgânicas na água desinfetada.	Presença de subprodutos químicos na água desinfetada, riscos à saúde da população.	6	8	5	240	Risco Elevado
2	Chance de o teor de cloro estar em proporção imprópria. (dosagem manual).	Contaminação da água e riscos à saúde.	8	8	4	256	Risco Elevado

Fonte: Autora (2023).

Foram identificados 2 registros de falhas na modalidade de Tratamento de Água - desinfecção. A classificação que tem o maior número de falhas registradas é a de risco elevado, conforme a Figura 45.

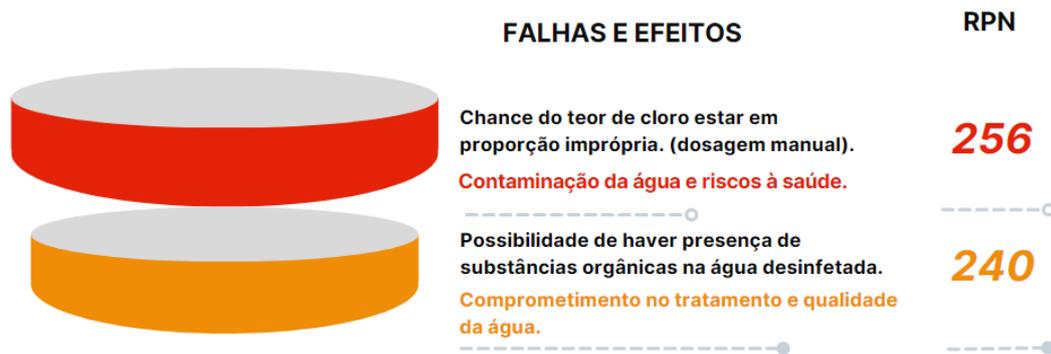
Figura 45- Quantificação de riscos - Desinfecção.



Fonte: Autora (2023).

Através do cálculo RPN foi possível identificar os riscos prioritários. Foram listadas 2 falhas que obtiveram maior índice de RPN que podem ser observados na Figura 46.

Figura 46- Riscos Prioritários - Desinfecção.



Fonte: Autora (2023).

Conforme os resultados obtidos na etapa do Tratamento – desinfecção a falha que representou o maior RPN foi a chance de o teor de cloro estar em proporção imprópria (dosagem manual) com 52%. É importante ressaltar que a desinfecção da água deve ser realizada de forma adequada, seguindo as normas e regulamentos estabelecidos pelas autoridades de saúde e meio ambiente. Segundo Zhang *et al* (2021) a otimização e o monitoramento regular da qualidade da água também são essenciais para avaliar a eficácia da desinfecção e a segurança do abastecimento. Dose de cloro e tempo de contato suficientes devem ser garantidos para assegurar a inativação de microrganismos como bactérias e vírus, capazes de causar doenças. Isso pode levar a surtos de doenças transmitidas pela água, afetando a saúde da população que consome a água contaminada.

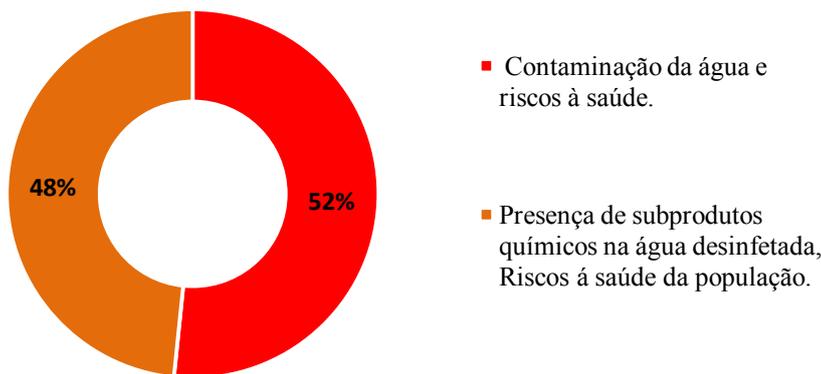
O RPN referente à presença de substâncias orgânicas presentes na água representa 48% da planilha. Li *et al* (2018) ressaltam que a desinfecção da água usando produtos químicos como o cloro, pode resultar na formação de subprodutos químicos conhecidos como trihalometanos (THMs). Os THMs são formados quando o cloro reage com substâncias orgânicas presentes na água durante o processo de desinfecção, e altos níveis de THMs na água potável causam riscos à saúde, como aumento do risco de câncer de bexiga, cólon e reto.

Conforme citado anteriormente, a análise e monitoramento da desinfecção e da água desinfetada são de suma importância, pois, o alto e baixo nível de desinfetantes podem causar danos à saúde humana. Além disso, é importante salientar que o treinamento e a capacitação

contínua dos operadores do sistema de abastecimento de água é essencial para o funcionamento da ETA, dessa maneira, os mesmos garante que a qualidade da água esteja em conformidade com os requisitos regulatórios.

A representatidade de porcentagem das duas falhas potenciais da modalidade de tratamento – desinfecção que necessitam de maior prioridade pode ser observada na Figura 47.

Figura 47- Representatividade de prioridades de falhas – Desinfecção.



Fonte: Autora (2023).

As medidas mitigatórias propostas para a modalidade tratamento – desinfecção pode ser observada no Quadro 15.

Quadro 15: Proposições de medidas mitigatórias-Desinfecção.

MODO DE FALHA		PROPOSIÇÕES DE MEDIDAS MITIGATÓRIAS
1	Possibilidade de haver presença de substâncias orgânicas na água desinfetada devido a ineficiência das unidades de clarificação e filtração.	Remoção das substâncias orgânicas antes da desinfecção, conforme as proposições mitigatórias das unidades anteriores Tabelas 12, 13,14 e 15. Finalidade: Atendimento ao padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria GM/MS nº888/21 e condições sanitárias, inativação dos microrganismos, controle da turbidez e evitar formação de subprodutos.
2	Chances de o teor de cloro estar em proporção imprópria. (dosagem manual).	Otimização da desinfecção através de Instalação de bombas dosadoras automáticas para que as dosagens de desinfetantes sejam ajustadas de forma precisa. Finalidade: Evitar erros nas dosagens, garantir o residual de cloro nas redes de distribuição, atender o padrão de potabilidade, evitar os riscos de doenças da população. Manutenção: Calibração regular conforme orientação do fabricante das bombas dosadoras e treinamento dos operadores.

Fonte: Autora (2023).

7.1.8 Fluoretação

De acordo com Stancari *et al* (2014) fluoretação da água é um processo no qual a concentração de flúor é ajustada em nível ótimo para a prevenção da cárie dentária. É considerada uma medida de saúde pública eficaz e amplamente adotada nos sistemas de abastecimento de água em muitos países. A avaliação dos riscos da etapa de tratamento - fluoretação pode ser observada no Quadro 16.

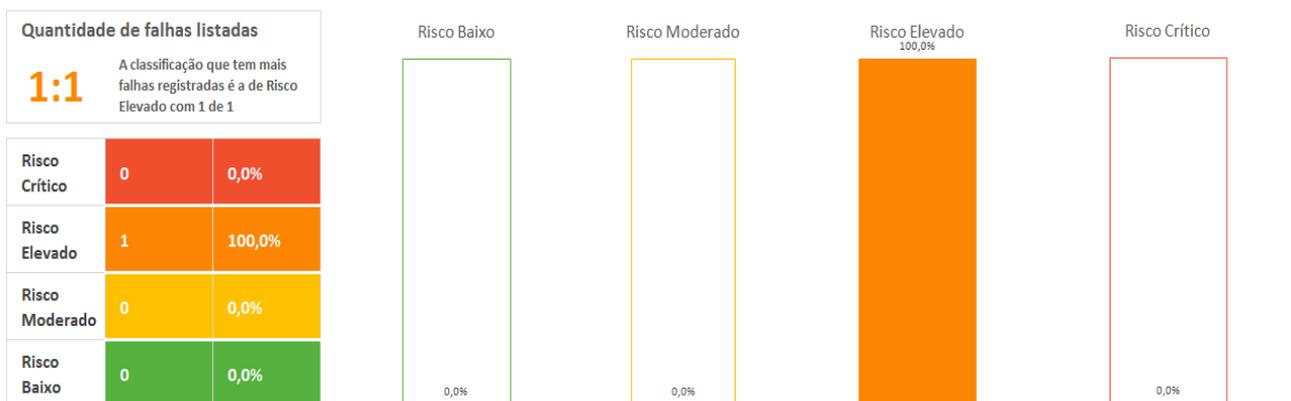
Quadro 16: Análise e Classificação de Riscos-Fluoretação.

Id	Modo de Falha	Efeito potencial da Falha	Possibilidade de Ocorrência	Severidade da Falha	Possibilidade da Detecção	RPN	Classificação
1	Possibilidade de falha na dosagem. (dosagem manual)	Insuficiência de flúor na prevenção de cárie e/ou risco de fluorose dentária.	6	7	3	126	Risco Elevado

Fonte: Autora (2023).

Foi observada na avaliação dos riscos da etapa de tratamento – fluoretação 1 registro, a possibilidade de falha na dosagem, que foi considerado como risco elevado, pois a dosagem manual de produtos químicos nas estações de tratamento de água apresenta riscos de inconsistência na dosagem, devido a erros humanos. Os dosadores automáticos são preferíveis, pois oferecem um controle preciso e automatizado, melhorando a eficácia, a segurança e a eficiência do tratamento da água. O risco foi quantificado conforme a Figura 48.

