



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E  
GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE RECURSOS  
NATURAIS**

**RUBENS HAYRAN CABRAL DOS SANTOS**

**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.**

**Campina Grande – PB**

**2021**

**Rubens Hayran Cabral dos Santos**

**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.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais (PPGEGRN) da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

Área de Concentração: Engenharia de Recursos Naturais

Orientadoras: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Dayse Luna Barbosa

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Andréa Carla Lima Rodrigues

**Campina Grande – PB**

**2021**

S237a Santos, Rubens Hayran Cabral dos.  
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 / Rubens Hayran Cabral dos Santos. – Campina Grande, 2021.  
124 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2021.  
"Orientação: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Dayse Luna Barbosa; Coorientação: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Andrea Carla Lima Rodrigues".  
Referências.

1. Metodologia de Análise de Risco. 2. FMEA. 3. Sistema de Abastecimento de Água. I. Barbosa, Dayse Luna. II. Rodrigues, Andrea Carla Lima. III. Título.

CDU 628.1(043)

Rubens Hayran Cabral dos Santos

## 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.

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais (PPGEGRN) da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão dos Recursos Naturais.

### BANCA EXAMINADORA

Dr.(a.) **Dayse Luna Barbosa/UFPG** (Orientadora PPGEGRN).

Dr.(a.) **Andréa Carla Lima Rodrigues/UFPG** (Coorientadora).

Dr.(a.) **Patrícia Hermínio Cunha Feitosa/UFPG**(Examinador Interno).

Dr.(a.) **Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro/UEPB** (Examinador Externo).



Documento assinado eletronicamente por **DAYSE LUNA BARBOSA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 31/08/2021, às 22:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANDREA CARLA LIMA RODRIGUES, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/09/2021, às 19:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro, Usuário Externo**, em 01/09/2021, às 20:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **PATRICIA HERMINIO CUNHA FEITOSA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/09/2021, às 09:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufpg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **1741067** e o código CRC **8DESC26C**.

“Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo. Todos nós sabemos alguma coisa. Todos nós ignoramos alguma coisa. Por isso aprendemos sempre.”

**Paulo Freire**

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, externar minha imensa gratidão ao meu Deus, na pessoa do Seu filho amado Jesus Cristo. Por me capacitar e poder vencer mais uma etapa desta vida. Sua misericórdia, amor, bondade e fidelidade para comigo são imensuráveis.

Aos meus pais, José Ronaldo dos Santos e Eliane Alice Cabral dos Santos, por todo amor, apoio, ajuda, incentivo, carinho, por sempre acreditarem e incentivarem a chegar até aqui.

A todos os meus familiares que, direta ou indiretamente, contribuíram para o meu sucesso acadêmico.

A minha namorada, Thayane Kelly Trajano da Silva. Sua paciência, apoio, ajuda, compreensão foram primordiais para esta conquista. A você e toda sua família os meus agradecimentos.

À professora Dr<sup>a</sup> Dayse Luna Barbosa, a qual vem me acompanhando na vida acadêmica, iniciando-se na disciplina de hidrologia aplicada, na graduação, prosseguindo como orientadora do TCC, Estágio Curricular Obrigatório, docente na pós-graduação e, agora, orientadora no mestrado. Minha humilde gratidão, professora, por todo empenho, dedicação, carinho, paciência e confiabilidade. Gratidão pelo estímulo e despertamento para área da pesquisa, docência e pós-graduação.

À coorientadora desta pesquisa, professora Dr<sup>a</sup> Andrea Carla Lima Rodrigues. Gratidão por todo ensinamento, conhecimento, paciência, confiança ofertado a mim. Tanto na graduação como agora no mestrado, passar por vossas mãos é sempre um privilégio e enorme alegria. Agradeço por ter sido a minha incentivadora moral para ingressar no PPGEGRN.

Na pessoa do meu tio, Eng. Civil José Rivaldo dos Santos, agradeço a todos os onze profissionais que se dispuseram a responder o questionário para elaboração da minha pesquisa. Vocês foram fundamentais nesse meu processo de conquista acadêmica.

Ao meu referencial cristão, ético e moral, pastor Inaldo Henrique da Silva. Ao senhor externo meus agradecimentos por todos os ensinamentos bíblicos a mim ofertados. Por me conduzir no caminho da verdade, retidão e

temor a Deus. Os meus princípios e caráter cristocêntrico advém de vossos ensinamentos, os quais também me fortalecem a estar e chegar até aqui.

A todos os professores os quais deixaram um pouco do vosso ensinamento em minha vida, desde os docentes do primário até os da vida acadêmica, em especial, agora, os da pós-graduação. Vocês fazem parte dessa vitória.

A toda equipe do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Recursos Naturais. Gratidão!!

## DEDICATÓRIA

Ao Deus da minha fé, na pessoa do  
Seu filho amado, Jesus Cristo, e aos  
meus pais José Ronaldo dos Santos  
e Eliane Alice Cabral dos Santos.



SANTOS, Rubens Hayran Cabral dos. **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.** 124pgs. Dissertação de Mestrado (Engenharia e Gestão de Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) – Paraíba, 2021.

## RESUMO

O risco é algo que permeia a humanidade desde o seu primórdio. Através da sua percepção é possível conjecturar cenários futuros indesejáveis e, desta feita, possibilitar a sua eliminação ou mitigação já que a sua materialização tem a probabilidade de trazer malefícios a organização, ao ser humano e até mesmo ao meio ambiente. Sendo assim, a aplicação de metodologias de análise de risco permite auxiliar as empresas a prevenir ou diminuir o impacto causado por eventuais mecanismos que prejudicam a qualidade do serviço prestado e a operabilidade do sistema. Composto o rol de serviços, inclui-se os sistemas de abastecimento de água (SAA), que apresenta complexidade em sua operação e, como qualquer outra atividade, está sujeita a ocorrência de falhas. O objetivo dessa pesquisa foi elencar os potenciais modos de falhas inseridos em cada etapa do SAA do município de Bananeiras-PB. Para tal, utilizou-se a metodologia Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), considerando as etapas de Captação, Adução, Tratamento, Elevação de Água Tratada, Reservação e Distribuição do sistema. Foram entrevistados onze profissionais ligados à área de recursos hídricos e saneamento, desde técnicos operacionais que atuam no SAA de Bananeiras, engenheiros civis a professores universitários que, por meio dos seus conhecimentos técnico-operacionais, pudessem quantificar as causas das falhas e seus respectivos graus de Severidade, Ocorrência e Detecção e, por meio dos produtos dos três índices, encontrar o grau de risco (NPR) para cada etapa do sistema. Com os resultados obtidos foi possível ranquear quais os eventos possuem maior probabilidade de acontecer, bem como a sua magnitude e chance de interromper o serviço prestado aos usuários. Através da ponderação, a etapa de distribuição foi a que apresentou maior NPR. Necessita-se a inserção de medidas de prevenção e de mitigação a fim de atenuar as possíveis falhas inerentes ao sistema, haja vista que, algumas já se concretizam.

**Palavras-chave:** Metodologia de Análise de Risco, FMEA, Sistema de Abastecimento de Água.

SANTOS, Rubens Hayran Cabral dos. **Analysis of the Modes and Effects of Failures in the Water Supply System in the Municipality of Bananeiras-PB: An Approach to Capture the Distribution Network.** 124pgs. Master's Dissertation (Engineering and Natural Resources Management). Federal University of Campina Grande – Paraíba, 2021.

## **ABSTRACT**

Risk is something that has permeated humanity since its inception. Through their perception, it is possible to conjecture undesirable future scenarios and, this time, enable their elimination or mitigation since their materialization is likely to bring harm to the organization, to human beings and even to the environment. Therefore, the application of risk analysis methodologies helps companies to prevent or reduce the impact caused by any mechanisms that affect the quality of the service provided and the operability of the system. Composing the list of services, water supply systems (SAA) are included, which are complex in their operation and, like any other activity, are subject to failures. The objective of this research was to list the potential failure modes inserted in each stage of the SAA in the municipality of Bananeiras-PB. For this purpose, the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) methodology was used, considering the steps of Capture, Adduction, Treatment, Elevation of Treated Water, Reservation and Distribution of the system. Eleven professionals linked to the area of water resources and sanitation were interviewed, from operational technicians who work in the SAA of Bananeiras, civil engineers to university professors who, through their technical-operational knowledge, could quantify the causes of failures and their respective degrees of Severity, Occurrence and Detection and, through the products of the three indexes, find the degree of risk (NPR) for each step of the system. With the results obtained, it was possible to rank which events are more likely to happen, as well as their magnitude and chance of interrupting the service provided to users. Through weighting, the distribution stage was the one with the highest NPR. It is necessary to insert prevention and mitigation measures in order to mitigate the possible flaws inherent to the system, given that some are already taking place.

**Keywords:** Risk Analysis Methodology, FMEA, Water Supply System.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	- Unidades constituintes do sistema de abastecimento de água.	31
<b>Figura 2</b>	- Estrutura do processo de adução em sistemas de abastecimento de água	34
<b>Figura 3</b>	- Princípios do tratamento de água em SAA's	34
<b>Figura 4</b>	- Fatores determinantes para o tipo de tratamento de água em SAA's	37
<b>Figura 5</b>	- Impacto anual médio dos serviços inadequados de água potável e saneamento, desastres relacionados à água, epidemias, terremotos e conflitos.	41
<b>Figura 6</b>	- Evolução do índice de perdas na distribuição – Brasil (%)	43
<b>Figura 7</b>	- Índice de perdas na distribuição em 2018, segundo macrorregião geográfica e média do Brasil.	44
<b>Figura 8</b>	- Modelo de planilha FMEA	53
<b>Figura 9</b>	- Etapas da FMEA	53
<b>Figura 10</b>	- Fluxograma metodológico da pesquisa	58
<b>Figura 11</b>	- Localização geográfica do município de Bananeiras	62
<b>Figura 12</b>	- Número Prioridade de Risco (NPR) da etapa de captação	68
<b>Figura 13</b>	- Número Prioridade de Risco (NPR) da etapa de adução	70
<b>Figura 14</b>	- Número Prioridade de Risco (NPR) da etapa de tratamento	74
<b>Figura 15</b>	- Número Prioridade de Risco (NPR) da etapa de elevação da água tratada	76
<b>Figura 16</b>	- Número Prioridade de Risco (NPR) da etapa de reservação	77
<b>Figura 17</b>	- Número Prioridade de Risco (NPR) da etapa de distribuição	81
<b>Figura 18</b>	- Número Prioridade de Risco (NPR) final de cada etapa do SAA de Bananeiras-PB	84

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b>	Etapas e Atividades do Plano Municipal de Saneamento Básico	22
<b>Quadro 2</b>	Benefícios do SAA	29
<b>Quadro 3</b>	Critérios a serem observados para captação de água superficial em SAAs.	32
<b>Quadro 4</b>	Principais mecanismos de captação de água	33
<b>Quadro 5</b>	Doenças de veiculação hídrica	40
<b>Quadro 6</b>	Diferenciação entre análise qualitativa e quantitativa	45
<b>Quadro 7</b>	Metodologias de Análise de Riscos, vantagens e desvantagens.	50
<b>Quadro 8</b>	Proposta de melhorias para a etapa de captação SAA de Bananeiras-PB	85
<b>Quadro 9</b>	Propostas de melhorias para a etapa de adução SAA de Bananeiras-PB	87
<b>Quadro 10</b>	Propostas de melhorias para a etapa de tratamento	89
<b>Quadro 11</b>	Propostas de melhorias para a etapa de elevação da água tratada	90
<b>Quadro 12</b>	Propostas de melhorias para a etapa de reservação da água tratada	91
<b>Quadro 13</b>	Propostas de melhorias para a etapa de distribuição da água tratada	93

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Níveis de atendimento com água dos municípios segundo macrorregião e Brasil	42
<b>Tabela 2</b>	Matriz de pontuação para a classificação dos riscos.	47
<b>Tabela 3</b>	Escala de riscos.	47
<b>Tabela 4</b>	Categorias de probabilidade.	47
<b>Tabela 5</b>	Categorias de severidade.	48
<b>Tabela 6</b>	Escala de severidade	55
<b>Tabela 7</b>	Escala de ocorrência e detecção	56
<b>Tabela 8</b>	Composição da equipe para o preenchimento da planilha FMEA	65
<b>Tabela 9</b>	FMEA da etapa de captação do SAA de Bananeiras-PB	66
<b>Tabela 10</b>	FMEA da etapa de adução do SAA de Bananeiras-PB	69
<b>Tabela 11</b>	FMEA da etapa de tratamento do SAA de Bananeiras-PB	71
<b>Tabela 12</b>	FMEA da etapa de elevação da água tratada do SAA de Bananeiras-PB	75
<b>Tabela 13</b>	FMEA da etapa de reservação do SAA de Bananeiras-PB	77
<b>Tabela 14</b>	FMEA da etapa de distribuição do SAA de Bananeiras-PB	79

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABNT</b>	- Associação Brasileira de Norma Técnica
<b>AESA</b>	- Agência Estadual de Gestão das Água do Estado da Paraíba
<b>ANA</b>	- Agência Nacional de Águas e do Saneamento Básico
<b>APR</b>	- Análise Preliminar de Risco
<b>CAGEPA</b>	- Companhia de Abastecimento de Água e Esgoto da Paraíba
<b>CESBS</b>	- Companhia Estadual de Saneamento
<b>CRL</b>	- Cloro Residual Livre
<b>D</b>	- Detecção
<b>DN</b>	- Diâmetro Nominal
<b>EE</b>	- Estação Elevatória
<b>EEAB</b>	- Estação Elevatória de Água Bruta
<b>EEAT</b>	- Estação Elevatória de Água Tratada
<b>ETA</b>	- Estação de Tratamento de Água
<b>EUA</b>	- Estados Unidos da América
<b>FMEA</b>	- Failure Mode and Effects Analysis
<b>FTA</b>	- Fault Tree Analysis
<b>GRH</b>	- Gestão de Recursos Hídricos
<b>HAZOP</b>	- Hazard and Operability Study
<b>MS</b>	- Ministério da Saúde
<b>NBR</b>	- Norma Brasileira
<b>NPR</b>	- Número Prioridade de Risco
<b>O</b>	- Ocorrência
<b>OMS</b>	- Organização Mundial da Saúde
<b>PA</b>	- Pará
<b>PB</b>	- Paraíba
<b>PEAD</b>	- Polietileno de Alta Densidade
<b>PERH</b>	- Plano Estadual de Recursos Hídricos
<b>PCF</b>	- Potencial Causa de Falha
<b>PMSB</b>	- Plano Municipal de Saneamento Básico
<b>PNRH</b>	- Plano Nacional de Recursos Hídricos
<b>RPN</b>	- Risk Priority Number
<b>S</b>	- Severidade
<b>SAA</b>	- Sistema de Abastecimento de Água

- SAP** - Serviços Básicos de Água Potável
- SINGREH** - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
- SNIS** - Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento
- TCC** - Trabalho de Conclusão de Curso

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>21</b>
2.1	A Lei Federal 11.445/07 .....	21
2.2	Gestão, Política Nacional de Recursos Hídricos .....	23
2.3	A Lei 14.026/2020 .....	27
2.4	Sistema de Abastecimento de Água .....	29
2.5	Análise de Risco .....	44
2.6	FMEA - <i>Failure Mode and Effects Analysis</i> (Análise dos Modos de Falhas e Efeitos) .....	51
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>58</b>
3.1	Caracterização e limitação da área de estudo .....	59
3.2	Identificação dos Modos de Falha .....	60
3.3	Identificação das Causas de Falha .....	60
3.4	Formação da Equipe Multiprofissional .....	60
3.5	Quantificação das Escalas de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D) .....	60
3.5.1	Escalas de Importância .....	61
3.6	Obtenção do Grau de Risco .....	61
3.7	Proposta de melhorias .....	61
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>62</b>
4.1	Caracterização da área de estudo .....	62
4.2	Formação da Equipe de Profissionais e Construção da Planilha FMEA .....	63
4.3	Determinação dos Índices e Grau de Risco (NPR) .....	65
4.3.1	Captação .....	65
4.3.2	Adução .....	68
4.3.3	Tratamento – ETA .....	70
4.3.4	Elevação da Água Tratada .....	75
4.3.5	Reservação .....	76
4.3.6	Distribuição .....	78
4.4	Ponderação do Grau de Risco .....	83



4.5	Propostas de melhorias .....	84
4.5.1	Propostas de melhorias para a etapa de captação .....	84
4.5.2	Propostas de melhorias para a etapa de adução .....	87
4.5.3	Propostas de melhorias para a etapa de tratamento .....	89
4.5.4	Propostas de melhorias para a etapa de elevação da água tratada. .... .....	90
4.5.5	Propostas de melhorias para a etapa de reservação .....	90
4.5.6	Propostas de melhorias para a etapa de distribuição .....	91
	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>95</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>97</b>
	<b>APÊNDICE</b> .....	<b>105</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde a existência da humanidade, até os dias atuais, o risco é algo intrínseco ao ser humano. Ele utiliza-se da avaliação e do gerenciamento para conviver com os perigos - reais ou aparentes - e lhes auxiliar na sua percepção, a qual definirá mecanismos e ações para evitar possíveis danos ao meio ambiente, à organização e ao próprio homem. Essa percepção ajudará o ser humano em todas as suas atividades diárias, influenciando seus comportamentos e atitudes (AQUINO, et. al., 2017).