Figura 48- Quantificação de riscos - Fluoretação.



Fonte: Autora (2023).

É pertinente monitorar os níveis de flúor na água para evitar a ingestão excessiva. Altos níveis de flúor podem ser tóxicos e levar a problemas de saúde. No entanto, os sistemas de água potável devem ser regulados para garantir que os níveis de flúor sejam seguros e dentro dos limites estabelecidos pelas autoridades de saúde (ROMERO, 2017). Como foi apontado um risco na modalidade de fluoretação, o mesmo é considerado prioritário.

A medida mitigatória proposta para a modalidade tratamento – fluoretação pode ser observada no Quadro 17.

Quadro 17: Proposição de medida mitigatória-Fluoretação.

MODO DE FALHA		PROPOSIÇÕES DE MEDIDAS MITIGATÓRIAS
1	Possibilidade de falha na dosagem. (dosagem manual)	Instalação de dosadores automáticos. Realização de análises e monitoramento periódicos, capacitação dos operadores.

Fonte: Autora (2023).

7.1.9 Laboratório

A avaliação dos riscos do laboratório da ETA pode ser observada no Quadro 18.

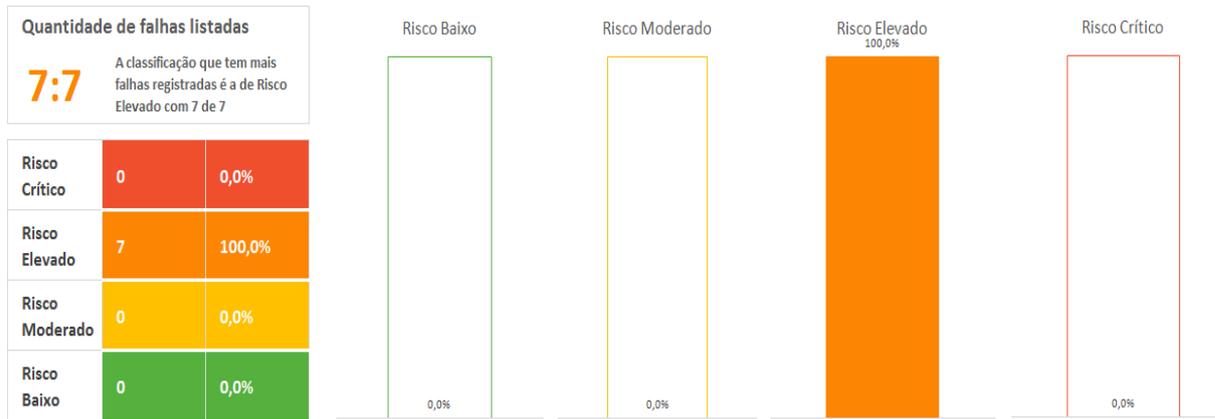
Quadro 18: Análise e Classificação de Riscos-Laboratório.

Id	Modo de Falha	Efeito potencial da Falha	Possibilidade de Ocorrência	Severidade da Falha	Possibilidade da Detecção	RPN	Classificação
1	Carência de preparo dos operadores para manusear aparelhos e realizar testes.	Imprecisão das análises comprometimento da qualidade da água.	7	6	2	84	Risco Elevado
2	Possibilidade de os equipamentos estarem sem manutenção e calibração.	Imprecisão das análises, comprometimento no controle de qualidade da água.	5	8	3	120	Risco Elevado
3	Ausência de diretrizes operacionais padronizadas para as atividades do laboratório.	Comprometimento do controle de qualidade da água.	9	7	2	126	Risco Elevado
4	Falta de registro de dados.	Imprecisão de dados operacionais para tomada de decisões.	9	7	2	126	Risco Elevado
5	Uso de tapetes tipo prolipropileno configurado para espaços domésticos.	Acúmulo de sujeira, poeira, partículas e microrganismos, o que pode representar um risco de contaminação para as amostras de água e os procedimentos de análise.	10	8	1	80	Risco Elevado
6	Possibilidade da inexistência de aparelhos reservas em caso de avarias.	Paralisação das análises de água.	7	8	3	168	Risco Elevado
7	Possibilidade de armazenamento de reagentes vencidos para testes.	Comprometimento das análises e qualidade da água.	6	8	2	96	Risco Elevado

Fonte: Autora (2023).

Foram identificados 7 registros de falhas no laboratório da ETA. A classificação que tem o maior número de falhas registradas é a de risco elevado que foram identificadas nas ocorrências, conforme pode ser observado na Figura 49.

Figura 49- Quantificação de riscos - Laboratório.



Fonte: Autora (2023).

Através do cálculo RPN, foi possível identificar os riscos prioritários das falhas listadas que obtêm maior índice de RPN as quais podem ser observadas na Figura 50.

Figura 50- Riscos Prioritários- Laboratório.

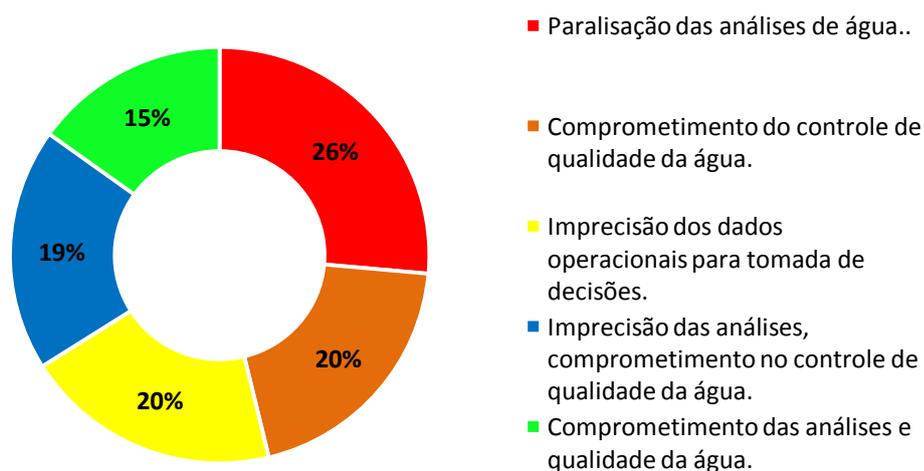


Fonte: Autora (2023).

Conforme pode ser observado na Figura 58 os riscos laboratoriais estão atrelados ao operacional da ETA, uma vez que, o sistema operacional é de suma importância em todas as etapas do tratamento de água. É crucial que todos os funcionários sejam treinados e capacitados diante de suas atribuições impostas. Nguyen *et al* (2023) afirmam que o monitoramento nos laboratórios das estações de tratamento de água desempenham um papel fundamental na garantia da qualidade e segurança da água potável. Essa prática desempenha um papel relevante, prioritário e essencial para assegurar que a água seja gerenciada com segurança e atenda aos padrões de qualidade exigidos. Mas segundo Bastos et al. (2007) os métodos de monitoramento da qualidade da água por meio de controle laboratorial apresentam limitações na garantia da segurança da água e proteção da saúde humana. Isso se deve a diversos fatores, tais como: i) a amostragem baseia-se em princípios estatísticos, o que pode não capturar todas as variações da água em tempo hábil; ii) as técnicas laboratoriais existentes demandam tempo para fornecer resultados; iii) os organismos indicadores utilizados não são capazes de detectar uma ampla gama de patógenos na água; iv) os valores máximos permitidos para substâncias químicas são estabelecidos com base em estudos com certo grau de incerteza, além da legislação ser atualizada de forma lenta.

A representatividade de porcentagem das cinco falhas potenciais do laboratório que necessitam de maior prioridade pode ser observada na Figura 51.

Figura 51- Representatividade de prioridades de falhas – Laboratório.



Fonte: Autora (2023).

As medidas mitigatórias propostas para o laboratório podem ser observadas no Quadro 19.

Quadro 19: Proposições de medidas mitigatórias-Laboratório.

MODO DE FALHA		PROPOSIÇÕES DE MEDIDAS MITIGATÓRIAS
1	Carência de preparo dos operadores para manusear aparelhos e realizar testes.	Capacitação dos operadores conforme ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017.
2	Possibilidade de os equipamentos estarem sem manutenção e calibração.	Realização de calibração dos equipamentos, documentar as calibrações realizadas incluindo data e resultados conforme ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017.
3	Ausência de diretrizes operacionais padronizadas para as atividades do laboratório.	Realizar elaboração e implementação do POP – Procedimento Operacional Padrão.
4	Falta de registro de dados.	Realizar registros dos resultados de monitoramento, organizados por etapa de tratamento conforme ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017.
5	Utilização de tapetes tipo polipropileno configurado para espaços domésticos.	Não utilizar tapetes no laboratório, Implementar rotinas de limpeza e desinfecção dos equipamentos, realizar treinamentos para os operadores do laboratório sobre técnicas laboratoriais conforme ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 e portaria GM/MS N°888, de 4 de maio de 2021.
6	Possibilidade da inexistência de aparelhos reservas em caso de avarias.	Obtenção de aparelhos reserva para substituição, manutenções preventivas dos aparelhos, registrar as manutenções realizadas nos equipamentos.
7	Possibilidade de armazenamento de reagentes vencidos para testes.	Estabelecer sistema de controle da validade dos reagentes, análise periódica do estoque dos reagentes, criar procedimentos para reposição e controle adequado dos reagentes ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017.

Fonte: Autora (2023).

7.1.10 Produtos químicos

A avaliação dos riscos da etapa dos produtos químicos pode ser observada no Quadro 20.

Quadro 20: Análise e Classificação de Riscos-Produtos químicos.

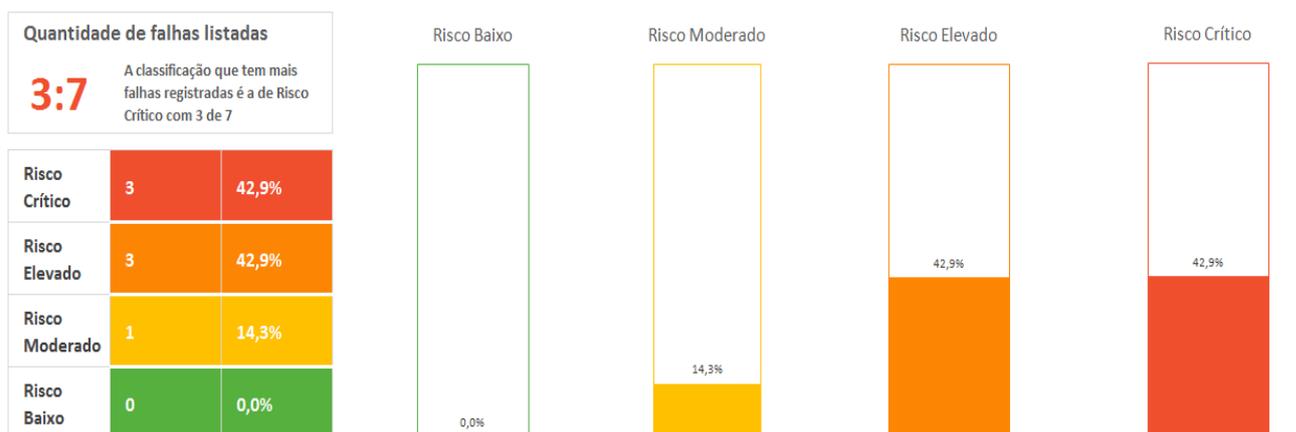
Id	Modo de Falha	Efeito potencial da Falha	Possibilidade de Ocorrência	Severidade da Falha	Possibilidade da Detecção	RPN	Classificação
1	Vazamento de produtos químicos líquido.	Contaminação do solo, comprometimento e perda de qualidade dos produtos que estão armazenados e expostos diretamente ao solo.	10	8	1	80	Risco Elevado
2	Possibilidade de armazenamento inadequado de produtos químicos incompatíveis próximos uns aos outros.	Reação química perigosa e corrosão dos recipientes.	8	7	1	56	Risco Elevado
3	Ventilação inadequada no local de armazenamento.	Acúmulo de vapores e poeira tóxica e inflamável, degradação dos produtos químicos e riscos à saúde.	9	9	1	81	Risco Crítico
4	Exposição de produtos químicos à umidade.	Degradação ou alteração nas propriedades dos produtos químicos.	10	9	1	90	Risco Crítico
5	Ausência de protocolos de emergência para lidar com vazamentos, derramamentos ou incidentes químicos.	Riscos de danos a saúde, segurança e meio ambiente.	10	9	2	180	Risco Crítico

Id	Modo de Falha	Efeito potencial da Falha	Possibilidade de Ocorrência	Severidade da Falha	Possibilidade da Detecção	RPN	Classificação
6	Possibilidade de falta de inventário de produtos químicos necessários e/ou produtos vencidos.	Interrupção do tratamento de água, comprometimento da qualidade da água.	5	6	2	60	Risco Elevado
7	Possibilidade da não identificação dos produtos químicos.	Uso incorreto dos produtos químicos, tratamento inadequado da	4	6	1	24	Risco Moderado

Fonte: Autora (2023).

Foram identificados 7 registros de falhas no Armazenamento dos produtos químicos da ETA. A classificação que tem o maior número de falhas registradas é a de risco crítico e elevado e um risco moderado que foram identificadas nas ocorrências, conforme pode ser observado na Figura 52.

Figura 52- Quantificação de riscos - Produtos Químicos.



Fonte: Autora (2023).

Através do cálculo RPN, foi possível identificar os riscos prioritários das falhas listadas que obtiveram maior índice de RPN as quais podem ser observadas na Figura 53.

Figura 53- Riscos Prioritários- Produtos Químicos.



Fonte: Autora (2023).

Produtos químicos utilizados para o tratamento de água para consumo humano podem introduzir a água características indesejáveis e/ou prejudiciais à saúde humana, dependendo de sua procedência, composição e manuseio. O controle de produtos químicos nas estações de tratamento de água é crucial para garantir a segurança e a qualidade da água potável de acordo com as normas da ABNT, como a NBR 15.784. Dessa norma são estabelecidas regras para o armazenamento, manuseio e segurança dos produtos químicos usados no tratamento da água como também treinamento dos operadores, monitoramento da qualidade dos produtos e documentação adequada, que são fundamentais para fornecer água potável segura à população. Segundo Lane *et al* (2018) os procedimentos de monitoramento e gerenciamento de riscos são essenciais para uma boa gestão do tratamento de água.

A representatividade de porcentagem das cinco falhas potenciais dos produtos químicos que necessitam de maior prioridade pode ser observada na Figura 54.

Figura 54- Representatividade de prioridades de falhas – Produtos Químicos.



Fonte: Autora (2023).

As medidas mitigatórias propostas para os produtos químicos podem ser observadas no Quadro 21.

Quadro 21: Proposições de medidas mitigatórias-Produtos químicos.

MODO DE FALHA		PROPOSIÇÕES DE MEDIDAS MITIGATÓRIAS
1	Vazamento de produtos químicos líquido.	Contratar profissional da área de segurança do trabalho, implementar procedimentos de transferência e manuseio de produtos químicos, realizar treinamentos com os funcionários, implantar sistemas de contenção (bacias ou diques) para conter e evitar a propagação de vazamentos, disponibilizar kits de procedimentos de limpeza Conforme ABNT NBR 15.784 e ABNT NBR 7500/2021.
2	Possibilidade de armazenamento inadequado de produtos químicos incompatíveis próximos uns aos outros.	Estabelecer política de armazenamento de segregados, fornecer treinamentos para os funcionários, implantar sistema de verificação para cumprimento das regras de armazenamento de segregados conforme ABNT NBR 15.784 e ABNT NBR 14.619.
3	Ventilação inadequada no local de armazenamento.	Melhorar a ventilação do local, com aberturas de janelas ou algum outro sistema de ventilação conforme ABNT NBR 7500/2021.
4	Exposição de produtos químicos à umidade.	Armazenar os produtos em locais com boa ventilação e protegido, evitar estocar produtos diretamente ao chão, usar extratos de madeira (pallets) conforme ABNT NBR 7500/2021.

MODO DE FALHA		PROPOSIÇÕES DE MEDIDAS MITIGATÓRIAS
5	Ausência de protocolos de emergência para lidar com vazamentos, derramamentos ou incidentes químicos.	Manter as FISQP e as LARS dos produtos químicos em locais acessíveis para tomada de decisões, realizar treinamentos com os funcionários conforme Portaria GM/MS nº888/2021 e ABNT NBR 15.784.
6	Possibilidade de falta de inventário de produtos químicos necessários, produtos vencidos.	Implementar sistema de registros e controle dos produtos químicos, realizar verificação periódica e atualização do inventário das datas de validade e reposição de estoque dos produtos, conforme ABNT NBR 15.784.
7	Possibilidade da identificação inadequada dos produtos químicos.	Implementar sistema de rotulagem clara e padronizada para todos os recipientes de produtos químicos, realizar verificações periódicas, realizar treinamentos regulares para os trabalhadores sobre a identificação correta dos produtos químicos e o uso adequado de cada um deles conforme ABNT NBR 15.784, ABNT NBR 14.725-3 e ABNT NBR 7500/2021.

Fonte: Autora (2023).

7.1.11 Reservação

Qin (2021) ressalta que os reservatórios de água potável desempenham um papel importante no abastecimento de água e a análise de riscos contribui para melhoria e qualidade da água a ser consumida. A avaliação dos riscos da etapa – reservação de água potável pode ser observadas não Quadro 22.

Quadro 22: Análise e Classificação de Riscos-Reservação.