Como ferramenta de auxílio, o gerenciamento de riscos permite identificar impactos nos objetos da organização por meio da combinação da possibilidade de uma ameaça ou oportunidade. Nele está incluso o processo de conduzir o plano de gestão de risco, a identificação, a análise, o nível de resposta e seu controle para aumentar a probabilidade do impacto positivo e diminuir o negativo (FERREIRA et. al, 2017).

O estudo envolvendo os perigos atrelados a um determinado ambiente incide na utilização da disponibilidade de um rol de informações para estimar os riscos apresentados devido ao surgimento de incertezas. Eles podem ser classificados em potenciais, os quais apenas quantificam as consequências de um evento inesperado; e de efeitos, que são o produto do risco potencial pela probabilidade de efetivação do evento. Esse estudo possibilita a identificação dos eventos indesejáveis que conduzem à sua materialização, na análise dos mecanismos pelos quais esses eventos podem ocorrer, bem como na estimativa da extensão, da amplitude e da probabilidade da concretização dos efeitos que eles podem proporcionar (FONSECA, 2018). Viana (2015) afirma que quantificar o risco é uma das etapas mais complexas do processo de gerenciamento de riscos, já que pode envolver uma grande quantidade de variáveis de acordo com o grau de precisão desejado, além de incertezas.

Toda empresa está sujeita a sofrer impactos tanto no processo quanto na qualidade do seu produto por isso, é importante o uso de ferramentas de gerenciamento de riscos em ambientes laborais, já que sua gestão pode ser aplicada a qualquer momento, independentemente da área e do nível, cada qual com suas especificidades, bem como funções, atividades e projetos característicos (SALIBA, 2018; ISO 31000, 2009).

Uma das metodologias de avaliação de risco que contribui para a eliminação ou mitigação de possíveis problemas é a Análise de Modo e Efeitos de Falha (FMEA), *Failure Modes and Effects Analysis*. Foi desenvolvida em meados da década de 1960 nos Estados Unidos da América (EUA) pelo programa de exploração espacial. Subriadi e Najwa (2019) enfatizam que o método fornece estrutura e linguagens comuns que podem ser utilizadas nos mais diversos tipos de organizações, permitindo identificar as potenciais deficiências em variados segmentos da economia como manufatura, indústria automotiva, metalúrgica, de alimentos, engenharia civil, recursos hídricos, transporte de passageiros, saúde e também no setor de comércio (MARIAJAYAPRAKASH, 2013; BEVILACQUA, 2011; SANTOS, 2018, CHUANG, 2010; JEEGADESHAN, 2007; KHORSHIDI, 2013; OZILGEN, 2012).

Compondo o arcabouço de empresas e organizações, o serviço de abastecimento de água (SAA) está inserido nesse rol, sendo a vertente de maior importância dentro do saneamento básico. Como qualquer outro tipo de sistema, está propício ao surgimento de falhas, podendo prejudicar o seu desempenho baseando-se em fatores como: índices operacionais, parâmetros exigidos de qualidade da água, problemas ambientais, eventos climáticos e questões relacionadas à regularidade dos serviços (SANTOS, 2018).

Para melhorar a confiabilidade do serviço prestado à população, é importante adotar medidas para a prevenção de potenciais interrupções no processo, independentemente de sua natureza ou causa.

Segundo o Instituto Trata Brasil, por meio do Ranking do Saneamento Básico 2021, observou-se que apenas 26 municípios das 100 maiores cidades brasileiras possuem 100% da população atendida com água potável (SNIS, 2019). O Estado da Paraíba tem uma área de 56.467,242 km<sup>2</sup>, população estimada de 4.018.127 habitantes (IBGE, 2019) nos quais estão distribuídos em 223 municípios e dentre eles, 212 apresentam uma população inferior a cinquenta mil habitantes. A maioria dos municípios da Paraíba não apresentam informações sobre a elaboração, construção ou até mesmo se já possuem um plano municipal de saneamento básico (BRASIL, 2017).

Boa parte dos problemas que afetam o meio ambiente, a qualidade de vida das pessoas e o desenvolvimento (social, econômica, financeiro), surgem nos municípios, sobretudo àqueles de pequeno porte e está intrinsecamente

ligada ao saneamento básico. No conjunto desses municípios pequenos, encontram-se aqueles que, apesar das dificuldades impostas por condições naturais, encontram alternativas para assegurar água à população local, dentre eles o município de Bananeiras, situado no brejo paraibano, em que, no seu sistema de abastecimento de água já apresenta intermitências.

Assim, essa pesquisa tem por objetivo analisar o SAA do município de Bananeiras-PB através da metodologia FMEA, com intuito de elencar possíveis modos de falhas causas e consequências que podem vir a ocorrer no sistema e que comprometa em quantidade e qualidade adequadas o serviço prestado aos usuários. Nesse levantamento analisou-se todas as etapas que constituem o serviço de abastecimento de água da cidade para poder diagnosticar quais são os principais riscos inerentes a cada uma delas. Além de propor soluções com efeito de eliminar, minimizar ou mitigar os problemas existentes no SAA e garantir à população um serviço de qualidade.

### **Objetivo Geral**

Utilizar a metodologia “Failure Mode and Effect Analysis” (FMEA) para diagnosticar quais os principais riscos presentes nas etapas do SAA do município de Bananeiras-PB, os quais possam comprometer a qualidade do produto e a operabilidade do sistema aos usuários da rede de abastecimento de água daquela região.

### **Objetivos Específicos**

- Identificar possíveis modos de falhas, causas e consequências presentes em cada etapa do SAA de Bananeiras-PB por meio da metodologia FMEA.
- Propor soluções alternativas, preventivas e de mitigação a fim de minimizar e/ou eliminar a materialização dos prováveis riscos inerentes a cada etapa do sistema de abastecimento de água do município de Bananeiras-PB.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 A Lei Federal 11.445/07**

Após a Constituição Federal de 1988 no Brasil, a Lei nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007 se tornou o principal instrumento de normatização legal para o saneamento básico do país. Foi regulamentada através do Decreto nº 7117 de 21 de junho de 2010. Ela estabelece a universalização do atendimento, da integralidade, da adoção de medidas, utilização de tecnologias que levem em consideração as peculiaridades de cada local e região, da eficiência e da sustentabilidade econômica dos serviços de saneamento, da gestão e fiscalização dos serviços por meio da ação regulatória, sempre buscando a melhoria da qualidade de vida da população. Impôs a necessidade de criar um plano nacional para o saneamento básico com metas, diretrizes e perspectivas de longo-prazo para o setor, criando então, o Plano Nacional de Saneamento Básico – PNSB (BRASIL, 2007).

Ela define que saneamento básico é formado pelo conjunto dos serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo dos resíduos sólidos e das águas pluviais. O princípio da universalização permite a sociedade ter água em quantidade e qualidade adequadas segundo aos fins requeridos; a coleta, tratamento e disposição final dos esgotos e resíduos sólidos (lixo) e o captação correta das águas pluviais (chuva).

Se tratando da mesma lei, ela ainda estabelece a elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico como instrumento de planejamento que, através dele, os serviços de saneamento básico possam ser ofertados à população. Elenca as condições e regras para a prestação dos serviços por parte dos titulares e dos prestadores e companhias.

A União é responsável pela elaboração do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) e por meio dele norteia a esfera Federal quais as ações e investimentos serão feitos. Para que os municípios possam ter acesso aos recursos oriundos da União, necessitam criar os seus Planos Municipais de Saneamento Básico, elencando seus horizontes de universalização, quais medidas e ações deverão ser tomadas a curto, médio e

longo prazo em cada serviço. Segundo Trata Brasil (2012) cabe aos municípios:

- Decidir se o serviço a ser prestado será de forma direta ou delegada e nortear quais os procedimentos de sua atuação.
- Adoção de parâmetros que garantam o atendimento essencial à saúde pública, quanto à quantidade, regularidade e qualidade da água potável.
- Definir o órgão responsável pela sua regulação e fiscalização.
- Afixar os direitos e deveres dos usuários.
- Estabelecer os mecanismos de participação e controle social.
- Estabelecer um sistema de informações sobre os serviços.
- Definir casos e condições, previstos em lei e nos contratos, para intervenção e retomada da prestação dos serviços.
- Definir as condições para a prestação dos serviços, envolvendo a sua sustentabilidade e viabilidade técnica, econômica e financeira.
- Definir o sistema de cobrança, composição de taxas e tarifas e política de subsídios.

O esboço do Plano Municipal de Saneamento Básico é apresentado no Quadro 1.

**Quadro 1:** Etapas e Atividades do Plano Municipal de Saneamento Básico

<b>Etapa</b>	<b>Atividade</b>
<b>1ª Fundamentos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definir diretrizes e conceitos básicos, com orientações gerais e específicas para cada órgão relacionado com o saneamento básico.</li> <li>- Discutir as diretrizes do Plano em reunião pública do Comitê Consultivo com participação dos diversos segmentos da sociedade.</li> <li>- Elaborar diagnóstico com levantamento da situação atual, identificando as carências e determinando a demanda reprimida de cada serviço público de saneamento básico.</li> <li>- Realizar prognóstico com avaliação das condições atuais e projeção para o horizonte proposto pelo Plano, considerado o Plano Diretor Municipal, caso exista.</li> </ul>
<b>2ª Propostas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A apresentar as conclusões da primeira etapa ao Comitê Consultivo em reunião pública para crítica e encaminhamento de propostas.</li> <li>- Realizar proposições, contemplando os seguintes aspectos: Diretrizes para a ação municipal (obras e serviços); Estrutura administrativa para a gestão do Plano e definição de competências; Sistema de avaliação permanente e integrado ao</li> </ul>

	<p>sistema de planejamento municipal; Prioridades de investimentos com orientação para o cronograma de implantação.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Discutir as proposições em reuniões públicas do Comitê Consultivo.</li> <li>- Realizar reunião pública final do Comitê Consultivo (Seminário Final) para discussão do relatório e encaminhamento do Plano ao Conselho da Cidade ou Municipal de Saneamento Básico, ou equivalente.</li> </ul>
<b>3ª Aprovação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Discussão pelo Conselho da Cidade ou Municipal de Saneamento Básico ou equivalente ou pelo Poder Legislativo Municipal.</li> <li>- Aprovação pelo Conselho da Cidade ou Municipal de Saneamento Básico ou equivalente e pelo Poder Legislativo Municipal com sanção de Lei pelo Chefe do Poder Executivo Municipal.</li> </ul>
<b>4ª Institucionalização</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaboração e aprovação de resoluções pelo Conselho e decretos regulamentadores pelo Chefe do Poder Executivo Municipal.</li> <li>- Realização das alterações administrativas necessárias para implementar o Plano.</li> <li>- Realização de previsões orçamentárias.</li> </ul>
<b>5ª Implementação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementação das ações propostas no Plano</li> </ul>
<b>6ª Acompanhamento e Avaliação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acompanhamento trimestral e avaliação anual da implementação do Plano pelo Conselho da Cidade ou Municipal de Saneamento Básico, ou equivalente.</li> </ul>

Fonte: Moraes (2013) apud Sousa Neto (2016)

Segundo Trata Brasil (2012) os PMSBs devem ser elaborados e revisados a cada quatro anos, devem ter os objetivos e metas nacionais e regionais; elencar quais os programas e ações realizar-se-ão para o alcance dessas metas. O plano deve expor o compromisso coletivo da sociedade e, além disso, estar em consonância com o Plano Diretor de cada município e com planos das bacias hidrográficas os quais fazem parte, para que possam, assim, realizar atividades conjuntas com outros setores, como saúde, habitação, lazer, gestão dos recursos hídricos e meio ambiente.

## 2.2 Gestão, Política Nacional de Recursos Hídricos

A água é um elemento essencial para as atividades socioeconômicas e para as relações de ordem mundial, sobre esta óptica, ela é indispensável para à vida. Entretanto, estima-se que 844 milhões de pessoas no mundo carecem desse recurso para obter uma qualidade mínima de vida. Além disso, 1(um)

bilhão de pessoas não têm acesso ao serviço de abastecimento de água de maneira adequada e em quantidade e quantidade dignas (ONU, 2019).

Embora o Brasil apresente vasta disponibilidade hídrica, o país enfrenta problemas relacionados à escassez hídrica. Essa distribuição é feita de forma não igualitária nas diversas regiões do país. Cerca de 70% da água doce acessível no território brasileiro encontra-se na Região Norte, onde apresenta a menor taxa de habitação do Brasil. Analogicamente, observa-se que 95% da população brasileira é atendida por apenas 27% da água doce disponível. Quando esta variabilidade é observada nos grandes centros urbanos e industriais, os conflitos hídricos tornam-se mais gritantes (SOUSA, 2017).

Ações antrópicas têm potencializado a má qualidade hídrica para a população, os cursos d'águas cada vez mais estão sendo deteriorados com o lançamento de esgotos domésticos e industriais, o aumento do uso de agrotóxicos na agricultura, assoreamento dos rios, captação da água cada vez mais para a irrigação e o desmatamento. Todos esses fatores potencializam o decaimento qualitativo dos recursos hídricos, afetando, diretamente, a saúde e vida daqueles que usam esse recurso como fonte primordial para a existência.

Outro fator que tem ocasionado mudanças no fluxo médio das águas e, conseqüentemente, seu acesso à população, são as alterações climáticas, fazendo com que haja um maior estresse hídrico em áreas que apresentam maior vulnerabilidade a este fenômeno. Segundo Souza (2017) os principais choques evidenciados por esta alteração no meio ambiente são:

- Diminuição da disponibilidade hídrica;
- Maior frequência e magnitude de eventos climáticos extremos (secas e inundações);
- Elevação do nível do mar, prejudicando áreas litorâneas;
- Diminuição da qualidade de todas as fontes de água doce;
- Aumento funcional e operacional de requisitos para a infraestrutura.

Diante destes cenários, é imprescindível uma gestão eficaz dos recursos hídricos a fim de que os mesmos prossigam garantindo crescimento econômico e social, conservação ambiental e direito à vida a todos os atuais e futuros



usuários. Em regiões áridas e semiáridas a implantação deste mecanismo fica ainda mais evidente.

A Gestão de Recursos Hídricos (GRH) baseia-se em princípios e diretrizes que normalizam e guiam a estruturação de sistemas de gerenciamento para escolher possíveis decisões mais apropriadas ao cenário vivido com objetivo de permitir que a água seja ofertada para diferentes tipos de usos, de forma racional, consciente e sustentável. A GRH procura implementar tecnologias que visem o aumento da disponibilidade hídrica àqueles que tem o acesso limitado ao recurso, busca o aumento aos usos múltiplos da água e, por fim, o seu controle e conservação, tendo por equilíbrio os fatores qualidade e quantidade (LUCENA, 2018).

Para haver um bom uso adequado e criterioso deste recurso tão vulnerável e escasso, a GRH precisa ser praticada de forma eficaz e eficiente. Instrumentos normativos, deliberativos, consultivos e a inserção da população sobre a temática corroboram para que haja a materialização da mesma.

Olhando o Nordeste brasileiro, em especial, a região semiárida, onde predominam altas taxas de evaporação, escassez de água, irregularidade no regime pluviométrico tanto espacial quanto temporal, observa-se que há uma instabilidade hídrica nessa região, independentemente a qual tipo de uso ela seja requerida, entretendo, enfatizando o abastecimento humano, percebe-se a necessidade da implementação da gestão dos recursos hídricos com fim de mitigar os problemas sociais, econômicos e financeiros oriundos da irregularidade hídrica. Por haver um regime de chuvas anormal, a principal fonte de captação de água é através do barramento, ou seja, a construção de mananciais superficiais com intuito de garantir uma vazão regular aos usuários e assegurar, em tempos de estiagem hídrica, a oferta deste recurso à sociedade, para o consumo humano, irrigação ou indústria.

A gestão deve-se preocupar não somente com o uso, mas também com a conservação do recurso, procurando inserir os órgãos públicos, privados e a própria sociedade para juntos debaterem e participarem sobre a problemática e também delimitar mecanismos para equalizar a oferta e demanda por água sem que haja desequilíbrio ecológico e conseqüentemente a não garantia às gerações futuras.

A primeira das normas aqui no Brasil foi o Código das Águas de 1934 que, por meio do Decreto Nº 24.643, delineou o aproveitamento das águas oriundas das indústrias, bem como o aproveitamento e exploração da energia hidráulica.

O arcabouço legal e institucional para o marco regulatório na gestão dos recursos hídricos no país é a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), conhecida como Lei das Águas, ela instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), baseada numa gestão compartilhada, participativa, integrada e descentralizada dos recursos hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). São fundamentos da PNRH (BRASIL, 1997):

- A água é um bem de domínio público;
- A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico. Água e saneamento;
- Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da PNRH e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH);
- A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades.

Esta nova ferramenta de gestão dos recursos hídricos traz consigo um preâmbulo de que, apesar da água ser um bem renovável, ela deve ser administrada para os atuais e futuros usos e consumidores.

A PNRH norteia a gestão das águas brasileiras superficiais e subterrâneas e este norteamento deve-se ocorrer no âmbito da bacia hidrográfica de maneira descentralizada e participativa com a inclusão do Poder Público, dos usuários e das comunidades. Esse processo proporciona a integração da gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental e a

articulação da gestão dos recursos hídricos com a do uso do solo (BRITO, 2017). Dentre seus objetivos destacam-se:

- I. Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
- II. A utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- III. A prevenção e a defesa contra eventos críticos de origem natural ou decorrente do uso integrado dos recursos hídricos.