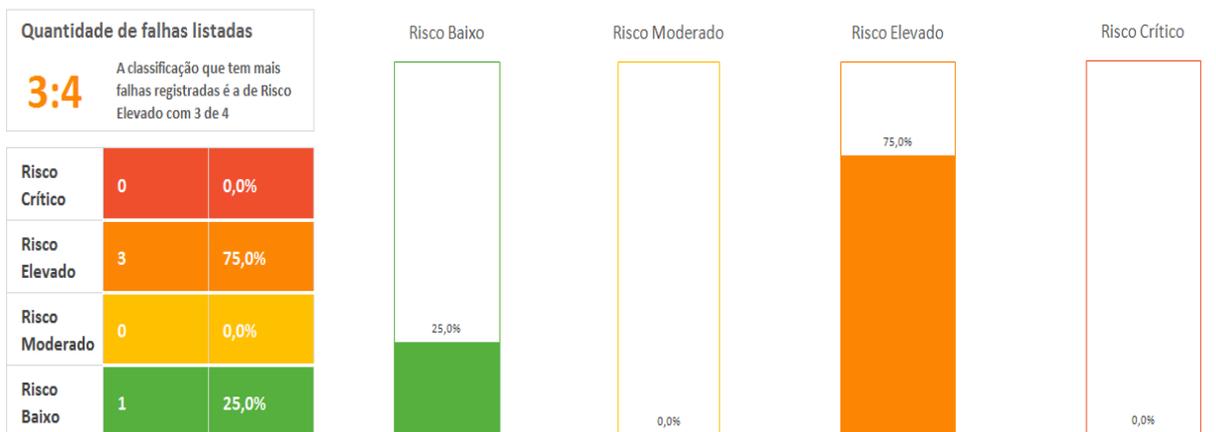
Id	Modo de Falha	Efeito potencial da Falha	Possibilidade de Ocorrência	Severidade da Falha	Possibilidade da Detecção	RPN	Classificação
1	Possibilidade de vazamento na estrutura da reservação devido a desgaste ou corrosão.	Perda de água ou redução do armazenamento.	6	6	1	36	Risco Elevado
2	Possibilidade de contaminação da água armazenada.	Riscos para a saúde pública e qualidade inadequada da água.	6	7	4	168	Risco Elevado

Id	Modo de Falha	Efeito potencial da Falha	Possibilidade de Ocorrência	Severidade da Falha	Possibilidade da Detecção	RPN	Classificação
3	Possibilidade de capacidade insuficiente de armazenamento.	Incapacidade de atender a demanda de água em horários de pico.	1	1	1	1	Risco Baixo
4	Possibilidade de acúmulo de sedimentos.	Comprometimento da qualidade da água, crescimentos de microrganismos, redução da capacidade de armazenamento.	5	7	4	140	Risco Elevado

Fonte: Autora (2023).

Foram identificados 4 registros de falhas na modalidade de distribuição de Água - reservação. A classificação que tem o maior número de falhas registradas é a de risco elevado e o risco baixo contendo um registro, enquanto os riscos moderado e crítico não foram identificados nas ocorrências, conforme pode ser observado na Figura 55.

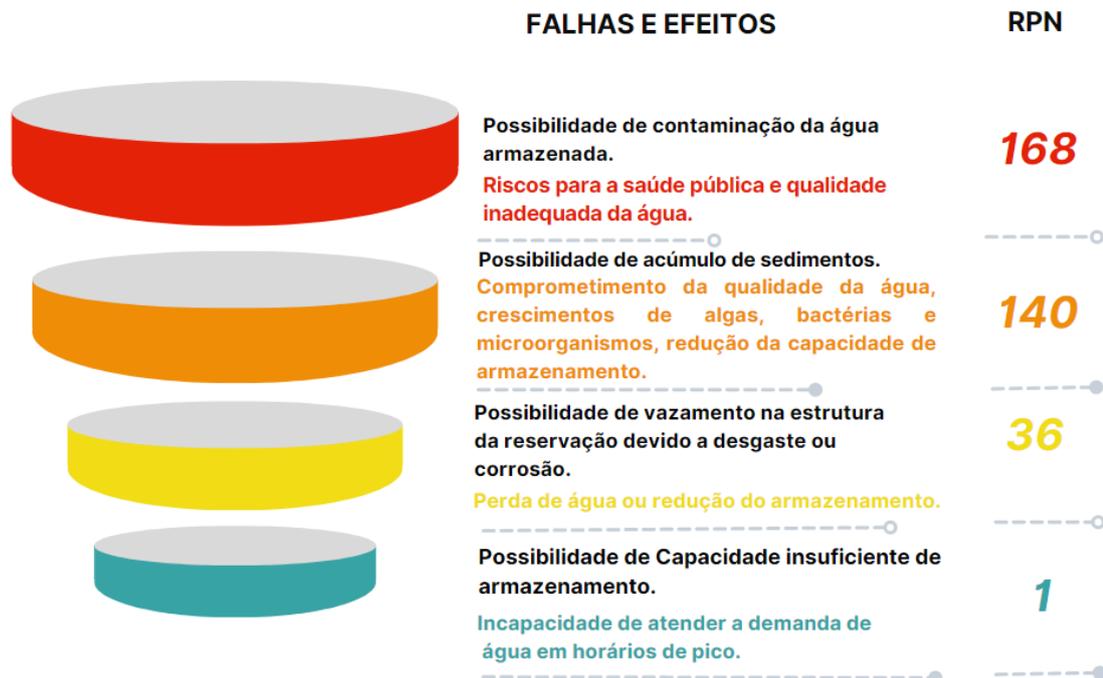
Figura55: Quantificação de riscos - Reservação.



Fonte: Autora (2023).

Através do cálculo RPN, foi possível identificar os riscos prioritários das falhas listadas que obtêm maior índice de RPN as quais podem ser observadas na Figura 56.

Figura56: Riscos Prioritários- Reservação.



Fonte: Autora (2023).

Conforme o resultado dos riscos prioritários da etapa– reservação o risco que representa 49% das prioridades corresponde à falha de possibilidade de contaminação da água armazenada. A contaminação da água potável em reservatórios de água para distribuição pode ter impactos significativos na saúde da população. Portanto, é fundamental adotar medidas eficazes de manutenção adequada dos reservatórios, monitoramento regular da qualidade da água e implementação de práticas de segurança para minimizar esses perigos e garantir que a água fornecida seja segura para o consumo humano (SÉRIO *et al.*, 2021).

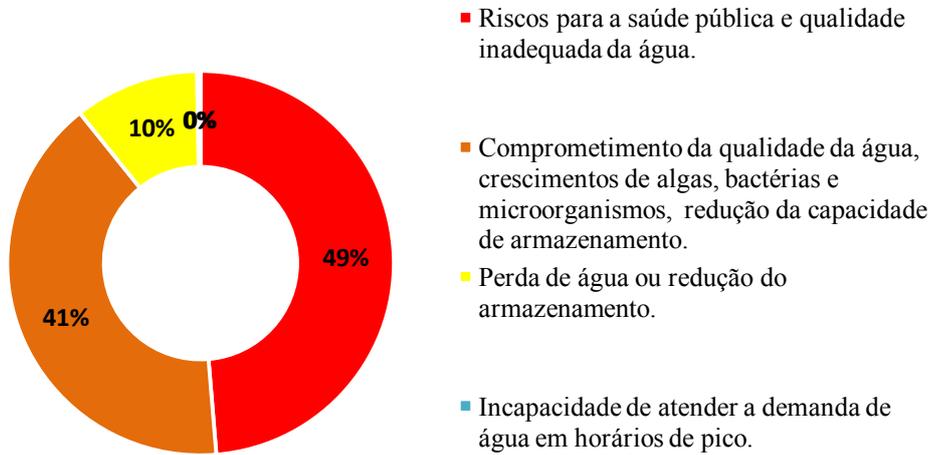
A possibilidade de acúmulo de sedimentos no reservatório representa 41% dos RPN. Esse modo de falha pode se concretizar devido à falta de manutenção e monitoramento no armazenamento da água potável, é importante que os gestores de água potável adotem medidas adequadas para minimizar esses riscos, como a implementação de práticas de manutenção regular, monitoramento da qualidade da água, limpeza e desinfecção adequadas dos reservatórios (HAMOUDA *et al.*, 2018).

A conscientização e a implementação de regulamentações e padrões de segurança também são fundamentais para garantir a qualidade e a segurança da água potável armazenada nos reservatórios.

A representatividade de porcentagem das cinco falhas potenciais da modalidade de o –

reservação que necessitam de maior prioridade pode ser observada na Figura 57.

Figura57: Representatividade de prioridades de falhas – Reservação.



Fonte: Autora (2023).

As medidas mitigatórias propostas para a modalidade tratamento – reservação pode ser observada no Quadro 23.

Quadro 23: Proposições de medidas mitigadoras-Reservação.

MODO DE FALHA		PROPOSIÇÕES DE MEDIDAS MITIGATÓRIAS
1	Possibilidade de vazamento na estrutura da reservação devido a desgaste ou corrosão.	Realizar inspeções regulares da estrutura, válvulas e bombas, implementar revestimentos protetores no reservatório, instalar medidor de níveis de água e monitorar periodicamente conforme NBR 12217.
2	Possibilidade de contaminação da água armazenada.	Reforçar o controle de acesso na área do reservatório, realizar análises regulares da água armazenada conforme plano de amostragem da Portaria GM/MS nº 888/2021, realizar manutenção preventiva e criar cronograma de limpeza, manter a tampa de inspeção trancada e vedada.
3	Possibilidade de capacidade insuficiente de armazenamento.	Realizar estudos de demanda de água em horários de pico para dimensionar corretamente a capacidade de armazenamento do reservatório conforme NBR 12217, NBR 12211 e NBR 12214.
4	Possibilidade de acúmulo de sedimentos.	Criar cronograma de limpeza e sanitização, realizar inspeção periódicas, elaborar planos de manutenção.