A Lei das águas estabelece que a União, aos Estados e o Distrito Federal têm o domínio sobre as águas brasileiras: são bens da União os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham; são bens dos estados ou do Distrito Federal as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, na forma da lei, as decorrentes de obras da União (BRASIL, 1997).

### **2.3 A Lei 14.026/2020**

O novo marco legal do saneamento foi sancionado por meio da Lei Nº 14.026 de 15 de julho de 2020. Ela modificou a Lei 9.984/2000, a qual foi responsável pela criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Através da nova lei a ANA fica responsável por instaurar as diretrizes que servem como base para regulamentação dos serviços públicos de saneamento básico. Também por meio dela, há o incremento da participação da iniciativa privada nos serviços de saneamento básico.

A Lei 14.026/2020 cria a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Torna-se uma autarquia sob regime especial, com autonomia administrativa e financeira, vinculada ao Ministério do Desenvolvimento Regional, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Ela tem por objetivo implementar, a Política Nacional de

Recursos Hídricos e de instituir normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico (BRASIL, 2020). Ainda, determinando algumas funções, tais quais:

- Declarar a situação crítica de escassez quantitativa ou qualitativa de recursos hídricos nos corpos hídricos que impacte o atendimento aos usos múltiplos localizados em rios de domínio da União, por prazo determinado, com base em estudos e dados de monitoramento, observados os critérios estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos, quando houver;
- Estabelecer e fiscalizar o cumprimento de regras de uso da água, a fim de assegurar os usos múltiplos durante a vigência da declaração de situação crítica de escassez de recursos hídricos.

Os planos de saneamento básico passam a ser revistos periodicamente, em prazo não superior a 10 anos. Municípios com população inferior a 20.000 (vinte mil) habitantes poderão apresentar planos simplificados, com menor nível de detalhamento. (BRASIL, 2020).

Por fim, com o novo marco do saneamento, objetiva-se que, até 2033, 99% da população brasileira tenha acesso à água potável e 90% à coleta e tratamento dos esgotos, ocasionando a universalização dos serviços. Para que essa meta seja alcançada, as companhias prestadoras dos serviços de abastecimento de água e esgoto necessitarão comprovar sua capacidade econômico-financeira com objetivo de atender as demandas requeridas até o prazo estabelecido.

Com a ampliação dos serviços de saneamento básico, sobretudo água e esgoto, nos seus aspectos quali-quantitativos, proporcionarão melhor qualidade de vida à população, ampliação da oferta e suprimento das demandas para os diversos fins e, conseqüentemente, acarretando maior crescimento e desenvolvimento econômico à região.

A universalização do saneamento é de grande relevância econômica e social, já que a sua falta acarreta problemas de saúde e proliferação de doenças. O saneamento básico é imprescindível para a efetivação do direito social à saúde que, conseqüentemente, também efetivará o direito ao meio ambiente, à educação e ao desenvolvimento (LEITE et. al, 2021).

## 2.4 Sistema de Abastecimento de Água

A água é o elemento indispensável para a manutenção de vida no planeta, é um dos recursos de maior abundância no meio ambiente (LUCENA, 2018). A principal importância da água é para o consumo humano, entretanto, este insumo desempenha função primordial noutras atividades como dessedentação animal, geração de energia elétrica, lazer, atividade industrial, produção agrícola, transporte e meio de vida para ambientes aquáticos. Por se tratar de um patrimônio mundial da humanidade, o poder público e a sociedade civil devem estar cientes de sua função quanto à preservação dos recursos hídricos (FUNASA, 2015).

O surgimento de atividades econômicas e sociais nos centros urbanos só é permissível se houver disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade adequadas à população, para tanto, há a necessidade da construção de um SAA com infraestrutura apropriada para atender as referidas demandas (MEDEIROS, 2017). O Quadro 2 cita algumas vantagens de uma região ou localidade possuir os serviços de abastecimento de água.

**Quadro 2:** Benefícios do SAA

<p><b>Aspectos sanitário e social:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlar e prevenir doenças;</li> <li>• Implantar hábitos higiênicos na população;</li> <li>• Facilitar a limpeza pública;</li> <li>• Facilitar as práticas desportivas;</li> <li>• Propiciar conforto, bem-estar e segurança;</li> <li>• Aumentar a expectativa de vida da população.</li> </ul>
<p><b>Aspectos econômicos:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar a vida média pela redução da mortalidade;</li> <li>• Aumentar a vida produtiva do indivíduo, por meio do aumento da vida média ou pela redução do tempo perdido com doença;</li> <li>• Facilitar a instalação de indústrias;</li> <li>• Facilitar a proteção dos mananciais;</li> <li>• Facilitar a supervisão do sistema;</li> <li>• Facilitar o controle da qualidade da água;</li> <li>• Facilitar a economia de escala.</li> </ul>

Fonte: EOS Consultores, 2019.

Os SAA's devem ser projetados para atender à população de forma ininterrupta, entretanto, em regiões que enfrentam escassez hídrica

prolongada, crescimento populacional desorganizado, urbanização e aumento da demanda hídrica por setores industriais, o serviço se torna intermitente. Nesse contexto as companhias de abastecimento de água e a própria população frequentemente precisam encontrar outras fontes alternativas de abastecimento a fim de garantir a oferta hídrica de acordo com as demandas requisitadas (ILAYA-AYZA et al., 2017).

A Lei nº 11.445/2007 que trata sobre o Saneamento Básico, dispõe que, os sistemas de abastecimento de água devem abranger toda a população, ou seja, ser universal para que tenha a aptidão de bloquear, prevenir ou impedir possíveis endemias ou epidemias veiculadas pelos agentes do meio ambiente, bem como a sua capacidade de promover condições favoráveis ao pleno gozo da saúde e do bem-estar.

Os serviços de saneamento básico no Brasil são realizados de forma diversificada quanto aos órgãos prestadores dos mesmos. As Companhias Estaduais de Saneamento (CESBS) são preponderantemente àquelas que detêm o direito de concessão e realização dos serviços no país.

De acordo com a Portaria de consolidação nº 05/2017 do Ministério da Saúde (MS) o sistema de abastecimento de água para consumo humano é definido como sendo uma instalação composta por obras civis, materiais e equipamentos para a produção e fornecimento coletivo da água potável, por distribuição (desde a zona de captação até as instalações prediais), com respectivos instrumentos de medição, sob a responsabilidade do poder público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão (BRASIL, 2017).

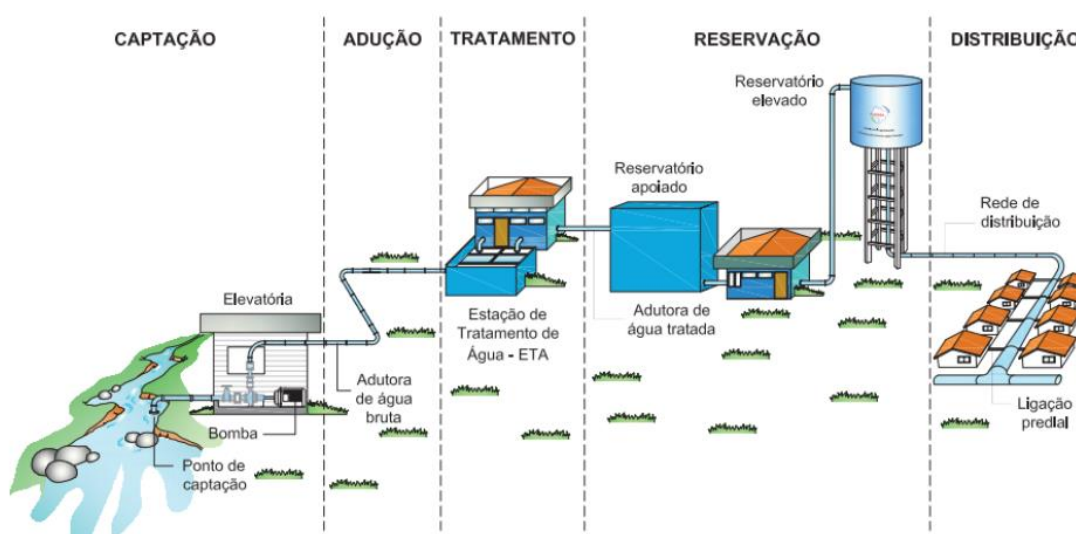
Para que ele possua a eficácia de atender uma determinada população, há etapas que são cumpridas e estabelecidas de forma prévia. São elas: elaboração do projeto e implementação, constituído em estudos técnicos de concepção, dimensionamento e execução de acordo com as normas vigente, além da sua operação (SANTOS, 2017).

Com a finalidade de a população ter acesso à água potável, o SAA desempenha importante função, haja vista que, a água bruta passa por diferentes etapas até que adquira um padrão de potabilidade afim de não propiciar malefícios aos usuários (FREITAS, 2015).

Métodos e técnicas em que a água será captada, tratada e distribuída, bem como a estrutura e os equipamentos constituintes do SAA dependerá de alguns fatores, como: tamanho da população, tipo e qualidade do manancial, aspectos topográficos e climatológicos da região a ser atendida e a operabilidade do sistema (OLIVEIRA, 2016).

Ele é constituído das seguintes estruturas: manancial, captação, adutora de água bruta, estação elevatória (EE), estação de tratamento de água (ETA), adutora de água tratada, reservatório de distribuição e rede de distribuição (TSUTIYA, 2006). A Figura 1 expõe as partes constituintes de sistema de abastecimento de água.

**Figura 1** - Unidades constituintes do sistema de abastecimento de água.



Fonte: FUNASA, 2015.

- **Manancial:** É a fonte de onde se retirada a água para abastecimento da comunidade. O corpo hídrico pode ser dos tipos: superficial – rios com ou sem acumulação; subterrâneo – freático/livre ou confinado; água de chuva – água coletada através de cisternas.

Em estudos de concepção de SAAs é muito importante a escolha adequada do manancial que atenderá as demandas hídricas da região para que a mesma não sofra com problemas relacionados ao desabastecimento de água e possíveis colapsos hídricos do sistema. Por isso, na fase de elaboração do projeto, são necessários estudos e análises das características da bacia hidrográfica em que o corpo hídrico está inserido, tais como: precipitação,

evapotranspiração, infiltração, interceptação, escoamento, vazão e balanço hídrico.

A qualidade e a quantidade são fatores preponderantes na escolha adequada do manancial. Os corpos hídricos do tipo superficial apresentam maior facilidade quanto à sua captação. Os subterrâneos possuem exploração hidrogeológica mais complicada, entretanto apresentam menor vulnerabilidade em períodos de estiagem prolongada (SANTOS, 2018).

- **Captação:** Conjunto de equipamentos e acessórios que tem por objetivo a retirada da água do manancial para o abastecimento da população.

As águas superficiais empregadas em sistemas de abastecimento geralmente são originárias de um curso de água natural. As condições de escoamento, a variação do nível d'água, a estabilidade do local de captação, por exemplo, é que vão sugerir onde e como essas águas serão captadas (CARVALHO & SILVA, 2007). Segundo os mesmos autores, basicamente as condições a serem analisadas são as expostas no Quadro 3.

**Quadro 3:** Critérios a serem observados para captação de água superficial em SAAs.

<b>Condições</b>	<b>Pontos a serem analisados</b>
Quantidade de água	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A vazão é suficiente na estiagem;</li> <li>• É insuficiente na estiagem, mas suficiente na média; e</li> <li>• Existe vazão, mas inferior ao consumo previsto.</li> </ul>
Qualidade da água	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ocorrência de problemas de natureza física, química ou biológica.</li> <li>• Superficialmente ações físicas danosas podem ter origem através de ventos, correntezas (principalmente durante os períodos de enchentes com extravasamento do reservatório) e impactos de corpos flutuantes.</li> </ul>
Garantia de funcionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posições do nível mínimo para que a entrada de sucção permaneça sempre afogada e do nível máximo para que não haja inundações danosas às instalações de captação.</li> <li>• A determinação da velocidade de deslocamento da água no manancial para dimensionamento das estruturas de captação que estarão em contato com a correnteza e ondas e sujeitas a impactos com corpos flutuantes.</li> </ul>
Economia de instalações	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preocupação com a estabilidade das estruturas, proteção contra correntezas, inundações, desmoronamentos, etc;</li> <li>• Medidas que não permitam obstruções com a entrada indevida de corpos sólidos, como peixes, por exemplo.</li> </ul>



Localização	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudar com antecedência, a permanência natural do ponto de captação, a velocidade da correnteza, a natureza do leito de apoio das estruturas a serem edificadas e a vida útil destas;</li> <li>• Facilidade de acesso e de instalação de todas as edificações necessárias (por exemplo, a estação de recalque, quando for o caso, depósitos, etc.),</li> <li>• Flexibilidade física para futuras ampliações e;</li> <li>• Custos de aquisição do terreno.</li> </ul>
-------------	--

Fonte: (CARVALHO & SILVA, 2007)

Os dispositivos ou mecanismos de captação variam de acordo com o tipo de manancial (superficial ou subterrâneo). Oliveira (2016) exemplifica alguns desses instrumentos de captação de água nos SAAs exposto no Quadro 4.

**Quadro 4:** Principais mecanismos de captação de água

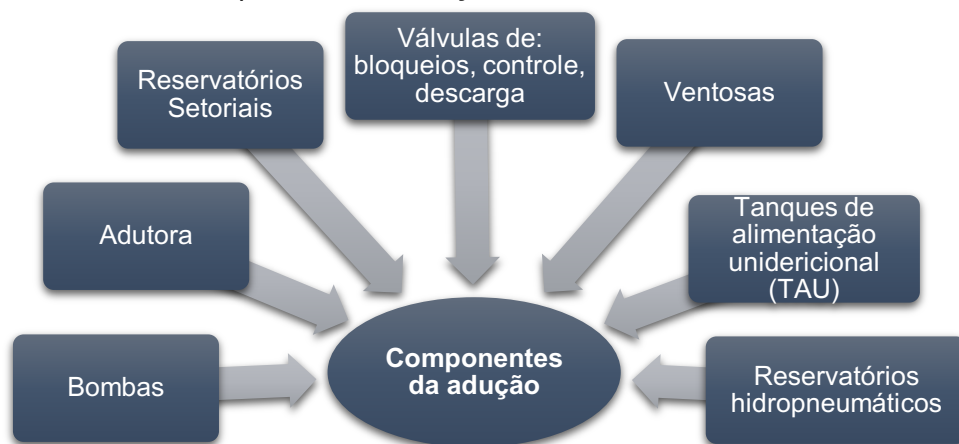
Tipo de Manancial	Dispositivos de captação
Superficial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Torres</li> <li>• Tubulações</li> <li>• Captação flutuante</li> </ul>
Subterrâneo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caixas de tomada, quando o lençol freático é aflorante ou de encosta;</li> <li>• Galerias de infiltração, quando o lençol freático não aflora;</li> <li>• Poços profundos, quando o lençol for confinado;</li> <li>• Fontes.</li> </ul>

Fonte: Oliveira (2016).

- **Adução:** São as tubulações que levam a água para as unidades de tratamento ou do tratamento à rede de distribuição. De acordo com o seu funcionamento são por gravidade, recalque ou mista. Podem ser de água tratada (antes do tratamento) ou bruta (após o tratamento). Essas grandes tubulações são chamadas de adutoras (HELLER; PÁDUA, 2010).

Nessa etapa, os componentes são projetados para transportar grande volume de água por longas distâncias, interligando as principais instalações do sistema (OLIVEIRA, 2016). Segundo a autora os principais equipamentos utilizados nessa etapa do sistema de abastecimento de água são os expostos na Figura 2.

**Figura 2:** Estrutura do processo de adução em sistemas de abastecimento de água

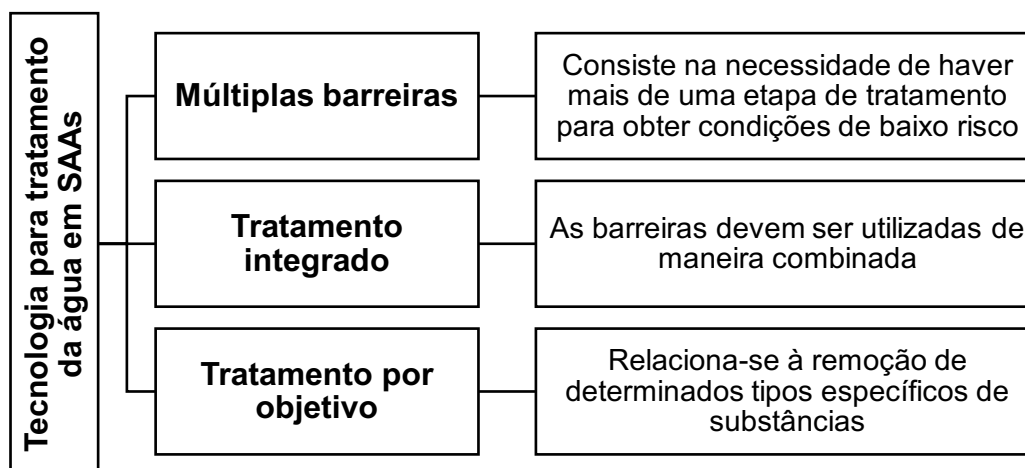


Fonte: Oliveira (2016).

- **Tratamento:** Local onde os procedimentos necessários para a retirada de impurezas da água, deixando-a em padrões adequados para o consumo humano.

Para Santos (2018) a escolha da tecnologia a ser utilizada no tratamento de água para abastecimento deve atender a três conceitos básicos como ilustra a Figura 3.

**Figura 3:** Princípios do tratamento de água em SAA's



Fonte: Santos (2018).

Heller e Pádua (2010) afirmam que de acordo com a característica a ser corrigida ou das substâncias indesejáveis presentes na água, há distintos métodos de tratamento que podem ser utilizados, tais como:

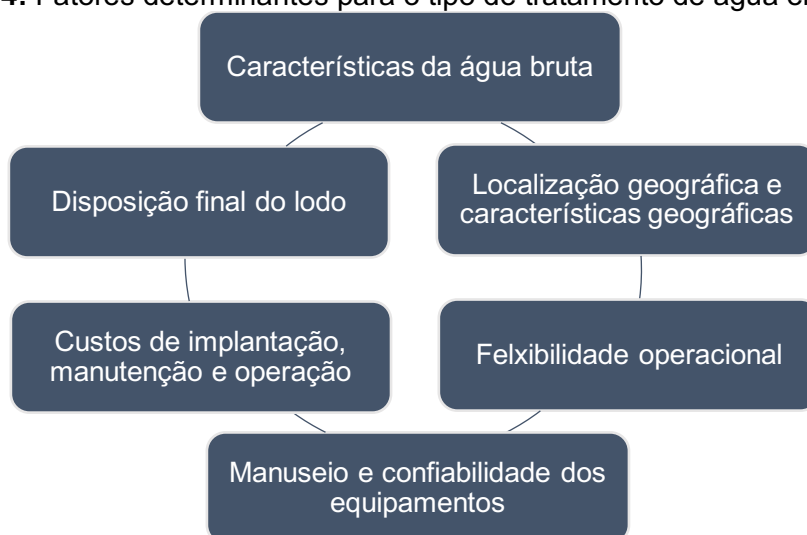
- ❖ **Micropeneiramento** – consiste na utilização de grades para a retenção de pequenos materiais grosseiros que por ventura estejam presentes na água (HELLER; PÁDUA, 2010);
- ❖ **Oxidação** – a oxidação pode ser química ou por aeração, e é utilizada para diminuir a concentração matéria orgânica, ou até mesmo inorgânica. O primeiro tipo de oxidação consiste na adição de oxidantes químicos, entretanto, há a formação de subprodutos nocivos à saúde humana, e que devem ser descartados adequadamente. Já o segundo tipo é realizado por meio da introdução de ar na água (HELLER; PÁDUA, 2010);
- ❖ **Adsorção** – remoção de substâncias orgânicas ou inorgânicas por meio da utilização de um adsorvente, normalmente carvão ativado. Neste tipo de processo, as substâncias que necessitam ser retiradas da água, ao entrar em contato com o material adsorvente, ficam depositadas na sua superfície devido à ação de forças químicas (HELLER; PÁDUA, 2010);
- ❖ **Coagulação** – “processo de desestabilização das partículas coloidais ou neutralização das moléculas de substâncias húmicas [...] de maneira que as impurezas formem aglomerados maiores, os quais podem ser removidos nas etapas unidades seguintes” (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008, p. 119). Heller e Pádua (2010) citam que esta etapa é muito importante, pois, problemas na coagulação afetam todo o desempenho das etapas posteriores de tratamento. Os coagulantes mais utilizados são: sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato ferroso clorado, sulfato férrico e o hidro-cloreto de alumínio;
- ❖ **Mistura** - pode ser do tipo rápida, utilizada para a mistura dos produtos químicos responsáveis pela coagulação; e do tipo lenta, responsável pela agregação das partículas desestabilizadas com o objetivo de constituir flocos (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008);
- ❖ **Floculação** – Constitui um conjunto de fenômenos físicos, nos quais se tenciona, em última instância reduzir, o número de partículas suspensas e coloidais presentes na massa líquida (LIBÂNIO, 2010).

- ❖ **Decantação** – Aos flocos formados na etapa anterior são fornecidas condições que os permitam depositar-se pela ação da gravidade. Nessa operação objetiva-se diminuir o afluxo de partículas às unidades filtrantes, consistindo na última etapa da clarificação (LIBÂNIO, 2010).
- ❖ **Flotação** – etapa que promove a produção de microbolhas de ar, onde as partículas suspensas ficam aderidas, o que facilita a sua ascensão (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008);
- ❖ **Filtração em meio granular** – A filtração constitui-se no processo cuja finalidade é a remoção das partículas responsáveis pela cor e turbidez, cuja presença reduziria a eficácia da desinfecção na inativação dos microrganismos patogênicos (LIBÂNIO, 2010).
- ❖ **Filtração em membrana** – retenção de contaminantes (orgânicos e inorgânicos) e material dissolvido por meio da passagem da água em um material semipermeável (com micro aberturas), onde estes ficam retidos. Esta técnica é muito utilizada, principalmente, no tratamento de águas salobras (HELLER; PÁDUA, 2010);
- ❖ **Desinfecção** – o principal desinfetante utilizado é o cloro, esta etapa consiste na inativação corretiva e preventiva de micro-organismos patogênicos, no primeiro caso a ação é sobre organismo que já estejam presente na água, e no segundo caso, refere-se a manutenção de um residual do desinfetante para atuar de maneira preventiva, caso venha a ocorrer alguma possível contaminação na rede de distribuição (HELLER; PÁDUA, 2010);
- ❖ **Abrandamento** – consiste na diminuição da dureza da água (HELLER; PÁDUA, 2010);
- ❖ **Fluoretação** – adição de flúor (normalmente na forma de ácido fluorossilícico, fluossilicato de sódio, fluoreto de sódio ou fluoreto de cálcio) na água para a prevenção da decomposição do esmalte dos dentes, que causa a cárie infantil (HELLER; PÁDUA, 2010);
- ❖ **Estabilização química** – mesmo após passar por processos adequados de tratamento, a água pode apresentar propriedades que causem corrosão e incrustação nas tubulações, o que provoca a diminuição da seção útil dos tubos e, conseqüentemente, perda de

carga na distribuição. Além disso, esse material incrustado pode se dissolver na água, aumentando a cor e turbidez, sendo desagradável ao consumidor. Em razão disso, é necessário realizar a estabilização química ao final do tratamento (HELLER; PÁDUA, 2010).

A escolha da tecnologia a ser empregada no tratamento de água para consumo humano deve-se basear nas premissas apresentadas na Figura 4

**Figura 4:** Fatores determinantes para o tipo de tratamento de água em SAA's



Fonte: Libânio (2010)

A escolha adequada do manancial ou um eficiente gerenciamento de sua bacia hidrográfica contribuem para a não presença de componentes indesejáveis ao processo de potabilização da água para abastecimento (OLIVEIRA, 2016).

- **Reservação:** Os reservatórios são elementos que tem a finalidade de acumular, regularizar as vazões de adução e distribuição, como também garantir que haja uma pressão mínima ou constante em toda a rede de distribuição.

Os reservatórios influenciam positivamente na segurança do abastecimento das localidades. Eles abrandam as variações de consumo durante o dia, garantem uma pressão suficiente para atender os diversos trechos da distribuição. Por isso, a boa localização dos reservatórios é

primordial para a qualidade do serviço. Quanto mais distante o ponto de consumo, maior será a probabilidade de haver problemas relacionados ao suprimento de água em quantidade adequada, já que há uma gradativa diminuição de pressão (SANTOS, 2018).

- **Rede de distribuição**: É a rede de distribuição que leva a água do reservatório até os pontos de consumo.

Todos estes componentes citados são fundamentais na estruturação adequada de um SAA, os quais, juntamente com a sua operação, são fundamentais para o bom funcionamento deste, de forma a garantir água de maneira adequada às populações. Devem ser projetados para atender tanto a pequenas localidades quanto a grandes centros urbanos, variando em suas características e no porte das suas instalações.

Para concepção e implantação de um sistema de abastecimento de água são realizados estudos de viabilidade econômica, financeira, social e técnica. Todo o projeto deve estar amparado por normas técnicas, a fim de assegurar quantitativamente e qualitativamente a segurança hídrica à área atendida. Uma delas é a Norma Brasileira (NBR) 12.211 (ABNT, 1992) que diz respeito aos estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água, isto é, das partes que englobam todo o sistema para que haja a melhor escolha, baseados nos pontos de vista citados anteriormente. Em conjunto com as NBR's, deve-se observar as Portarias de Consolidada nº 5/2017 e nº 888/2021, do Ministério da Saúde, que tratam do padrão de potabilidade hídrica que deve ser ofertado à população.

As portarias citadas anteriormente estabelecem condições mínimas para o tratamento da água, dentre as quais, destacam-se:

- Toda água fornecida coletivamente deve ser submetida a processo de desinfecção
- Toda água suprida por manancial superficial e distribuída por meio de canalização deve incluir tratamento por filtração.

Citam ainda que “toda água destinada ao consumo humano proveniente de solução alternativa individual de abastecimento de água, independentemente da forma de acesso da população, está sujeita à vigilância da qualidade da água”. Isso quer dizer que, ao poder público é obrigado a garantir o fornecimento de água, à população, dentro dos padrões mínimos de potabilidade exigido por lei, independentemente se usuário utiliza os SAA fornecidos pelas companhias e empresas responsáveis ou se utilizam de outra fonte de captação de água (cisterna, poço, chafariz, carro-pipa).

Todo o aparato de serviços, de infraestrutura e de instalações do SAA são componentes do saneamento básico, proporcionando ao homem benefícios ao seu bem-estar físico, social e mental. Ações socioeconômicas e ambientais trazem consigo a saúde pública e a salubridade ambiental. Por isso, é importante o aumento ao acesso destes à sociedade, contribuindo para a diminuição da mortalidade infantil, crescimento no desenvolvimento econômico e social (SILVA, 2019).

Na esfera global, em 2015, 181 países já atingiram mais de 75% da cobertura dos serviços básicos de água potável (SAP), sendo assim, 89% da população mundial é atendida pelo serviço de água potável. Na contramão dessa cobertura, 2,1 bilhões de pessoas não têm acesso a um SAP gerenciado de maneira seguro, e 844 milhões de pessoas ainda não dispunham nem sequer de um serviço de abastecimento de água potável. Das pessoas que possuem um SAP de forma segura, uma em cada três (1,9 bilhão) vive em áreas rurais (TRATA BRASIL, 2019).

As doenças de veiculação hídrica são indicadores da falta de eficiência dos serviços de saneamento, principalmente da qualidade da água ofertada à população (SANTOS, 2017).

O Quadro 5 expõe as doenças de veiculação hídrica mais corriqueiras relacionadas a falta de saneamento.

**Quadro 5:** Doenças de veiculação hídrica

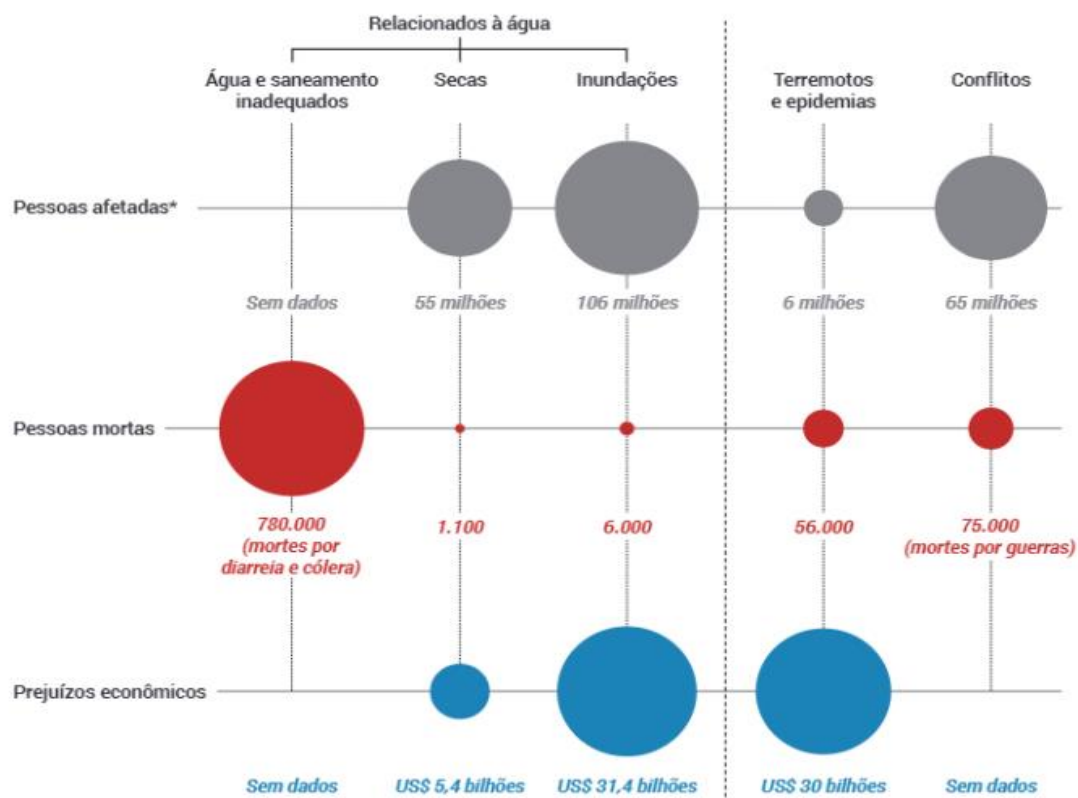
<b>Doença</b>	<b>Agente etiológico</b>	<b>Sintomas</b>	<b>Fonte de contaminação</b>
Febre tifoide e paratifoide	<i>Salmonella typhi</i> e <i>Salmonella aratyphi</i> A e B	Febre elevada e diarreia	Fezes humanas
Disenteria bacilar	<i>Shigella dysenteriae</i>	Diarreia	Fezes humanas
Disenteria amebiana	<i>Entamoeba histolytica</i>	Diarreia, abscessos no fígado e intestino delgado	Fezes humanas
Cólera	<i>Vibrio cholerae</i>	Diarreia e desidratação	Fezes humanas e águas costeiras
Giardíase	<i>Giardia lamblia</i>	Diarreia, náusea, indigestão, flatulência	Fezes humanas e de animais
Hepatite A e B	Vírus da hepatite A e B	Febre, icterícia	Fezes humanas
Poliomielite	Vírus da poliomielite	Paralisia	Fezes humanas
Criptosporidiose	<i>Cryptosporidium parvum</i> <i>Cryptosporidium muris</i>	Diarréia, anorexia, dor intestinal, náusea, indigestão, flatulência	Fezes humanas e de animais
Gastroenterite	<i>Escherichia coli</i> , <i>Campylobacter jejuni</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i> , <i>Aeromonas hydrophila</i> , Rotavírus e outros vírus entéricos.	Diarreia	Fezes humanas

**Fonte:** Daniel (2001) apud Santos (2017)

A ausência dos serviços de abastecimento de água potável e de saneamento causam mais vítimas fatais se comparado às mortes relacionadas aos eventos climáticos extremos (seca e inundação), fenômenos naturais (terremoto), epidemias e conflitos. A Figura 5 expõe essa comparação, segundo o Instituto Trata Brasil.



**Figura 5:** Impacto anual médio dos serviços inadequados de água potável e saneamento, desastres relacionados à água, epidemias, terremotos e conflitos.



Fonte: Trata Brasil, 2019.

Um dos componentes do SAA é a etapa de tratamento de água, a qual é responsável pela adequação da água aos padrões de potabilidade estabelecidos em normas para que haja a eliminação de organismos patogênicos, mitigando os problemas de saúde pública (SANTOS, 2017).

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2019) 169.085.425 habitantes são atendidos com abastecimento de água no Brasil, o que corresponde em torno de 84% da população total do país. Com relação ao índice de atendimento por região, a Tabela 1 traz esses valores.

**Tabela 1:** Níveis de atendimento com água dos municípios segundo macrorregião e Brasil

Macrorregião	Água	
	Total (%)	Urbano (%)
Norte	57,5	70,4
Nordeste	73,9	88,2
Sudeste	91,1	95,9
Sul	90,5	98,7
Centro-Oeste	89,7	97,6
<b>Brasil</b>	<b>83,7</b>	<b>92,9</b>

Fonte: BRASIL (2020)

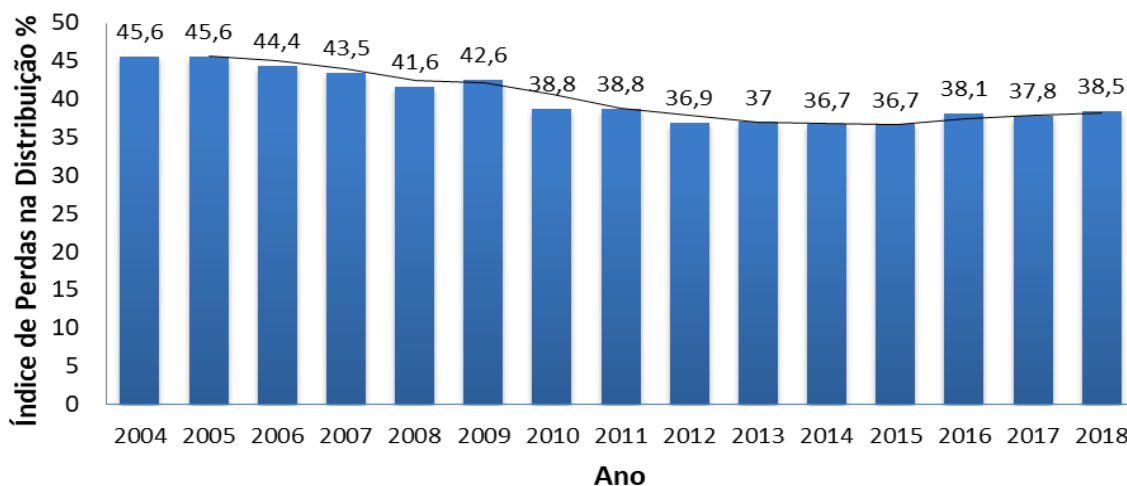
Na Tabela 1 observa-se que, as regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste apresentam um índice total de atendimento de água superior à média nacional. Na contramão destes valores, a Região Norte apresenta apenas 57,5% da sua população total com atendimento à água, já quando analisado apenas o cenário urbano este valor eleva-se a 70,4%.