Fonte: Autora (2023).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de riscos realizada no Sistema de Abastecimento de Água do município de Nova Era-MG utilizando o método FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) com vistas ao desenvolvimento de um plano de segurança da água representa elemento essencial para garantir a qualidade, segurança e confiabilidade do sistema de abastecimento de água. Através da aplicação do FMEA, foi possível identificar as potenciais falhas e seus efeitos adversos, permitindo a proposição de medidas preventivas e corretivas para mitigar esses riscos.

Os resultados obtidos permitiram classificar os eventos de acordo com sua probabilidade de ocorrência e a magnitude do impacto sobre os serviços oferecidos aos usuários. Essa análise revelou que a etapa da bacia de captação e a etapa de filtração apresentaram os mais elevados índices de RPN (*Risk Priority Number*). Essa constatação enfatiza a urgência na implementação de medidas preventivas e de mitigação para reduzir as potenciais falhas nesses estágios do sistema que já se materializam.

O uso do FMEA ofereceu uma abordagem estruturada para a análise de riscos, levando em consideração os diferentes componentes e processos envolvidos no sistema de abastecimento de água. Ao identificar as falhas e suas causas, os responsáveis podem priorizar ações corretivas, alocar recursos adequadamente e implementar medidas de controle para evitar a ocorrência de problemas no futuro.

Tratando-se dos aspectos específicos, é possível apresentar as seguintes conclusões com base nos resultados obtidos na aplicação do método:

- A aplicação da metodologia FMEA para a implementação da gestão de riscos revelou-se uma ferramenta eficaz, de aplicação simples e rápida.
- Os *Dashbord* criados a partir da aplicação da ferramenta FMEA facilitam a visualização das falhas, dos RPNs, e as classificações dos riscos, como também a visualização dos 5 RPNs prioritários de todas as modalidades do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD T, AHMAD K, ALAM M. **Sludge quantification at water treatment plant and its management scenario**. Environ Monit Assess, 2017.

ALVES et al, **Micropoluentes orgânicos: ocorrência, remoção e regulamentação** Revista de gestão de água da América Latina. 2017. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=2&ID=198&SUMARIO=5252> . Acesso em: 15 mai.2022.

ALVARES *et al.* **Koppen's climate classification map for Brazil**. 1 Forestry Science and Research Institute (IPEF), Piracicaba – SP, Brazil 2014.

AMEPI. **Gestão de resíduos sólidos**.2017. Disponível em: <https://www.amepi.org.br>. Acesso em: 27 abr.2022.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas do abastecimento de água**. SNIRH. 2018. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/agua-esgoto/agua-tabs/informacoes>. Acesso em: 10 mai de 2022.

CLIMATE-DATA.ORG. **Dados climatológicos Nova Era Brasil**.2022.Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/nova-era-176125/> . Acesso em 23 abr. 2022.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água**. Brasília. 2010. 72 p.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília, 2019.. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/ana_manual_de_usos_consuntivos_da_agua_no_brasil.pdf/view>. Acesso em: 17 maio 2022.

ARAOS, M., Cid, F., & Urrutia, R. (2021). **Water quality, public health, and ecosystem services: assessing trade-offs, synergies, and management options in a Mediterranean basin**. Water, 13(2), 243. <https://doi.org/10.3390/w13020243>. Acesso em: 08 de maio 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12211 – **Estudos de Concepção de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1992. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/5609/abnt-nbr12216-projeto-de-estacao-de-tratamento-de-agua-para-abastecimento-publico-procedimento> Acesso em: 08 abr. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12214 - **Projeto de Sistema de Bombeamento de Água para Abastecimento Público**. Rio de Janeiro, abril 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12216 - **Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro, abril 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12217 - **Projeto de Reservatório de Distribuição de Água para Abastecimento Público**. Rio de Janeiro, julho 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14619 - **Incompatibilidade química. 10º edição**. Rio de Janeiro, março 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14725-3 – **Produtos Químicos – Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente parte 3: Rotulagem. 3º edição**. Rio de Janeiro, agosto 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15784 – **Produtos Químicos utilizados no tratamento no tratamento de água para consumo humano – Efeitos à Saúde – Requisitos**. Rio de Janeiro, abril 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7500 – **Identificação para o transporte terrestre, manuseio, movimentação e armazenamento de produtos. 12º edição**. Rio de Janeiro, maio 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9826- **Medição de vazão de líquido em canais abertos – Calhas Parshall e SANIIRI . 1º edição**. Rio de Janeiro, fevereiro 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9001:2015- **Sistema de Gestão da Qualidade – Requisitos. 3º edição**. Rio de Janeiro, setembro 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/IEC 17025- **Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaios e calibração. 3º edição**. Rio de Janeiro, dezembro 2017.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D1941, - **Método de teste padrão para medição de vazão de água em canal aberto com a calha Parshall**. Edição 2022, 24 de fevereiro de 2022.

AZEVEDO *et al.* **Manual de Hidráulica**. 8 ed. São Paulo. 1998. BIUncher LTDA.

BADARÓ JPM, CAMPOS VP, DA ROCHA FOC, SANTOS CL. **Multivariate analysis of the distribution and formation of trihalomethanes in treated water for human**

consumption. Food Chem, 2021.

BAHRAMI, M.; BAZZAZ, D. H.; SAJJADI, S. M. **Innovation and improvements in project implementation and management; using {FMEA} technique.** Procedia - Social and Behavioral Sciences, v. 41, p. 418 – 425, 2012. ISSN 1877-0428. The First International Conference on Leadership, Technology and Innovation Management. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812009305>
Acesso em: 05 mai. 2022.

BASTOS, R. K. X.; BEZERRA, N.R; BEVILACQUA, P.D. **Planos de Segurança da Água: Novos Paradigmas em Controle de Qualidade da Água para Consumo Humano em Nítida Consonância com a Legislação Brasileira.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte/MG.

BERNARDO, L. DI; PAZ, L. P. S. **Seleção de tecnologias de tratamento de água.** São Carlos: LDiBe, 2010. p. 868.

BIXIONG YE, YUANSHENG CHEN, YONGHUA LI, HAIRONG LI, LINSHENG YANG AND WUYI WANG. **Risk assessment and water safety plan: case study in Beijing.** Journal of Water and Health, 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. Plano de Segurança da Água. Garantindo a qualidade e promovendo a saúde. Um olhar do SUS. Brasília DF. 2012. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/plano_seguranca_agua_qualidade_sus.pdf.
Acesso em: 12 abr. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Procedimentos de Controle e de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade.** 2021. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: 26 mar. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde.** – Brasília. 2006. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf
Acesso em: 06 mar.2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Boas práticas no abastecimento de água: procedimentos para a minimização de riscos à saúde / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde.** – Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

BRASIL. Portaria nº 888, de 07 de maio de 2021. Altera o anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, **para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Brasil. 2021.

BRASIL, Resolução CONAMA 357. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. CONAMA 2005. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747> Acesso em 07 abri. 2022.

BEVILACQUA PD *et al.* **Densidades de Giardia e Cryptosporidium em mananciais de abastecimento de água e prevalência de giardiase: usos e aplicações do modelo teórico de avaliação de risco**. Anais do XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Cancun: Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2002.

BIXIONG YE, YUANSHENG CHEN, YONGHUA LI, HAIRONG LI, LINSHENG YANG AND WUYI WANG. **Risk assessment and water safety plan: case study in Beijing**. Journal of Water and Health, 2015.

BRISTOL, R. SKY *et al.* “**Science Strategy for Core Science Systems in the U.S. Geological Survey, 2013-2023.**” Open-File Report (2012): n. pag. Web. Disponível em : https://www.academia.edu/26264815/Science_Strategy_for_Core_Science_Systems_in_the_U_S_Geological_Survey_2013_2023_Public_Review_Release?auto=citations&from=cover_page. Acesso em: 07 mai. 2022.

Cai L, Ju F, Zhang T. **Tracking human sewage microbiome in a municipal wastewater treatment plant**. Appl Microbiol Biotechnol. 2014.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE. **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce e Planos de Ações para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio Doce**. Volume I, Relatório Final. Elaborado pelo Consórcio ECOPLAN-LUME. 2008.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRACICABA. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão DO2 – PARH Piracicaba**. Elaborado pelo Consórcio ECOPLAN-LUME. 2010.

CHIN, K. S.; WANG, Y. M.; POON, G. K. K.; YANG, J. B. **Failure mode and effects analysis by data envelopment analysis**. *Decision Support Systems*, 2009.

CUI H, HUANG X, YU Z, CHEN P, CAO X. **Application progress of enhanced coagulation in water treatment.** RSC Adv. 2020.

CUNHA, MÁRCIA VALÉRIA PORTO DE OLIVEIRA CUNHA. **Importância da frequência de descarte de lodo na eficiência dos decantadores de estações de tratamento de água em ciclo completo.** 2004. 261 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Centro Tecnológico, Belém, 2004. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

DANIEL BARTIKO, MARCELO DE JULIO. **Construção e emprego de diagramas de coagulação como ferramenta para o monitoramento contínuo da floculação em águas de abastecimento.** Revista Ambiente e Água, 2014.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.B.; VOLTAN, P.E.N. **Métodos e técnicas de tratamento e disposição dos resíduos gerados em estações de tratamento de água** São Paulo, 2012. LDiBe. 540 p.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água.** São Carlos: RiMa, 2002.

DI BERNARDO, L.; PAZ, L. P. S. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água.** São Carlos: LDIBE LTDA, 2008. v. 1.

DI MATTEO L, *et al.* **Climate change, water supply and environmental problems of headwaters:** The paradigmatic case of the Tiber, Savio and Marecchia rivers (Central Italy). Sci Total Environ. 2017.

FITZPATRICK CS, FRADIN E, GREGORY J. **Temperature effects on flocculation, using different coagulants.** Water Sci Technol, 2004.

FMEA. **Análise de modo e efeito de falhas. Manual FMEA. Suplementar para monitoramento e resposta do sistema.** 1 ed. 2019.

FREITAS, *et al.* **A vigilância da qualidade da água para consumo humano: desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde.** Ciência & Saúde Coletiva [online]. 2005, v. 10, n. 4 [Acessado 10 Julho 2022] , pp. 993-1004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-81232005000400022>>. Acesso em: 06 mar. 2022.

F. SUN, J. CHEN, Q. TONG AND S. ZENG. **Integrated risk assessment and screening analysis of drinking water safety of a conventional water supply system.** Water Science & Technology Vol 56, 2007.

GUNNARSDÓTTIR, M.J.; GISSURARSON, L.R. **HACCP and water safety plans in Icelandic water supply: Preliminary evaluation of experience.** Journal of Water and Health, v. 6, n. 3. 2008.

HAMILTON *ET AL.* **Um comentário sobre iniciativas recentes de segurança hídrica no contexto da gestão de riscos de serviços públicos de água.** ELSEVIER. Meio Ambiente Internacional. V. 38. Ed. 8. 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016041200600078X>>. Acesso em 21 abr.2022.

HAMOUDA MA, JIN X, XU H, CHEN F. **Quantitative microbial risk assessment and its applications in small water systems: A review.** Sci Total Environ. 2018.

HASAN H, PARKER A, POLLARD SJT. **Whither regulation, risk and water safety plans? Case studies from Malaysia and from England and Wales.** Sci Total Environ, 2021.

HE S, CHEN W, MU X, CUI W. **Constrained optimization model of the volume of initial rainwater storage tank based on ANN and PSO.** Environ Sci Pollut Res Int. 2020.

HELLER e PÁDUA. **Abastecimento de Água para o Consumo Humano.** 2 Ed. V.1-Belo Horizonte. Editora UFMG, 2010. Disponível em: <https://www.academia.edu/17047824/Abastecimento_de_agua_heller_volume_1> . Acesso em 02 mar 2022.

IBGE. **Censo Demográfico 2010.** Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>. Acesso em: 08 abr. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE- **Censo Demográfico 2022 : população e domicílios : primeiros resultados / IBGE, Coordenação Técnica do Censo Demográfico.** Rio de Janeiro. 2022.

IBGE/PEAS. **Dados populacionais de Minas gerais.2020.** disponível em: <https://social.mg.gov.br/images/assistencia_social/PLANO-ESTADUAL-DE-ASSISTNCIA-SOCIAL---Final.pdf>. Acesso em 08 abr.2022.

IBGE, **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico.** 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/busca.html?searchword=SANEAMENTO%20%20%20RN&searchphrase=all>>. Acesso em 07 abr. 2022.

JALILI F, TRIGUI H, GUERRA MALDONADO JF, DORNER S, ZAMYADI A, SHAPIRO BJ, TERRAT Y, FORTIN N, SAUVÉ S, PRÉVOST M. **Can Cyanobacterial Diversity in**

the Source Predict the Diversity in Sludge and the Risk of Toxin Release in a Drinking Water Treatment Plant? Toxins (Basel), 2021.

KRUPIŃSKA I. **Aluminium Drinking Water Treatment Residuals and Their Toxic Impact on Human Health.** Molecules, 2020.

LANE et al. **Co-development of a risk assessment tool for use in First Nations water supply systems: A key step to water safety plan implementation.** International Journal of Hygiene and Environmental Health. 2022.

LANE K, STODDART AK, GAGNON GA. **Water safety plans as a tool for drinking water regulatory frameworks in Arctic communities.** Environ Sci Pollut Res Int. 2018.

LAPOINTE M, BARBEAU B. **Characterization of ballasted flocs in water treatment using microscopy.** Water Res, 2016.

LECHEVALLIER, M.; AU, K.K. **Water Treatment and Pathogen Control: process efficiency in achieving safe drinking water.** Genebra: IWA Publishing, 2004.

LI XF, MITCH WA. **Drinking Water Disinfection Byproducts (DBPs) and Human Health Effects: Multidisciplinary Challenges and Opportunities.** Environ Sci Technol, 2018.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** Campinas: Átomo, 2010.

LEITE LS, DOS SANTOS PR, DANIEL LA. **Microalgae harvesting from wastewater by pH modulation and flotation: Assessing and optimizing operational parameters.** J Environ Manage, 2020.

LIU, H.-C.; LIU, L.; LIU, N. **Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review.** Expert Systems with Applications, 2013.

LUNDY L, REVITT M, ELLIS B. **An impact assessment for urban stormwater use.** Environ Sci Pollut Res Int. 2018.

MAIYO JK, DASIKA S, JAFVERT CT. **Slow Sand Filters for the 21st Century: A Review.** Int J Environ Res Public Health, 2023.

MARGUTI, A.L.; FERREIRA FILHO, S.S.; PIVELI, R.P.. **Full-scale effects of addition of sludge from water treatment stations into processes of sewage treatment by conventional activated sludge.** Journal of Environmental Management, 2018.

MATTHEW J. CURRELL, BRIAN G. KATZ. **Threats to Springs in a Changing World: Science and Policies for Protection.** First published: Book Series: Geophysical Monograph Series . American Geophysical Union. 2022.

MATOS, M. U. **Avaliação de risco em sistemas de captação e tratamento de água da chuva na Região Metropolitana de Belém. Dissertação (Mestrado)** — Universidade Federal do Pará, 2014.

MOSTAFA KS, BAHAREH G, ELAHE D, PEGAH D. **Optimization of conventional water treatment plant using dynamic programming.** Toxicol Ind Health, 2015.

NAN J, YAO M, CHEN T, LI S, WANG Z, FENG G. **Breakage and regrowth of flocs formed by sweep coagulation using additional coagulant of poly aluminium chloride and non-ionic polyacrylamide.** Environ Sci Pollut Res Int, 2016.

NOVA ERA. **Plano municipal de saneamento básico.**2014.

NGUYEN VA, TRAN THI HIEN H, NIJHAWAN A, HOWARD G, NGHIA TON T. **Evaluation of water safety plan implementation at provincial water utilities in Vietnam.** J Water Health. 2023.

OLIVATTO, G. P. ET AL. **Microplásticos: Contaminantes de Preocupação Global no Antropoceno.** Rev. Virtual Quim, v. 10, n. 6, 2018. Disponível em: <http://static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/MontagnerNoPrelo.pdf>
Acesso em 28/05/2022.

ONU. Água sobre Advocacia e Comunicação (ed.). O direito humano à água e o saneamento: Programa da Década da Água ONU. 2010. Disponível em: https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_briefpor.pdf. Acesso em: 05 abr. 2022.

OTI JO, KABO-BAH AT, OFOSU E. **Hydrologic response to climate change in the Densu River Basin in Ghana.** Heliyon. 2020.

PÁDUA, V. L. (Coordenador) **Remoção de microrganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano.** 1ª Ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

PALADY, P. FMEA **Análise dos modos de falha e efeitos.** 5.ed. São Paulo: Imam, 2011.

PIMENTA, JOÃO FRANCISCO DE PAULA. **Análise de dados de turbidez da água tratada por filtração rápida em estações de tratamento de água brasileiras supridas por manancial superficial.** 2020.192 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2020.

QASIM M, PARK S, KIM JO. **The role of ballast specific gravity and velocity gradient in ballasted flocculation.** J Hazard Mater, 2020.

QIN G, LIU J, XU S, SUN Y. **Pollution Source Apportionment and Water Quality Risk Evaluation of a Drinking Water Reservoir during Flood Seasons.** Int J Environ Res Public Health, 2021.

ROMERO V, NORRIS FJ, RÍOS JA, CORTÉS I, GONZÁLEZ A, GAETE L, TCHERNITCHIN AN. **Consecuencias de la fluoración del agua potable en la salud humana [The impact of tap water fluoridation on human health].** Rev Med Chil, 2017.

SAE INTERNATIONAL. **Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA) and Effects Analysis for Machinery.** (Machinery FMEA). Automotive Quality And Process Improvement Committee. 2002.

SANTOS, J. O. dos; SANTOS, R. M. de S.; GOMES, M. A. D.; MIRANDA, R. C. de; NÓBREGA, I. G. de M. **A qualidade da água para o consumo humano: Uma discussão necessária.** Revista Brasileira de Gestão Ambiental, [S. l.], v. 7, n. 2. 2013.

SANTOS, R. H. C.; BARBOSA, D. L.; RODRIGUES, A. C. L.. **Análise dos modos e efeitos de falhas no sistema de abastecimento de água do município de Bananeiras-PB: uma abordagem da captação à rede de distribuição.** Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.12, 2021.