Já a Região Nordeste, onde apresenta altas taxas de evapotranspiração, períodos de escassez hídrica prolongada, solos rasos e áridos e chuvas temporalmente e espacialmente irregulares, verifica-se que 73,9% da população total nordestina possui acesso ao atendimento de água e este índice aumenta para 88,2% quando analisado apenas a área urbana. Em comparação com os índices extraídos do ano interior, houve diminuição do acesso à água potável no Nordeste brasileiro. Observou-se que 74,2% de toda a população tinha acesso ao recurso hídrico, já no cenário urbano era de 88,7% (SNIS, 2018)

Quando se debate acerca do SAA no Brasil, um dos grandes gargalos enfrentados nessa área diz respeito às perdas de água na distribuição. Nas esferas estaduais elas são distribuídas de forma desigual quando comparadas umas com as outras. Em números, o país apresenta uma média de 40% em perdas de água na distribuição, índice considerado elevado. De acordo com o SNIS e exposto na Figura 6, a porcentagem média de perdas na distribuição de água no Brasil passou de 45,6% em 2004 para 38,5% em 2018, uma queda de

7,1 pontos percentuais durante esse período, em contrapartida houve um aumento no índice comparado ao ano de 2017.

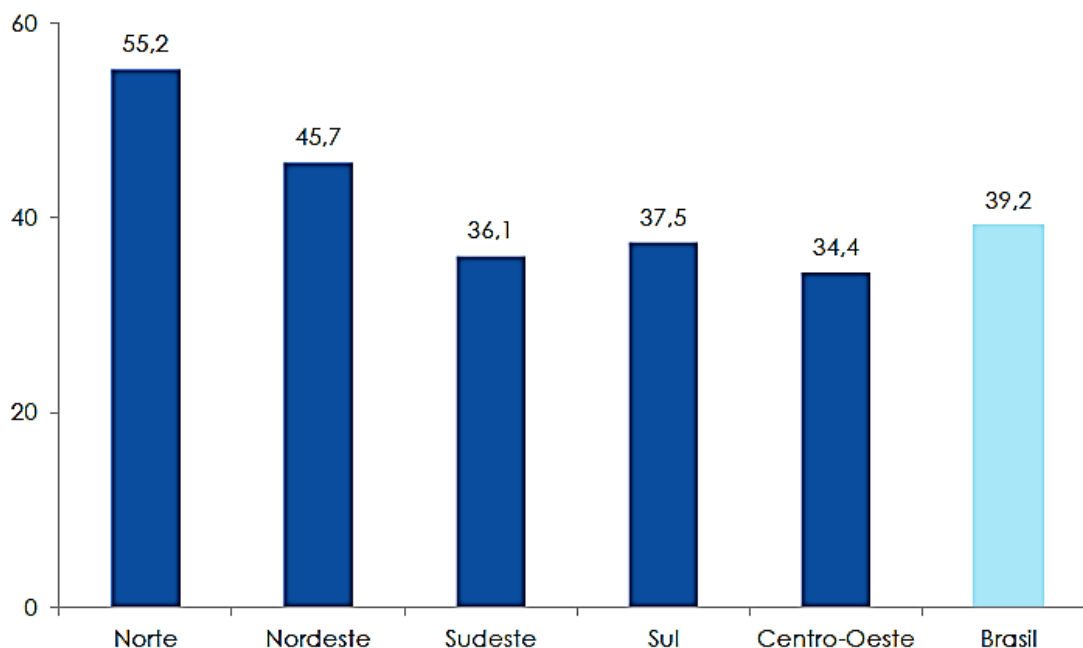
**Figura 6:** Evolução do índice de perdas na distribuição – Brasil (%)



Fonte: SNIS (2004-2018)

Quando observado por regiões, no ano de 2018 o Norte apresenta o maior valor (55,5%), superior à média nacional do referido ano. O que chama atenção sobre o setor de abastecimento de água desta região é que, mesmo apresentando a menor taxa de atendimento de distribuição de água à população, conforme a Tabela 1, o pouco que é ofertado, mais da metade é perdido antes mesmo de chegar ao consumidor final. A Região Centro-Oeste apresenta a menor taxa de perdas (34,4%). O Nordeste brasileiro apresentou índices elevados de perdas (45,7%), superior à média nacional (39,2%). Além dos fatores climáticos, sociais e econômicos, a região ainda enfrenta problemas na gestão e demanda dos recursos hídricos, o que, potencializa as desigualdades socioeconômicas enfrentadas pelos nordestinos. A Figura 7 apresenta o índice de perdas na distribuição dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2019, segundo macrorregião geográfica e média do Brasil.

**Figura 7:** Índice de perdas na distribuição em 2018, segundo macrorregião geográfica e média do Brasil.



Fonte: SNIS (2019)

As perdas são mais observadas principalmente nos grandes centros urbanos, associado em sua maioria à deterioração de partes dos sistemas que são mais antigas, assim como também devido a maior dimensão do sistema e consequente dificuldade de gerenciar e monitorar as perdas e furtos de água na rede de distribuição. Em pequenos centros urbanos esses valores podem ser elevados devido aos vazamentos em ramais, furtos, falhas na manutenção, ligações clandestinas, adulteração da medição por meio da instalação de registro simples, etc. Todavia, as perdas não ocorrem somente na fase de distribuição do SAA, mas sim em todas as etapas como adução, captação, tratamento e reservação.

## 2.5 Análise de Risco

A análise de risco baseia-se no uso de informações disponíveis para estimar o risco ao indivíduo, ao meio ambiente e à organização, oriundos das condições de perigo devido à iminência da presença de incertezas. Tecnicamente, ela pode ser da forma quantitativa ou qualitativa, onde esta última tende a ser mais subjetiva, apresenta menor complexidade e podem ser

utilizadas como uma avaliação preliminar com objetivo de estabelecer quais fatores (aspectos) serão estudados em maior profundidade (MELO, 2014; VIANA, 2015; FONSECA, 2018). Suas características estão definidas no Quadro 6.

**Quadro 6:** Diferenciação entre análise qualitativa e quantitativa

<b>Análise</b>	<b>Características</b>
Qualitativa	Utiliza-se de maneira descritiva ou escalas de ordenação numérica a fim de apresentar a magnitude de consequências potenciais e sua probabilidade da ocorrência.
Quantitativa	Baseia-se em valores numéricos das consequências potenciais e suas probabilidades, assumindo-se que tais valores sejam uma representação válida da magnitude real das consequências e da probabilidade dos vários cenários estudados.

Fonte: Melo (2014).

Com a análise de risco torna-se concebível identificar fenômenos não desejáveis que apresentam a capacidade de conduzi-los à materialização dos riscos como também, analisar os fatores pelos quais esses eventos podem vir a ocorrer e, estimar sua extensão, amplitude e probabilidade de concretização dos efeitos dos perigos (FONSECA, 2018).

Quantificar o risco é uma das etapas mais complexas do processo de gerenciamento de riscos, já que pode envolver uma grande quantidade de variáveis de acordo com o grau de precisão desejado, além de incertezas (VIANA, 2015).

De acordo com a norma australiana AS/NZS (2004) por meio da análise de risco é possível obter um valor numérico e, além disso, proporcionar ao avaliador a melhor percepção sobre o risco. Também permite ao responsável técnico tomar a decisão se o risco deve ou não ser tratado e, conseqüentemente, escolher de que forma o mesmo será sanado, implantando estratégias para a melhor relação custo-benefício.

O risco relaciona-se à probabilidade da ocorrência de algum evento não desejável que tenha a capacidade de provocar prejuízos para o ser humano, ao meio ambiente e a própria organização. Ele é a materialização da situação em perigo (FERREIRA et al, 2017; VERÇOSA, 2017).

Sua abordagem pode ser enxergada através de quatro aspectos: em função da sua origem, incidência, possibilidade de mensuração e probabilidade. Em se tratando do primeiro, podem ser originar através de fenômenos naturais, tecnológicos ou humanos, com diferentes fontes e intensidades. Quanto à incidência, podem acontecer sobre um único indivíduo chegando até uma comunidade (risco individual e risco social), já as suas consequências são de magnitude passível ou não de mensuração (riscos tangíveis e intangíveis) (FONSECA, 2018)

Apesar de atender às recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS), um SAA pode apresentar falhas ou problemas em qualquer horizonte temporal, propiciando riscos à qualidade do serviço e do produto prestados pelas companhias de saneamento básico (SANTOS, 2018). Ou seja, em um sistema de abastecimento de água as falhas podem ocorrer em qualquer de suas etapas - captação, adução, tratamento, reservação e distribuição -, comprometendo a potabilidade da água fornecida aos consumidores.

A análise de risco pode ser aplicada em diversas áreas do conhecimento devido a sua alta flexibilidade (LUCENA, 2018). Nos sistemas de abastecimento de água, o gerenciamento de riscos está cada vez mais no olhar dos gestores para garantir a segurança no fornecimento de água. Por isso, cada vez mais, metodologias estão sendo criadas para evitar, minimizar, mitigar ou controlar possíveis riscos inerentes ao sistema, melhorar a confiabilidade dos SAA's e auxiliar os gestores na tomada de decisões (SANTOS, 2018; LUCENA, 2018). Através dessas técnicas é possível garantir a qualidade e a quantidade de água necessária à população para os seus devidos fins, uma vez que, os riscos já foram controlados.

A OMS recomenda a elaboração de um Plano de Segurança da Água, o qual apresenta um modelo para a ponderação e a avaliação de riscos. Na avaliação deve estar incluso todos os tipos de perigos, reais ou potenciais, que tenham a chance de contaminar ou interromper o abastecimento de água à população. Com isso, deve-se mensurar os riscos, já que para cada etapa o grau de risco merece uma atenção diferenciada. Para tal, utiliza-se a matriz semiquantitativa para distinguir o grau de risco em cada análise (SANTOS, 2018). A matriz está exposta na Tabela 2 e na Tabela 3.

Os parâmetros utilizados para a ponderação são realizados conforme os índices apresentados na Tabela 4 para probabilidade e na Tabela 5 para severidade (WHO, 2011).

**Tabela 02:** Matriz de pontuação para a classificação dos riscos.

Probabilidade	Severidade das consequências				
	Insignificante	Pequena	Moderada	Grande	Catastrófica
<b>Quase certa</b>	05	10	15	20	15
<b>Provável</b>	04	08	12	16	20
<b>Moderadamente provável</b>	03	06	09	12	15
<b>Improvável</b>	02	04	06	08	10
<b>Rara</b>	01	02	03	04	05

Fonte: WHO (2011).

**Tabela 03:** Escala de riscos.

<b>Faixa de risco</b>	< 16	6 – 9	10 – 15	> 15
<b>Classificação dos riscos</b>	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto

Fonte: WHO (2011).

**Tabela 04:** Categorias de probabilidade.

Item	Classificação	Definição
Quase certa	05	Uma vez por dia
Provável	04	Uma vez por semana
Moderadamente provável	03	Uma vez por mês
Improvável	02	Uma vez por ano
Rara	01	Uma vez a cada cinco anos

Fonte: WHO (2011).

**Tabela 05:** Categorias de severidade.

<b>Item</b>	<b>Classificação</b>	<b>Definição</b>
Catastrófica	05	Impacto na saúde pública
Grande	04	Impacto regulatório
Moderada	03	Impacto estético
Pequena	02	Impacto de conformidade
Insignificante	01	Sem impacto ou não detectável

Fonte: WHO (2011).

Com objetivo de melhorar a confiabilidade no abastecimento de água, metodologias são utilizadas no SAA's. Por conta do crescimento populacional, sobretudo nos grandes centros urbanos, o abastecimento de água precisa ser garantido a fim de atender às demandas dos seus usuários em quantidade e qualidade adequadas. Por isso, é importante a elaboração de cenários, principalmente àqueles relacionados à escassez hídrica. Mortazavi-Naeni, Kuczera, *et al.*, (2015) realizaram previsões com a utilização da Simulação de Monte Carlo com objetivo de elaborar planos de contingência para momentos de crise hídrica. Esse plano baseou-se em medidas de mitigação de riscos e contingência de seca.

Em momentos de escassez hídrica, pode-se utilizar sistemas combinados ou alternativos de captação de água superficial ou subterrânea, armazenamento e distribuição, tais como: captação de água de chuva, perfuração de poços, usos de carros-pipas, chafarizes, reuso de águas residuárias para fins não potáveis, construção de cisternas, dessalinizadores, dentre outros.

Kowalski e Miszta-Kruk (2013) avaliaram a confiabilidade de redes de distribuição de água. Eles utilizaram um índice de falhas por km de rede. Tal pesquisa foi realizada em cidades da Polônia, na qual desde 1990 há um programa no país de substituição de tubulações antigas por outras mais



modernas e mais eficientes. Outras medidas como diminuição da pressão, detecção de perdas, monitoramento, aumento dos padrões de trabalho nas ETA's são ferramentas empregadas naquela localidade, aumentando e melhorando o desempenho dos SAA's (SANTOS, 2018).

Sobre a confiabilidade no abastecimento Roozbahani, Zahraie e Tabesh (2013) afirmam que há vários estudos que tratam acerca da qualidade ou quantidade de água. Entretanto, falhas podem afetar ambas as características, devendo estas ser abordadas em conjunto, como tratou os autores em uma pesquisa concretizada no SAA da cidade de Urmia no Irã. O sistema em estudo conta com duas fontes múltiplas de captação de água, uma superficial e outra subterrânea, incluindo uma ETA muito antiga e uma grande rede de distribuição.

Um SAA é composto de partes estratégicas com funções específicas no fornecimento, sendo necessária uma avaliação detalhada de cada etapa, sem falar que, cada sistema possui suas especificidades. De posse dessa informação, é plausível a sua divisão em diferentes partes. As metodologias de análise de risco presumem uma divisão estruturada do sistema em subsistemas para melhor facilidade das possíveis causas, efeitos, consequências dos possíveis riscos e perigos encontrados (SANTOS, 2018).

Há variadas metodologias de análise de risco. Pode-se destacar a APR (Análise Preliminar de Riscos); Análise da Árvore de Falhas (FTA – *Fault Tree Analysis*); Análise de Modo de Falha e Efeito (FMEA - *Failure Modes and Effect Analysis*); Estudo de Perigos e Operabilidade (HAZOP - *Hazard and Operability Study*). O Quadro 07 apresenta uma visão crítica de quatro metodologias citadas anteriormente com relação as vantagens e desvantagens na escolha da técnica de identificação de perigos.

**Quadro 07:** Metodologias de Análise de Riscos, vantagens e desvantagens.

TÉCNICAS	VANTAGENS	DESVANTAGES
<b>Análise Preliminar de Riscos (APR)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fácil de executar, devido ao seu esquema metódico e baixo nível de pormenor.</li> <li>- Permite revisões do projeto em tempo útil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- É desenvolvida numa fase inicial e pode faltar informação sobre todos os detalhes do projeto.</li> <li>- Necessita de ser complementada por técnicas mais detalhadas e apuradas. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Em sistemas bastante conhecidos, esta técnica pode ser evitada e partir-se diretamente para a aplicação de outras técnicas mais específicas.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Análise de Operabilidade e Perigos (HAZOP)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fácil aplicação, muito aceito e padronizado e sem modelo matemático.</li> <li>- Identifica as causas possíveis, os desvios, as suas consequências e as ações requeridas para obter a segurança do sistema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consumo de tempo.</li> <li>- Equipe multidisciplinar treinada.</li> <li>- Conhecimento do processo <ul style="list-style-type: none"> <li>- Método demorado;</li> </ul> </li> <li>- Em projetos novos deve ser complementado com outros métodos;</li> <li>- Necessita que o processo esteja bem detalhado.</li> </ul>
<b>“WHAT - IF” ou “e se?”</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fácil aplicação e geral.</li> <li>- Qualitativa, uso em projeto ou operações.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vários “<i>check lists</i>”.</li> <li>- Consumo de tempo.</li> </ul>
<b>Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fácil aplicação;</li> <li>- Modelo padronizado;</li> <li>- Classificação de risco.</li> <li>- Analisa subsistemas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Examina falhas não perigosas;</li> <li>- Demorada;</li> <li>- Não considera falhas de modo comum ou combinação de falhas.</li> </ul>

Fonte: Lucena, 2018.

## 2.6 FMEA - *Failure Mode and Effects Analysis* (Análise dos Modos de Falhas e Efeitos)

A *Failure Mode and Effects Analysis* é uma metodologia que tem como objetivo prevenir potenciais falhas que prejudiquem a correta funcionalidade de um produto, serviço ou sistema. O método permite (1) avaliar os efeitos e sequência dos acontecimentos acerca de cada modo de falha; (2) determinada a importância de cada modo de falha; (3) avaliar o impacto sobre a confiabilidade e segurança do sistema considerado e; (4) classificar os modos de falhas estudados.

Ela permite diagnosticar, eliminar ou controlar todos os modos de falhas de um sistema, os quais possam comprometer a operabilidade de todo o sistema, bem como propor soluções corretivas ao mesmo (VIANNA, 2015; KULCSÁR, et. al, 2020). Na FMEA é possível detectar potenciais erros já no estágio mais inicial possível da vida de um produto, processo ou ciclo do projeto, sendo carro chefe na avaliação de risco com base em três fatores relacionados a ele observado, que são: Detecção – diz respeito à chance de constatação do evento indesejado; Severidade – relacionado ao grau de consequência dos efeitos do modo de falha e; Ocorrência – referente à expectativa de ocorrência (frequência ou probabilidade) (KNEŽEVIĆ; MACURA; MILUTINOVIĆ, 2020; SANTOS, 2018).

Para isso, Santos (2018) afirma que para elencar possíveis problemas em um sistema, faz-se necessário o agrupamento de uma equipe multidisciplinar a fim de determinar as mais variadas falhas que o determinado sistema poderá apresentar. Algumas perguntas devem estar à mente da equipe, tais como:

- Como determinada função pode falhar?
- Por que ocorre tal situação?
- O que acontece quando falha?
- Como outros elementos similares falharam?
- Ocorreu mudanças nas falhas após a melhoria do processo?

É permissível correlacionar suas causas e efeitos, pontuando os meios de sua detecção, prevenção e mitigação de efeitos (CAVAIGNAC e FORTE, 2018), considerando a priorização de risco, para que assim possa expor medidas corretivas a serem tomadas (CAVAIGNAC et al. 2018).

Para cada potencial modo de causa é atribuído um valor denominado de Número de Prioridade de Risco (NPR), ele é o produto das classificações de severidade, ocorrência e detecção (FERREIRA et. al, 2017). Esses índices podem variar de 1 a 10, onde a melhor situação tem o resultado mais baixo e a pior situação tem o resultado mais alto (CAVAIGNAC et. al, 2018; PALADY, 2011). Os maiores valores de NPR necessitarão de prioridade para o seu tratamento ou solução da falha elencada.

Só então é elaborada uma planilha, em que cada situação é avaliada, separadamente e minuciosamente de acordo com os critérios pré-estabelecidos, permitindo a sugestão de ações que eliminem ou mitiguem os riscos de falhas. Nessa etapa de análise é sugestível a utilização de dados quantitativos, entretanto, quando não houver esses dados, a equipe ou o profissional responsável deve-se nortear por meio do seu conhecimento e da sua experiência (SANTOS, 2018).

Não há uma padronização ou normatização quanto à utilização dos formulários ou parâmetros a serem analisados. Entretanto, Vianna (2015) elenca alguns componentes a serem abordados para cada falha elencada, tais como:

- Identificação do sistema;
- Identificação dos subsistemas, componentes (ou elementos);
- Descrição da função dos componentes;
- Modo de falha;
- Efeito;
- Causa;
- Controle;
- Índice de ocorrência (O) = probabilidade da falha ocorrer;
- Índice de severidade (S) = impacto ou gravidade dos efeitos da falha;

- Índice de detecção (D) = eficiência (ou probabilidade) dos controles de detecção da falha;
- Número de prioridade de risco (NPR– *Risk Priority Number*) = produto dos índices de ocorrência, severidade e detecção.

A Figura 08 exemplifica um modelo de planilha a ser utilizados nas pesquisas envolvendo a metodologia FMEA.

**Figura 08:** Modelo de planilha FMEA

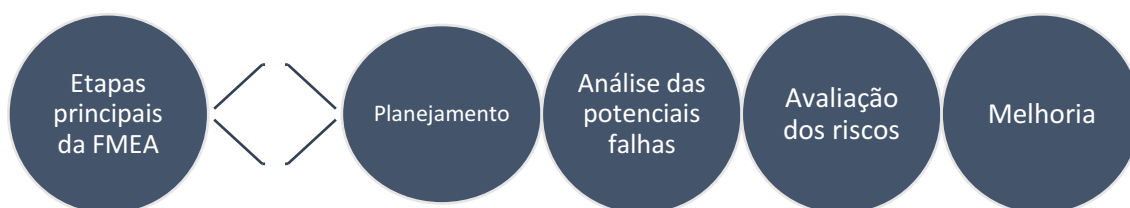
Atividade		Tarefa	Modo de falha potencial	Efeito potencial da falha	S	Causa Mecanismo potencial de falha	O	Controle de processo atual	D	NPR	Ação, Recomendação

Onde: S = Severidade, O = Ocorrência, D = Detecção, NPR = Quantificação do Risco

Fonte: Do autor (2020).

A metodologia de análise de risco denominada de FMEA pode ser subdividida em quatro etapas, conforme a Figura 09.

**Figura 09:** Etapas da FMEA



Fonte: Palady (2011).

- **Planejamento:** Etapa em que se definem os objetivos e a abrangência da pesquisa, preparação da equipe responsável, dos documentos e cronograma.

- **Análise das potenciais falhas:** Etapa em que é mensurado e identificado a atividade, a tarefa, o modo de falha, o efeito, a causa e o controle.
- **Avaliação dos riscos:** Quantificação dos índices de severidade, ocorrência e detecção para cada modo de falha identificado na etapa anterior e, com isso, obtenção do respectivo NPR.
- **Melhoria:** Etapa em que toda a equipe responsável elencará soluções para a melhoria do sistema, bem como, alternativas de mitigação, eliminação ou minimização dos riscos encontrados.

De acordo com Palady (2011) a FMEA, como exposto na Figura 08, caracteriza-se pelo resultado da avaliação de etapas específicas para obtenção dos resultados e respectivos grau de risco que cada falha poderá ocasionar no sistema. Para tal, alguns conceitos são mencionados a seguir para melhor compreensão da metodologia.

- **Função** – Etapa de um projeto ou sistema desempenhada por um produto ou serviço. Deve-se pensar na importância dessa função para a satisfação do usuário;
- **Modos de Falha** – De que forma(s) essas funções podem deixar de cumprir seus objetivos esperados;
- **Efeitos** – Impacto ou consequência que a ocorrência de determinada falha pode causar no cliente;
- **Severidade** – Avaliação da gravidade de um modo de falha. Pode variar de 1 (melhor situação) a 10 (pior situação) dependendo de como o problema é percebido pelo cliente, usuário ou consequência que o mesmo pode sofrer (Tabela 06).

**Tabela 06:** Escala de severidade

<b>Descrição da escala de severidade</b>	<b>Grau</b>
Efeito não percebido pelo usuário.	1
Efeito insignificante, não perturba o usuário.	2
Efeito insignificante, perturba o usuário, mas não o faz com que ele procure o serviço para possíveis reclamações.	3
Efeito insignificante, perturba o usuário, fazendo com que procure o serviço para possíveis reclamações.	4
Efeito menor, inconveniente para o usuário; entretanto, não faz com que ele procure o serviço para possíveis reclamações.	5
Efeito menor, inconveniente para o usuário, fazendo com que ele procure o serviço. Causa moderada quantidade de reclamações.	6
Efeito moderado, que prejudica o desempenho do projeto/sistema levando a uma falha grave ou a uma falha que pode impedir a execução das funções do projeto/sistema e não coloca a segurança do usuário em risco; Pode causar muitas reclamações.	7
Efeito significativo, resultando em falha grave; impõe leve risco a segurança do usuário e não resulta em custo significativo da falha. Causa muitas reclamações.	8
Efeito crítico que provoca a insatisfação do usuário, interrompe as funções do projeto/sistema, gera custo significativo da falha e impõe um moderado risco de segurança (não ameaça a vida nem provoca incapacidade permanente) ao usuário.	9
Perigoso, ameaça à vida ou pode provocar incapacidade permanente ou outro custo significativo da falha que coloca em risco a continuidade operacional da organização ou do sistema. Impacta a saúde pública.	10

Fonte: Palady (2011)

- **Causas** – Qual(is) fator(es) leva(m) a ocasionar tal problema?
- **Ocorrência:** Quantas vezes isto acontece. Tabela 07.
- **Controles:** Quais medidas estão implantadas no sistema para que o modo de falha seja detectado.
- **Detecção:** Posso encontrar a falha antes dela ocorrer? Tabela 07.

Tabela 07: Escala de ocorrência e detecção

DESCRIÇÃO DA ESCALA DE OCORRÊNCIA	FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA	DESCRIÇÃO DA ESCALA DE DETECÇÃO	GRAU
Extremamente remoto ou altamente improvável	Uma ocorrência superior a 10 anos	Certo que será detectado	1
Remoto, improvável	Uma ocorrência entre 5 a 10 anos	Probabilidade muito alta de detecção	2
Pequena chance de ocorrência	Uma ocorrência entre 1 a 4 anos	Alta probabilidade de detecção	3
Pequeno número de ocorrências	De 1 a 6 ocorrências por ano	Chance moderada de detecção	4
Espera-se um número ocasional de falhas	Mais de 6 ocorrências por ano	Chance média de detecção	5
Ocorrência moderada	Uma ocorrência por mês	Alguma probabilidade de detecção	6
Ocorrência frequente	Mais de uma ocorrência por mês	Baixa probabilidade de detecção	7
Ocorrência elevada	Uma ocorrência por semana	Probabilidade muito baixa de detecção	8
Ocorrência muito elevada	Mais de uma ocorrência por semana	Probabilidade remota de detecção	9
Ocorrência certa	Ocorrência diária	Detecção quase impossível	10

Fonte: Palady (2011)

- **RPN: Risk Priority Number** ou **NPR: Número Prioritário de Risco**– É o risco calculado que fica associado ao modo de falha. Conforme mostra a Equação 01.

$$RPN = Severidade \times Ocorrência \times Detecção$$

Equação (01)

- **Ponderação dos Riscos** – Por meio do preenchimento dos escores (severidade, ocorrência e detecção) de cada etapa do SAA, calcula-se a ponderação dos riscos (Equação 02), sendo possível definir o grau de



relevância de cada risco na respectiva etapa do Sistema de Abastecimento de Água.

$$P = \frac{R_1}{\sum_1^n R} \quad \text{Equação (02)}$$

Onde:

P = Ponderação;

$R_1$  = Risco individual;

n = Quantidade de Risco, e;

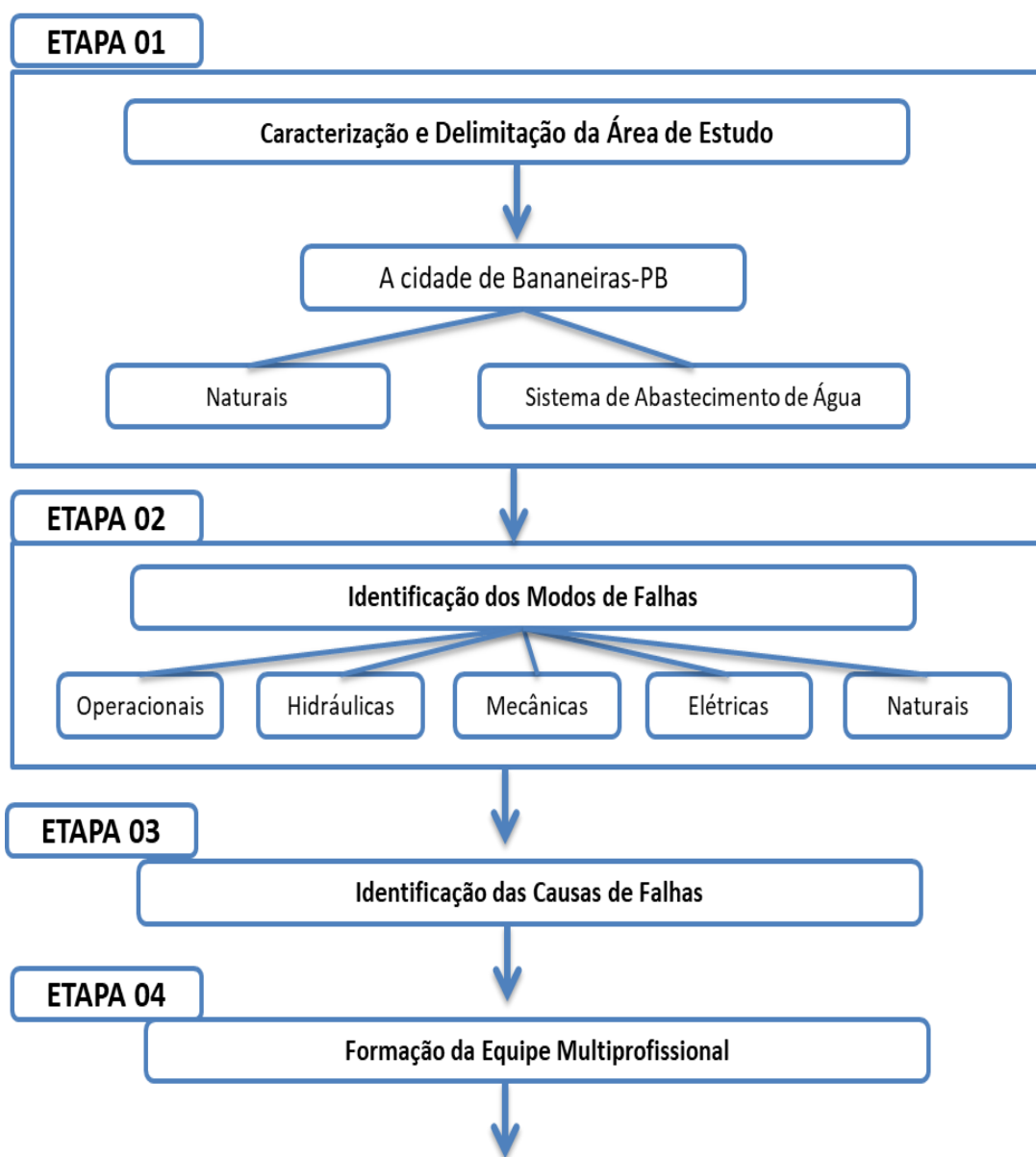
$\sum R$  = *Soma dos Riscos*

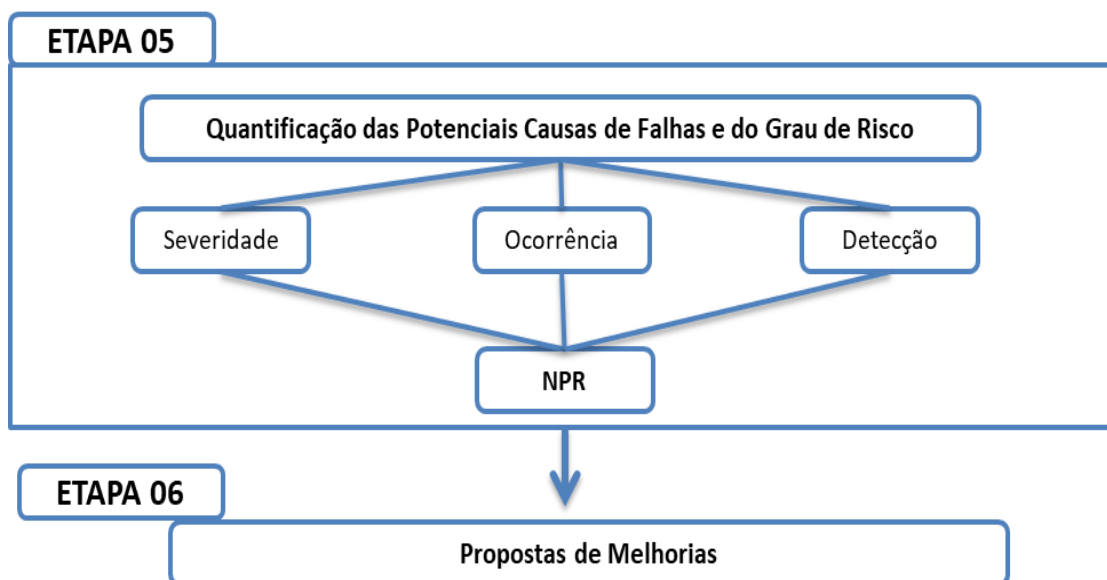
- **Ações Recomendadas** – Quais medidas podem prevenir potenciais problemas, reduzir a severidade, ocorrência ou melhorar a probabilidade de detecção.

### 3 METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se como sendo qualitativa e possui um caráter exploratório, já que visa solucionar um problema específico presente na sociedade. A figura 10 ilustra um croqui esquemático acerca das etapas metodológicas utilizadas na pesquisa.

**Figura 10:** Fluxograma metodológico da pesquisa





Fonte: Autoria própria, 2021.

Aplicou-se a FMEA em todas as etapas do sistema de abastecimento do município de Bananeiras-PB. Analisando os possíveis modos de falhas, bem como suas respectivas causas e consequências. Foi necessária a participação de uma equipe de profissionais ligada à área de recursos hídricos e saneamento ambiental para quantificar as causas das falhas.