SANTOS M, SANTOS R. **A importância da outorga na gestão e sustentabilidade dos recursos hídricos.** Revista tratamento de água. 2021.

SÉRIO F, MARTELLA L, IMBRIANI G, IDOLO A, BAGORDO F, DE DONNO A. **The Water Safety Plan Approach: Application to Small Drinking-Water Systems-Case Studies in Salento (South Italy).** Int J Environ Res Public Health. 2021.

SETTY KE, KAYSER GL, BOWLING M, ENAULT J, LORET JF, SERRA CP, ALONSO JM, MATEU AP, BARTRAM J. **Water quality, compliance, and health outcomes among utilities implementing Water Safety Plans in France and Spain.** Int J Hyg Environ Health. 2017.

SILVA, M. M.; GUSMÃO, A. P. H. de; POLETO, T.; SILVA, L. C. e; COSTA, A. P. C. S. **A multidimensional approach to information security risk management using fmea and fuzzy theory.** International Journal of Information Management, Elsevier, v. 34. 2014.

STANCARI, REGINA CÉLIA ARANTES; DIAS JUNIOR, FRANCISCO LOPES; FREDDI, FELIPE GUERRA. **Avaliação do processo de fluoretação da água de abastecimento público nos municípios pertencentes ao Grupo de Vigilância Sanitária XV-Bauru, no**

período de 2002 a 2011. Epidemiol. Serv. Saúde, Brasília , v. 23, n. 2, p. 239-248, jun. 2014.

SHARMA, R. K.; KUMAR, D.; KUMAR, P. **Systematic failure mode effect analysis (fmea) using fuzzy linguistic modelling**. International Journal of Quality & Reliability Management. 2005.

SLAVIK I, JEHLICH A, UHL W. **Impact of backwashing procedures on deep bed filtration productivity in drinking water treatment**. Water Res, Epub 2013.

SORLINI S, COLLIVIGNARELLI MC, CASTAGNOLA F, CROTTI BM, RABONI M. **Methodological approach for the optimization of drinking water treatment plants' operation: a case study**. Water Sci Technol, 2015.

SRINIVASAN, S. *et al.* **Factors affecting bulk to total bacteria ratio in drinking water distribution systems**. Water Research, 2008.

STAMATIS, D. H. **Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution**. ASQ Quality Press, 2003.

TAGHAVI M, MOHAMMADI MH, RADFARD M, FAKHRI Y, JAVAN S. **Assessment of scaling and corrosion potential of drinking water resources of Iranshahr**. MethodsX, 2019.

TUCCI, *et al.* **Águas Urbanas**. Scientific Electronic Library Online .SCIELO. Estudos avançados 2008. Disponível em:

< <https://www.scielo.br/j/ea/a/SfqYWrhrvkxybFsjYQtx7v/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 21 mai. 2022.

TUROLLA, F. A. T. **Política de saneamento: avanços recentes e opções futuras de políticas públicas**. Brasília: IPEA, 2002. 26 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/plansab/plansab_texto_editado_para_download.pdf>. Acesso em: 05 abr.2022.

VALADARES. **Avaliação dos riscos ambientais na bacia de captação de água do córrego da passagem, no município de Nova Era – MG**. Itabira. 2021.

VENTURA, K.S.; VAZ FILHO, P.; NASCIMENTO, S.G. **Water safety plan implemented on Guaraú water treatment plant in São Paulo, Brazil**. nit Ambient Eng Sanit Ambient ,2019.

VIEIRA, B. G. A. **Análise de risco aplicada à qualidade da água do sistema de abastecimento de Campina Grande (PB)**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

VIEIRA, J.M.P.; MORAIS, C. **Manual para a elaboração de planos de segurança da água para consumo humano**. Minho: Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Universidade do Minho: 2005. 175p. (Série Guias Técnicos, 7). Nd edition. Volume 1.

VIEIRA, J. M. P.; MORAIS, C. **Planos de Segurança da Água para Consumo Humano em Sistemas Públicos de Abastecimento**. Instituto Regulador de Águas e Resíduos / Universidade do Minho: SIG – Soc. Industrial Gráfica, Lda. 2005.

WHO. Organização Mundial da Saúde OMS. Água e Saúde: 8º fórum mundial da água. 2018. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/noticias/20-3-2018-opasoms-participa-debates-sobre-agua-e-saude-em-forum-mundial>>. Acesso em: 12 maio 2022.

WHO. World Health Organization. A 10 year Story – The Water For Life Decade 2005-2015 and Beyond. WHO.2005. Disponível em: <https://www.un.org/waterforlifedecade/>. Acesso em: 08 mar. 2022.

WHO. World Health Organization. Guidelines for Drinking-Water Quality. Geneva: WHO. Fourth edition. 2011.

WHO. Planeamento da segurança do saneamento. OMS 2016. Disponível em: <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/171753/9789248549243-por.pdf?sequence=5>. Acesso em 10 abr.2022.

WHO/UNICEF. Progress on Sanitation and Drinking-water: 2010 Update. Genebra: WHO, 2010. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44272> Acesso em: 08 mar.2022.

WHO. World Health Organization **.Hazard Analysis Critical Control Point System: Concept and Application, Report of a WHO Consultation with the participation of FAO**. Geneva. 1995.118

WHO/IWA - WORLD HEALTH ORGANIZATION / INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION. **Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers**. Genebra. 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum**. Genebra: WHO. 2017.

WORLD WATER COUNCIL **A Pact for a water security world – 2013- 2015 Strategy**. Disponível em: <https://www.worldwatercouncil.org>>. Acesso em 16 jun de 2022.

ZAMBRANO, T. F.; MARTINS, M. F. **Utilização do método FMEA para avaliação do risco ambiental**. *Gest. Prod.*, v. 14. 2007.

ZHANG C, LI Y, WANG C, ZHENG X. **Different inactivation behaviors and mechanisms of representative pathogens (Escherichia coli bacteria, human adenoviruses and Bacillus subtilis spores) in g-C₃N₄-based metal-free visible-light-enabled photocatalytic disinfection.** Sci Total Environ, 2021.

APÊNDICES

CHECKLIST PARA VERIFICAÇÃO DO SAA

I- QUALIDADE GERENCIAL E OPERACIONAL	S	N	NA	OBS
A) Recursos Hídricos – Manancial Córrego da Passagem				
<u>Responsabilidades e ações</u>				
1- Foi feito diagnóstico sobre características físicas (clima, geomorfologia, hidrogeologia...) da região da bacia de captação?				
2- Verificou-se diagnóstico do uso e ocupação do solo na região da bacia de captação?				
3- Existe um programa de conservação e/ou recuperação do(s) manancial(is) onde se realiza a captação?				
4- A área do manancial, em que se realiza a captação, é protegida do uso e do acesso por pessoas e animais?				
5- A área do manancial está localizada em local próprio a acidentes ou incidentes tais como: Rodovias, inundações, etc.				
6- As nascentes que abastecem o manancial de captação foram cadastradas (localização)?				
7- Realizou-se diagnóstico sócio-ambiental (ex: condições da vegetação, atividades sócio-econômicas...) da área no entorno das nascentes?				
8- A qualidade das águas destas nascentes tem seus parâmetros (físicos, químicos e microbiológicos) monitorados periodicamente?				
9- É realizado lançamento de esgoto doméstico sem tratamento antes do ponto de captação?				
10- A ETA fiscaliza o lançamento de resíduos sólidos no manancial de captação?				
11- A ETA monitora características hidrológicas (ex: vazão, velocidade de escoamento, pluviosidade...) da região da bacia hidrográfica do seu manancial de captação?				
12- Os dados hidrológicos são utilizados em estudos para a previsão de problemas operacionais no tratamento de água (ex: correlações entre índices de pluviosidade e aumento da turbidez da água bruta, diminuição da vazão em determinados meses do ano e florescimento de algas, eventuais secas...)?				

II- QUALIDADE GERENCIAL E OPERACIONAL	S	N	NA	OBS
13- Existe o registro de outorga para captação de água para consumo humano?				
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA - ETA				
14 A ETA possui projeto executivo?				
15- A ETA trabalha com a Vazão de projeto?				
16- Existe rotina de monitoramento dos equipamentos críticos (conjunto moto bombas das elevatórias, dosadoras, medidores de vazão, etc)?				
17- Existem planos de inspeção/manutenção de equipamentos críticos?				
18- Já ocorreu incidentes ou acidentes na ETA? EX(derreamo de produtos químicos em grandes quantidades, vazamento de óleo na sala de bombas)?				
19- Há registros ou relatórios de interrupções no abastecimento por limitações da ETA ou por falha de bombas?				
20- Falhas de energia elétrica são recorrentes? Qual é a frequência de ocorrência dessas falhas?				
21- Existe algum tipo de monitoramento (câmeras de segurança, vigias, etc)?				
22- É realizado programas de conscientização ambiental (ex: campanhas para diminuição do consumo de água e detecção de vazamentos nas moradias, não disposição de lixo em corpos d'água...) junto a comunidade?				
ÁGUA BRUTA				
23- Existe variação significativa da vazão aduzida? Há limitações sazonais na adução da água bruta?				
24- A ETA realiza o controle de qualidade da água bruta captada?				
25- Estes dados são avaliados periodicamente a fim de se estabelecer planejamento adequado para o uso de produtos químicos no tratamento (ex: escolha dos produtos químicos mais adequados para o tratamento, projeções de demandas mensais, programação das entregas de cargas de produtos químicos...)?				
26- São coletadas amostras da água bruta, junto do ponto de captação, para análise de acordo com os parâmetros exigidos na legislação vigente?				