A metodologia utilizada está subdividida em Caracterização da Área de Estudo; Identificação dos Modos de Falha; Identificação das Causas de Falha; Identificação dos Efeitos de Falha; Formação da Equipe Multiprofissional; Quantificação das Escalas de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D); Obtenção do Grau de Risco, Ponderação do Risco e Propostas de Melhorias. Os itens estão descritos, detalhadamente, a seguir.

### 3.1 Caracterização e limitação da área de estudo

Na primeira etapa da pesquisa realizou-se um estudo minucioso sobre o sistema de abastecimento de água presente no município de Bananeiras-PB, com informações técnicas, operacionais, desde a etapa de captação até a distribuição para entender, de fato, como funciona o SAA da cidade.

### **3.2 Identificação dos Modos de Falha**

A partir da caracterização da área de estudo foram elencados potenciais modos de falha que cada etapa do sistema está susceptível de acontecer, as quais comprometem sua qualidade, funcionalidade e operabilidade. As falhas podem ser de diversos tipos: hidráulicas, mecânicas, elétricas, naturais, de projeto, de procedimento, etc.

O sistema de abastecimento de água do município de Bananeiras é constituído das seguintes etapas: Captação, Adução, Tratamento, Bombeamento da Água Tratada, Reservação e Distribuição.

### **3.3 Identificação das Causas de Falha**

Para cada modo de falha identificado, há  $n$  causas que, se materializando, comprometem a qualidade do serviço e do produto fornecido à população. Foram destacadas causas que favorecem ao surgimento do respectivo modo de falha.

### **3.4 Formação da Equipe Multiprofissional**

Após o preenchimento dos itens expostos nas etapas anteriores, uma equipe multiprofissional da área de recursos hídricos e saneamento ambiental foi entrevistada, para quantificar o grau de severidade, ocorrência e detecção para cada respectivo modo de falha presente em todas as fases do sistema de abastecimento de água da área em estudo. Cada profissional estava provido de informações acerca do SAA, bem como de seus conhecimentos acadêmicos e profissionais no estudo em questão.

### **3.5 Quantificação das Escalas de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D)**

Para cada escala de S, O, D, utilizou-se a tabela elaborada por Palady (2011) em que descreve cada item, mencionado anteriormente, e os quantifica numa escala de 0 (zero) a 10 (dez).

### **3.5.1 Escalas de Importância**

Entende-se por grau de severidade a probabilidade dela ser identificada e causar prejuízo ao sistema. A Tabela 06 foi utilizada para o preenchimento da planilha FMEA. Essa escala mensura a gravidade de um modo de falha. Pode variar de 1 (melhor situação) a 10 (pior situação) dependendo de como o problema é percebido pelo usuário ou a consequência que o mesmo pode vir a sofrer.

O grau de ocorrência (O) está relacionado à frequência que um modo ou causa de falha pode ocorrer, varia de 1 (melhor situação – altamente improvável) a 10 (pior situação – ocorrência certa). A escala de Detecção (D) está atrelada à chance ou desempenho que o controle tem de detectar o modo de falha, variando de 1 (melhor situação – quase certo que será detectado) a 10 (pior situação – detecção quase impossível). A Tabela 07 foi utilizada para quantificar as Escalas de O e D.

### **3.6 Obtenção do Grau de Risco**

O grau de risco (NPR) é o produto entre S, O e D. Por meio do valor numérico, permite-se ranquear as respectivas causas de falhas que podem vir a ocorrer em cada fase do SAA. Quanto maior for o NPR, maior é a probabilidade de ocorrência daquela falha. Para o cálculo do risco utilizou-se a Equação 01.

### **3.7 Proposta de melhorias**

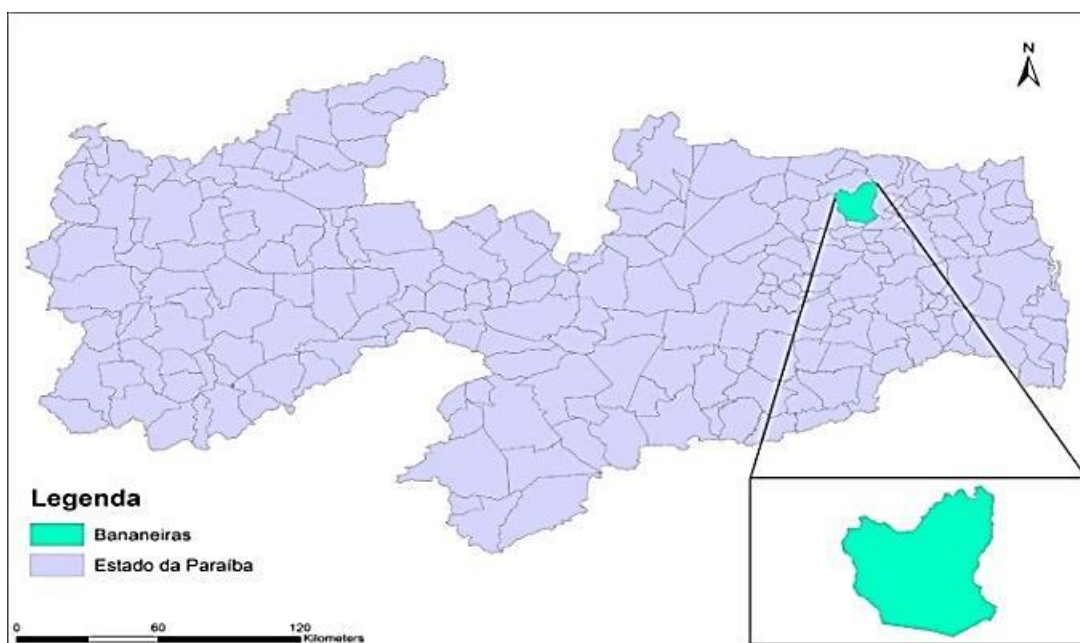
Nesta etapa objetivou-se elencar, por meio de propostas, melhorias no sistema de abastecimento de água do município, a fim de contribuir na universalização do serviço. Estas melhorias podem ser no âmbito operacional, mecânica, gestão do recurso hídrico, inclusão de fontes alternativas de abastecimento de água até criação dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização da área de estudo

Bananeiras localiza-se na microrregião do Brejo e na mesorregião do Agreste Paraibano, situada a 137,5 km de distância da Capital do Estado (Figura 11).

**Figura 11:** Localização geográfica do município de Bananeiras



Fonte: Autoria Própria (2021)

Foi criado em 1883 e tem uma extensão territorial de 257,753km<sup>2</sup>. De acordo com o último Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2010, possuía 21.851 habitantes e uma população estimada de 21.318 pessoas (IBGE, 2019). A densidade demográfica da cidade é de 84,72hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2010).

Encontra-se inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Curimataú e seus principais tributários são os rios: Curimataú, Dantas e Picadas, além dos riachos: Sombrio e Carubeba. A oferta hídrica advém do Açude Canafístula II, situada no município de Borborema-PB. A adução é feita por meio do Sistema Produtor Integrado Cacimba de Várzea/Canafístula II, a qual também auxilia no

fornecimento de água dos municípios de Solânea, Cacimba de Dentro, Damião, Araruna, Riachão, Dona Inês e Tacima. Administrativamente, a CAGEPA (Companhia de Água e Esgoto da Paraíba) exerce a operação e manutenção do serviço de abastecimento de água potável e esgotamento sanitário do município.

O SAA de Bananeiras é composto pela captação de água por meio de manancial superficial; sistema de adução de água bruta; estação de tratamento de água; reservatório de acumulação e distribuição de água tratada; estação elevatória de água tratada e; rede de distribuição.

De acordo com os dados fornecidos pela Subgerência do Brejo da CAGEPA, o SAA de Bananeiras é caracterizado por apresentar duas estações elevatórias de água bruta (EEAB), sendo que, da captação no manancial até a ETA, a adução é realizada por bombeamento em tubulação de ferro fundido e DN 400mm. O tratamento é realizado na ETA do tipo convencional. Após essa etapa, a água tratada chega ao Reservatório de Distribuição (R00), onde uma parcela da cidade é atendida.

Após o R00, parte do recurso hídrico é bombeado para uma estação elevatória de água tratada (EEAT1) para atender as áreas situadas nas cotas topográficas superiores ao R00, garantindo pressão e quantidade adequadas aos usuários. Chegando à EEAT1, a água é armazenada em mais dois reservatórios elevados (R01 e R02). Do R01 ao R02 a tubulação também é de ferro fundido, porém com DN de 150mm.

Como Bananeiras está localizada em uma região de planaltos, após o R02 há uma nova estação elevatória de água de água tratada (EEAT2), a qual permite atender os usuários situados nas regiões mais altas da cidade, a reservação e regularização da pressão é realizada pelo R03. O Diâmetro Nominal (DN) de EEAT2 até R03 é de 75 mm.

#### **4.2 Formação da Equipe de Profissionais e Construção da Planilha FMEA**

O formulário FMEA, apresentado no apêndice, para o SAA do município de Bananeiras-PB, foi preenchido por meio de uma amostra de profissionais técnicos da área de recursos hídricos e saneamento. Desde funcionários da

empresa que gerencia o serviço de abastecimento de água, engenheiros civis e professores universitários.

Servindo como arcabouço tanto para a construção da planilha quanto para melhor compreensão da realidade do sistema, foram dispostas informações extras, como as contidas no Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), dados da AESA e CAGEPA, bem como de relatos da população que reside no município, haja vista que, são eles os principais usuários beneficiados do serviço prestado pelas companhias de saneamento básico e, conhecem, minuciosamente, a realidade do ambiente

Analisaram-se os riscos presentes no produto (a água) e de processo (todas as etapas do SAA – transporte e manejo), sendo os resultados obtidos apresentados a seguir. Sendo assim, procurou-se identificar possíveis falhas e perigos que viessem a comprometer a qualidade do produto e a má operabilidade do sistema. Para isso, as etapas do SAA estudadas foram: Captação, Adução, Tratamento, Elevação de Água Tratada, Reservação e Distribuição.

No preenchimento dos índices de Severidade, Ocorrência e Detecção agrupou-se um rol de profissionais ligados à área de recursos hídricos e saneamento ambiental, pessoas que estivessem diretamente envolvidas com a operação ou gestão das etapas de um SAA. Fez parte desse grupo funcionários da Companhia de Água e Esgoto do Estado da Paraíba (CAGEPA), professores universitários e engenheiros civis. No total, contou-se com a colaboração de onze participantes. Eles quantificaram para cada potencial modo de falha seu respectivo grau de ocorrência, severidade e detecção.

Todos receberam instruções e treinamento de como funciona a metodologia FMEA, sua importância, seus objetivos, sua finalidade, a forma apropriada de preenchimento da planilha, bem como todos os conhecimentos necessários do SAA de Bananeiras-PB. A Tabela 08 expõe a rol de profissionais que participaram da pesquisa.



**Tabela 08:** Composição da equipe para o preenchimento da planilha FMEA

<b>FUNÇÃO</b>	<b>GRAU ACADÊMICO</b>	<b>QUANTIDADE</b>
Técnico Operacional da Companhia de Água e Esgoto do Estado da Paraíba (CAGEPA)	Superior Completo	02
Engenheiro Civil (atuação na área de recursos hídricos e saneamento).	Superior Completo	01
	Mestrado	02
	Doutorado	04
Professor Universitário (atuação na área de recursos hídricos e saneamento).	Doutorado	02
<b>TOTAL:</b>		<b>11</b>

Fonte: Do autor (2021)

Para cada modo de falha das etapas do sistema, definiram-se causas que podem provocar a interrupção e comprometer a qualidade do serviço e do produto fornecido aos usuários de Bananeiras-PB. Os profissionais quantificaram os modos de falha, segundo o grau de S, O e D, presentes nas Tabelas 06 e 07.

Após o preenchimento, observou-se, por meio de tratamentos estatísticos que, houve grande variabilidade dos dados coletados. A fim de convergir às informações para um valor de medida central, foi utilizada a mediana de cada grau de S, O e D, dos respectivos modos de falhas.

Por fim, com os valores da mediana de Severidade, Ocorrência e Detecção, realizou-se o produto entre os três para então encontrar o grau de risco (NPR) de cada potencial causa de falha.

### **4.3 Determinação dos Índices e Grau de Risco (NPR)**

#### **4.3.1 Captação**

Compondo a primeira etapa do sistema de abastecimento de água do município de Bananeiras-PB, por meio da FMEA, na captação verificou-se quais os possíveis potenciais modo(s) de falha, com respectivas causa(s) e consequência(s), as quais apresentam probabilidade de materialização,

comprometendo a operabilidade e qualidade do sistema e da água ofertada à população.

Para cada potencial causa de falha quantificou-se seu respectivo grau de severidade, ocorrência e detecção, para então, calcular o risco (NPR). O resultado encontrado está exposto na Tabela 09.

**Tabela 09:** FMEA da etapa de captação do SAA de Bananeiras-PB

ETAPA	MODO DE FALHA	POTENCIAL CAUSA DE FALHA	S	O	D	NPR
<b>1. CAPTAÇÃO</b>	1.1 Ausência do recurso hídrico	1.1.1 Eventos de seca prolongados	9	3	2	54
		1.1.2 Deterioração da qualidade da água dos corpos hídricos subterrâneos e superficiais	9	4	2	72
		1.1.3 Aumento da demanda hídrica	7	3	2	42
		1.1.4 Má gestão do recurso hídrico	8	7	4	224
	1.2 Manutenção inadequada dos dispositivos de captação	1.2.1 Ausência de equipe especializada	6	5	4	120
		1.2.2 Ausência de medidas preventivas	6	8	4	192
	1.3 Elevada concentração de organismos patogênicos no manancial e/ou presença de cianobactérias	1.3.1 Presença de fonte poluidora ou de contaminação (pontual ou difusa) próximas ao manancial	10	6	4	240
		1.3.2 Utilização de agrotóxicos em culturas próximas ao reservatório. Indústria, urbanização, ausência de saneamento básico.	10	7	4	280
		1.3.3 Sinais de eutrofização	10	3	3	90
	1.4 Presença de material sólido grosseiro	1.4.1 Disposição inadequada de resíduos sólidos próximos ao manancial	6	5	3	90

Fonte: Autoria própria (2021).

De acordo com os resultados obtidos, na etapa de captação, o modo de falha que apresentou maior probabilidade de surgimento foi o item 1.3 (elevada concentração de organismos patogênicos no manancial e/ou presença de cianobactérias), correspondendo a 41,67% do risco total presente nessa etapa do SAA. Este fator pode estar atrelado à presença de fontes poluidoras (pontuais ou difusas) próximas ao corpo hídrico, como também a ocorrência de atividades agrícolas e pecuárias e a ausência de saneamento. Corrêa e Ventura (2020) relatam que esse modo de contaminação se dá, por exemplo,

pela utilização de agrotóxicos e fertilizantes próximos do manancial, presença de excrementos de animais e/ou humanos em torno da fonte, falta de proteção em torno do manancial fazendo com que haja a presença de indivíduos no local, ausência de sinalização de avisos, dentre outros.

Vale destacar que, segundo os entrevistados, o grau de severidade obteve o índice mais elevado, classificando o evento como sendo perigoso, o qual ameaça à vida ou pode provocar incapacidade permanente ou outro custo significativo da falha que coloca em risco a continuidade operacional da organização ou do sistema que impacta a saúde pública.

O segundo maior risco encontrado na etapa de captação foi o registrado no modo de falha 1.1 - Ausência do recurso hídrico, correspondendo a uma probabilidade de 26,78%. Destaca-se nesse item que o potencial causa de falha de maior índice foi o 1.1.4 - Má gestão do recurso hídrico, com NPR = 224. Esse problema já é uma realidade no município. Segundo dados da Agência Executiva de Gestão das Águas no Estado da Paraíba (AESAs) o açude que abastece Bananeiras apresenta um volume de água reservada de apenas 120.387 m<sup>3</sup>, correspondendo a 2,93% da sua capacidade máxima de acumulação. Esses fatores geram graves consequências aos usuários como racionamento hídrico, diminuição da oferta hídrica e impactos econômicos ao local.

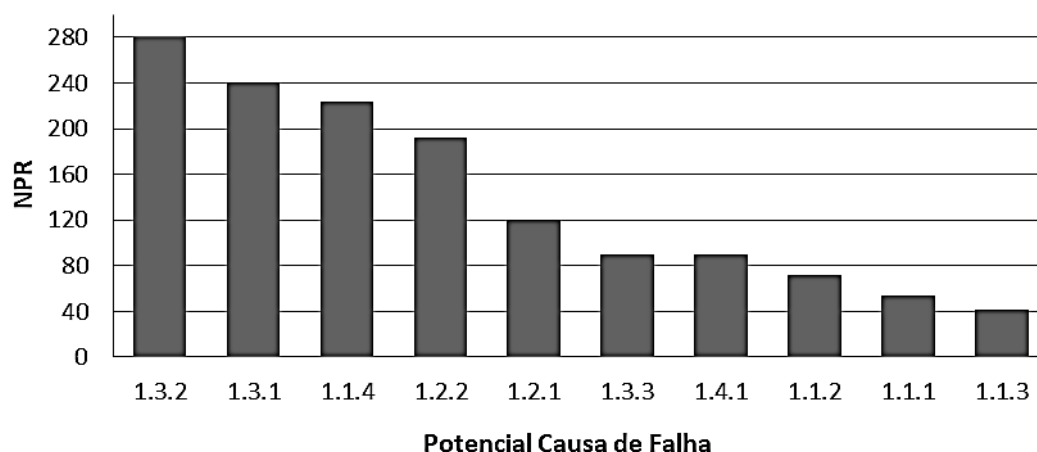
Este risco, de fato, já é consolidado, prejudicando os usuários do SAA os quais enfrentam intermitência no serviço. Atualmente, de acordo com a companhia de abastecimento (CAGEPA), responsável pelo fornecimento de água à população, o abastecimento do município de Bananeiras é feito através do racionamento hídrico, em que os usuários recebem água quinzenalmente, sendo cinco dias de abastecimento por quinze de racionamento. A companhia afirma que esta medida tem por objetivo evitar o colapso hídrico do corpo hídrico.