II- QUALIDADE GERENCIAL E OPERACIONAL	S	N	NA	OBS
27- Realiza-se monitoramento de cianobactérias? Com qual frequência?				
MISTURA RÁPIDA				
28- São realizados testes de jarro (JAR TEST) para determinação da dosagem?				
29- Existe instrução de trabalho orientando a execução deste tipo de ensaio?				
30- Os critérios especificados, nesta instrução de trabalho, são bem definidos (ex: forma de coleta da água bruta, volumes de água utilizados por jarro, tempos de mistura, gradiente de velocidade, determinação de Ph ótimo, avaliação da turbidez remanescente...)?				
31- Existe a determinação de critérios que orientam as situações (ex: variação brusca de turbidez da água bruta, substituição de coagulantes) ou frequência em que o teste de jarros deve ser executado?				
32- Os resultados dos testes são registrados?				
33- Os operadores responsáveis pela execução dos testes de jarro receberam devido treinamento para este fim?				
34- Existe procedimento documentado para o estabelecimento da dosagem de coagulante na água bruta?				
35- Os critérios especificados permitem um controle satisfatório da dosagem (ex: utilização de fórmula matemática na determinação da dosagem, frequência de regulação do dosador...)?				
36- Na determinação da dosagem de coagulante aplicado na água, são considerados parâmetros de temperatura, vazão, cor, turbidez, alcalinidade e pH?				
37- O ponto de aplicação do coagulante é adequado?				
38- Foram realizados estudos para verificação dos valores reais dos gradientes de velocidade e do tempo de mistura?				
39- Os valores se encontram próximos aos valores ótimos determinados nos ensaios de coagulação?				
40- São utilizados auxiliares de coagulação?				

II- QUALIDADE GERENCIAL E OPERACIONAL	S	N	NA	OBS
41- No caso da utilização dos auxiliares de coagulação, foi realizado antes uma investigação levando-se em conta a qualidade da água bruta na escolha do polímero?				
FLOCULAÇÃO				
42- Foram realizados estudos para verificação dos valores reais dos gradientes de velocidade e do tempo de mistura?				
43- Esses valores se encontram próximos aos valores ótimos determinados nos ensaios de floculação?				
44- Ao verificar as câmaras de floculação as mesmas apresentam bom aspecto visual (flocos bem formados e com bom tamanho)?				
DECANTAÇÃO				
45- Foram realizados estudos para determinar os reais valores de taxa de escoamento superficial e tempo de detenção no decantador em operação?				
46- São avaliados parâmetros de turbidez e cor deste efluente?				
47- Existe um critério pré-estabelecido para determinar quando se deve realizar a lavagem do decantador (ex: tempo de funcionamento, turbidez da água decantada...)?				
FILTRAÇÃO				
48- É realizado controle de nível e vazão em cada filtro?				
49- Existe sistemática para avaliar a eficiência da filtração (ex: análises de água filtrada)?				
50- As carreiras de filtração são medidas?				
51- Nos casos de ocorrência de carreiras de filtração curtas ou com valores muito menores do que o habitual, realiza-se investigação de suas causas (ex: proliferação de algas, má coagulação...)?				
52- Foi realizada ou existe previsão de troca do meio filtrante?				
53- Existe procedimento determinando condições específicas para a realização desta troca (ex: contaminação por algas, período de tempo...)?				

II- QUALIDADE GERENCIAL E OPERACIONAL	S	N	NA	OBS
54- São determinadas as condições sob as quais devem ser executadas a lavagem dos filtros (ex: turbidez da água filtrada acima do permitido, período de tempo, vazão mínima...)?				
55- Observa-se perda de material filtrante durante a lavagem?				
CORREÇÃO DO PH				
56- São utilizados critérios específicos na determinação da dosagem (ex: consideração de variáveis como vazão, temperatura, alcalinidade...)?				
57- É estabelecido o pH desejado na saída do tratamento?				
58- Os operadores estão conscientizados da importância de seu desempenho pessoal e das consequências derivadas de erros na operação (ex: incrustações nas tubulações de distribuição, diminuição da eficiência de desinfecção do cloro residual devido a pH inadequado da água tratada...)?				
MANUTENÇÃO				
59- É feita verificação periódica da precisão dos registros e dosadores?				
ANÁLISES LABORATORIAL				
60- Existe responsável técnico pela execução das análises em laboratório?				
61- Os aparelhos de análises são periodicamente calibrados?				
62- Os operadores receberam devido treinamento para execução desta análise?				
63- Instruções para a correta operação do aparelho e execução da análise estão presentes no local?				
64- Os resultados das análises são mantidos?				
FLUORETAÇÃO				
65- É feita, periodicamente, a determinação do teor natural de íons fluoreto presentes na água bruta?				
66- A dosagem é determinada por meio de critérios específicos (ex: fórmula associando variáveis como temperatura, vazão, teor de íons fluoreto natural...)?				

II- QUALIDADE GERENCIAL E OPERACIONAL	S	N	NA	OBS
67- É empregado algum método analítico (eletrométrico, fotométrico, visual de alizarina) para verificar a concentração de íons fluoreto na água tratada?				
68- Os operadores receberam treinamento adequado para realização das análises para determinação de ion fluoreto?				
DESINFECÇÃO				
69- Foram realizados estudos para determinar a eficiência de inativação microbiológica pelo agente desinfectante utilizado?				
70- Existem critérios específicos para a determinação da dosagem ótima de cloro na água (ex: cálculo baseado em características de turbidez, concentração de coliformes, tempo de contato...)?				
71- É feito o estabelecimento dos valores mínimo e máximo permitidos de cloro residual livre na saída do tratamento?				
72- A aplicação do cloro, na entrada da câmara de contato, é feita de maneira difusa?				
73- O tempo de contato obedece aos valores de legislação (Portaria MS n° 888)?				
74- Os operadores estão conscientizados da importância de seu desempenho pessoal e das consequências derivadas de erros na operação (ex: formação de trihalometanos e risco de câncer, baixa concentração de cloro e presença de organismos patogênicos na água distribuída)?				
75- É feito o controle da desinfecção através de análises bacteriológicas?				
76- A contagem de bactérias atende aos valores estabelecidos pela legislação (Portaria MS n°888) recomenda a ausência de coliformes totais na saída do tratamento)?				
77- É realizado monitoramento de cloro residual na saída do tratamento?				
78- A frequência de amostragem atende ao período mínimo permitido pela legislação (Portaria MS n°.888)?				
79- O teor detectado atende ao valor mínimo permitidos pela legislação (Portaria MS n°. 888)?				

II- QUALIDADE GERENCIAL E OPERACIONAL	S	N		NA	OBS
80- A formação de trialometanos é monitorada?					
81- A frequência de amostragem atende ao período mínimo permitido pela legislação?					
82- O teor detectado atende ao valor máximo permitido pela legislação?					
83- Os resultados das análises bacteriológicas, cloro residual e trialometanos são mantidos?					
SAÍDA DE ÁGUA TRATADA					
84- É realizado controle de qualidade da água tratada na ETA?					
85- São avaliados todos os parâmetros exigidos pela atual portaria (Portaria MS nº. 888) que estabelece os padrões de potabilidade?					
86- O número de amostras e as frequências de amostragem atendem ao mínimo exigido pela atual portaria que estabelece os padrões de potabilidade?					
87- Existe plano de ação, elaborado previamente, para corrigir as não conformidades?					
PRODUTOS QUÍMICOS UTILIZADOS NO TRATAMENTO					
88- Na compra de produtos químicos são feitas exigências ambientais (ex: LARS Laudo de atendimento aos requisitos de saúde e FISPQ Ficha de informação de segurança de produto químico) em relação aos fornecedores?					
89- É realizado controle de qualidade dos produtos químicos recebidos?					
90- Na substituição de determinado produto químico por outro (ex: hipoclorito de sódio por hipoclorito de cálcio) ou na troca de fornecedores, são realizados estudos (ex: testes de eficiência, determinação de dosagem, grau de impureza do produto, caracterização de impurezas...) antes de sua aplicação no tratamento?					
91- É registrada a quantidade de produto químico utilizada nas preparações?					

II- QUALIDADE GERENCIAL E OPERACIONAL	S	N	NA	OBS
92- Há bombas reservas na -EAP – elevatórias de água potável				
93- É monitoradoa pressão da rede?				
94- Já ocorreu a interrupção de água por mais de um dia por motivos de rupturas e vazamentos na rede?				
95- Quando há ocorrência de vazamentos na rede, estima-se a quantidade de m ³ perdidos de água potável?				
96- Acontece com frequência erros de manobras da rede?				
97- Há monitoramento da qualidade da água nas redes de distribuição?				
98- O cloro residual é analisado?				
99- Existe programas de concientização da população quanto a higienização das caixas d' água das residências para não ocorrência de recontaminação da água?				
100- Em períodos de estiagem é necessário realizar o rodizio de água?				
101- Os registros de manobras são mantidos em segurança para não haver ocorrência de vandalismos?				