Desde meados da década passada, a região Nordeste vem enfrentando eventos consecutivos de seca. Nessa vertente inclui-se a região do brejo paraibano, em que os índices pluviométricos registrados estão abaixo da média histórica dificultando, assim a capacidade dos mananciais de se recuperarem e possibilitar o armazenamento de água neles.

De acordo com Silva e Samora (2019) a junção de baixos índices de chuva, gerenciamento inadequado dos recursos hídricos, ocupação irregular das áreas produtoras de água e o crescimento urbano ao longo das últimas décadas, são fatores que propiciam a materialização de uma crise hídrica em municípios, gerando impactos econômicos, sociais e ambientais.

A Figura 12 retrata o gráfico decrescente de todas as potenciais causas de falhas (PCF) e seu respectivo Número Prioridade de Risco (NPR).

**Figura 12:** Número Prioridade de Risco (NPR) da etapa de captação



Fonte: Autoria própria, 2021.

Observa-se o ranqueamento da etapa de captação. Ou seja, quais as PCF necessitam de maior prioridade a fim da não interrupção do sistema. Como já mencionado anteriormente, os riscos envolvendo poluição do manancial e sua gestão são os que apresentam maior valor.

#### 4.3.2 Adução

A segunda etapa de estudo corresponde à adução. Para ela, identificou-se oito possíveis modos de falha que podem ocorrer e, conseqüentemente, prejudicar a operabilidade do sistema e a oferta de água aos usuários. Também, para cada um deles, elencou-se os possíveis modos de falhas, para os quais o NPR foi calculado. O resultado está presente na Tabela 10.

**Tabela 10:** FMEA da etapa de adução do SAA de Bananeiras-PB

ETAPA	MODO DE FALHA	POTENCIAL CAUSA DE FALHA	S	O	D	NPR
<b>2. ADUÇÃO</b>	2.1 Vazão de captação insuficiente para atender as demandas	2.1.1 Aumento da demanda	7	4	4	112
		2.1.2 Período de Estiagem Prolongado	7	3	2	42
		2.1.3 Subdimensionamento do sistema	7	3	5	105
		2.1.4 Ausência de investimentos para ampliação do sistema	6	5	3	90
	2.2 Rompimento da adutora	2.2.1 Pressão elevada	7	3	3	63
		2.2.2 Corrosão dos tubos	6	3	5	90
		2.2.3 Furtos	5	5	5	125
		2.2.4 Fadiga dos tubos	5	3	6	90
	2.3 Interrupção do bombeamento de água à ETA	2.3.1 Defeitos mecânicos e elétricos	6	5	5	150
		2.3.2 Ausência de manutenção regular do conjunto motor-bomba	6	5	4	120
		2.3.3 Furtos de equipamentos	5	4	3	60
	2.4 Ausência de manutenção preventiva da adutora	2.4.1 Ausência de uma gestão preventiva	5	7	4	140
	2.5 Ausência de bomba reserva	2.5.1 Defeito na bomba reserva	6	4	3	72
		2.5.2 Não aquisição de uma segunda bomba para fins de prevenção (reserva)	5	3	2	30
	2.6 Esvaziamento da adutora	2.6.1 Defeito do conjunto motor-bomba	7	4	3	84
		2.6.2 Pane elétrica	7	3	3	63
		2.6.3 Presença de sólidos grosseiros no interior da tubulação	6	3	6	108
		2.6.4 Manutenção periódica	4	4	5	80
		2.6.5 Rompimento da adutora	7	3	2	42
	2.7 Presença de obstáculos internos (sólidos grosseiros) na adutora	2.7.1 Ausência de unidades de gradeamento e desarenação	4	3	2	24
2.8 Mau estado de conservação dos dispositivos de tomada	2.8.1 Mau uso e conservação dos equipamentos.	5	5	4	100	
	2.8.2 Ausência de manutenção preventiva	5	6	3	90	

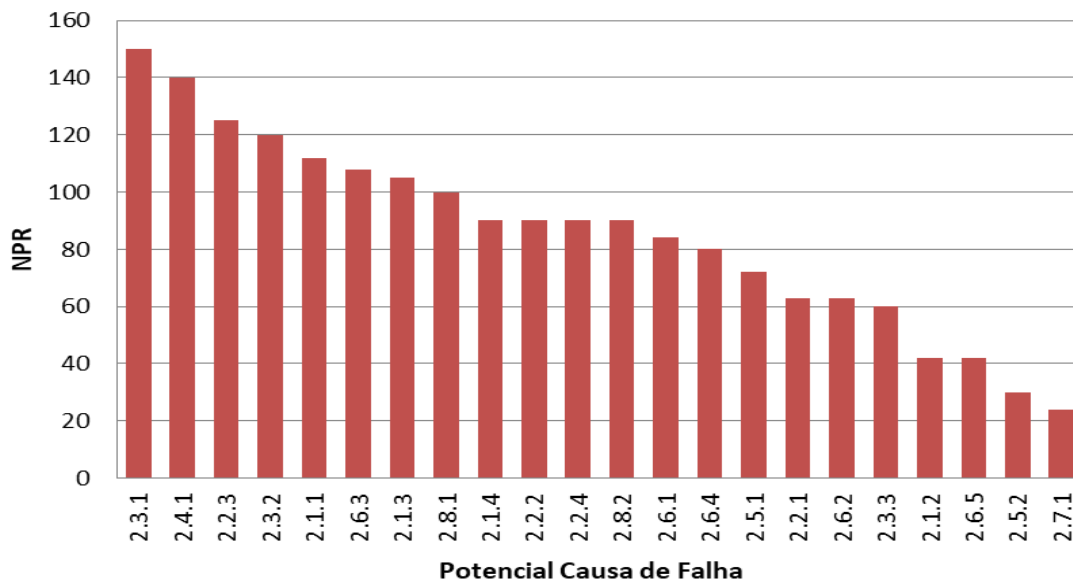
Fonte: Autoria própria (2021).

Na adução elencou-se oito possíveis modos de falha, ou seja, situações em que, havendo a sua ocorrência pode culminar na interrupção do serviço, bem como na qualidade do produto ofertado aos usuários. Para cada um deles estabeleceu-se respectivos potenciais de causa de falha e seus efeitos (consequências).

Destacam-se os itens: 2.3.1 - Defeitos mecânicos e elétricos (NPR = 150), 2.4.1 Ausência de uma gestão preventiva (NPR = 140) e 2.2.3 - Furtos

(NPR = 125). Juntos, os três correspondem a 44,57% dos possíveis modos de falha que podem surgir nessa etapa do sistema de abastecimento de água (Figura 13). Esses fatores levam o usuário a fazer reclamações

**Figura 13:** Número Prioridade de Risco (NPR) da etapa de adução



Fonte: Autoria própria, 2021.

Os furtos podem provocar interrupção no serviço, acidentes, prejuízos financeiros à companhia de abastecimento de água. Além disso, outras medidas preventivas podem ser incrementadas ao sistema, tais como àquelas relacionadas à automatização do SAA; manutenção periódica; realização e verificação recorrente das bombas, levando em consideração aspectos como engaxetamento, temperatura, vibrações e aceleração dos mancais; maior fiscalização por parte dos funcionários da empresa a fim de evitar ou minimizar possíveis furtos de água; controle de acionamentos e desligamentos de bombas.

#### 4.3.3 Tratamento – ETA

Após a etapa de adução, o recurso hídrico chega à Estação de Tratamento de Água (ETA) compondo, assim, a terceira fase do SAA. Segundo a Tabela 11 foram identificados oito possíveis modos de falhas que podem ocorrer nas subetapas que compõem a ETA. Assim, como nas anteriores, para cada causa de falha quantificou-se a severidade, ocorrência e detecção a fim

de calcular o grau de risco. Para esta etapa um dos membros da equipe avaliadora não se sentiu apto para preencher a tabela, totalizando dez respostas dos entrevistados.

**Tabela 11:** FMEA da etapa de tratamento do SAA de Bananeiras-PB

ETAPA	MODO DE FALHA	POTENCIAL CAUSA DE FALHA	S	O	D	NPR
3. T R A T A M E N T O	3.1 Recebimento de água com turbidez elevada	3.1.1 Falha no monitoramento na etapa de captação	6	5	4	120,0
		3.1.2 Falha no sensor de turbidez: não calibrado ou danificado	3,5	4	4,5	63,0
	3.2 Recebimento de água com contaminação química ou biológica	3.2.1 Ausência ou ineficiência no monitoramento na captação, fazendo com que a ETA não esteja apta ou capacitada ao tratamento adequado da água captada	6,5	4	4	104,0
	3.3 Controle inadequado da dosagem do coagulante. (Baixa coagulação no tratamento)	3.3.1 Falha no dosador de coagulante - rompimento ou entupimento da tubulação	5,5	3	3,5	57,8
		3.3.2 Operação do processo sem o controle adequado dos mecanismos de coagulação mais apropriados à qualidade e à tecnologia de tratamento empregada	5	5	5	125,0
		3.3.3 Pane elétrica	6	3	3	54,0
	3.4 Falta de energia	3.4.1 Incêndio	7	2	2	21,0
		3.4.2 Fenômenos climáticos extremos	6,5	3	2	32,5
		3.4.3 Ausência de gerador reserva	4,5	4	2,5	45,0
	3.5 Falha no processo de floculação	3.5.1 Tempo de detenção inadequados, propiciando o surgimento de zonas mortas (curtos-circuitos)	5,5	3	5	82,5
		3.5.2 Dificuldade de variar os gradientes de velocidade, de acordo com as variações da qualidade da água bruta e de vazões.	5,5	5	5	123,8
		3.5.3 Gradiente de velocidade inadequado nas câmaras e na passagem entre elas	5	5	6,5	162,5
		3.5.4 Tempo de detenção abaixo do mínimo do qual as taxas de agregação e erosão se equivalem, reduzindo substancialmente a eficiência da floculação.	5,5	4	5	96,3

	3.5.5 Baixo número de câmaras, favorecendo o surgimento do efeito curto-circuito.	5,5	3	4	55,0
	3.5.6 Alteração no mecanismo de floculação. Principalmente a ortocinética.	5	3	5,5	82,5
3.6 Falha na operação do decantador quanto as variações de qualidade de água e de vazões	3.6.1 Sobrecarga dos decantadores	3,5	4	5,5	77,0
	3.6.2 Má limpeza dos decantadores	3,5	5	3,5	61,3
	3.6.3 Arraste de flocos	3	5	4	60,0
	3.6.4 Coleta desigual de água decantada por desnivelamento dos vertedores ou bordas das calhas de coleta de água tratada	3	4	5	52,5
	3.6.5 Gradiente excessivo na conexão floculador-decantador e nas estruturas de entrada do decantador, com possibilidade de ruptura dos flocos	3	4	5	60,0
	3.6.6 Favorecimento de zonas mortas ou curtos-circuitos; distribuição desigual da água floculada para os decantadores, por deficiência do canal de distribuição, ou da cortina distribuidora.	3	3	5,5	49,5
3.7 Falha no processo de filtração	3.7.1 Formação de bolhas de ar e de lodo no interior do leito filtrante	2,5	4	4,5	39,4
	3.7.2 Formação de caminhos preferenciais da água	2	3	5,5	33,0
	3.7.3 Riscos de picos de turbidez e traspasse de cistos e oocistos de protozoários	3,5	4	5,5	67,4
	3.7.4 Controle inadequado da operação pós-lavagem	3	5	5	75,0
	3.7.5 Deficiência na lavagem dos filtros	3,5	5	4	63,0
	3.7.6 Material filtrante inadequado	3,5	4	5	70,0
	3.7.7 Má operabilidade do sistema por parte dos funcionários	2	4	5,5	44,0
	3.7.8 Taxa de filtração inadequada	3	3	5,5	49,5
	3.7.9 Granulometria do leito filtrante inadequado à qualidade da água e à técnica de tratamento empregada.	1,5	3	5,5	24,8
3.8 Falha no processo de	3.8.1 Local inadequado de aplicação do cloro	6	3	5,5	99,0



desinfecção	3.8.2 Controle ineficiente da dosagem do cloro	8,5	5	5	212,5
	3.8.3 Estado de conservação dos equipamentos de dosagem	5	4	4	80,0
	3.8.4 Ausência ou insuficiência do controle residual desinfetante	6,5	5	3,5	113,8
	3.8.5 pH de desinfecção insatisfatório	9	5	3,5	141,8
	3.8.6 Falha de projeto ou dispositivos de dosagem de desinfecção	7,5	5	5	168,8

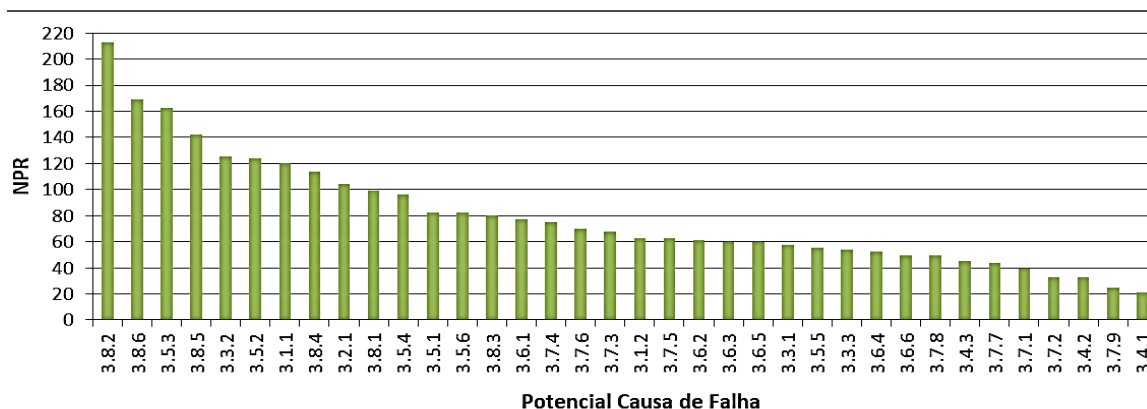
Fonte: Autoria própria (2021)

Para a fase de tratamento os maiores riscos estão presentes na etapa de desinfecção, sendo a maior potencial causa de falha o item 3.8.2 - Controle ineficiente da dosagem do cloro, com NPR=212,5, seguido do 3.8.6 - Falha de projeto ou dispositivos de dosagem de desinfecção, com NPR = 168,8. A probabilidade de fatores que comprometam a operabilidade do sistema e a qualidade do produto ofertado ao usuário equivale a 28,46% no processo de desinfecção. Lucena (2018) obteve para esse mesmo modo de falha o equivalente a 20,18% para a zona rural de Campina Grande-PB. Já para o SAA estudado por Araújo Júnior (2016) obteve-se uma ponderação de risco relacionada à etapa de cloração de 26,55%, em Belém-PA. Ogata (2011) estudou a rede urbana de abastecimento de água de Campina Grande-PB e obteve um valor de 23,84% para esse mesmo risco

Em segundo lugar ficou o item correspondente a falha no processo de coagulação, obtendo 21,02% dos riscos. Destaca-se o subitem 3.5.3 - Gradiente de velocidade inadequado nas câmaras e na passagem entre elas – NPR = 162,5 com maior grau de risco na etapa de coagulação. Quando a coagulação apresenta defeito, pode ocorrer a passagem de partículas poluentes/coloidais (impurezas), prejuízo ao desempenho do tratamento necessidade de descarte da água, diminuição da vida útil dos filtros, perda de materiais consumidos no tratamento, parada de produção. Para isso mecanismos que podem garantir a efetividade e eficácia da etapa de coagulação de uma ETA estão relacionadas às medidas como determinação da quantidade do coagulante necessário para realizar a separação dos poluentes; automatização do serviço de coagulação e solução e homogeneização adequadas do coagulante, nos tanques de preparo.

A Figura 14 descreve, em forma gráfica, o valor de NPR para cada PCF, ranqueando-o de maneira decrescente. Isso permite enxergar quais riscos apresentam maior chance de materialização na etapa de tratamento.

**Figura 14:** Número Prioridade de Risco (NPR) da etapa de tratamento



Fonte: Autoria própria, 2021.

De acordo com o último relatório levantado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2019) no município de Bananeiras a incidência das análises de cloro residual fora do padrão chegou ao patamar de 55,4%, valor este considerado elevado, corroborando com possíveis ineficiências de operabilidade na ETA. Essa patologia prejudica o teor residual de cloro presente na rede de distribuição, impedindo que haja um grau maior de proteção da água na medida em que ela sai da estação de tratamento até chegar ao usuário final.

O terceiro caso na classificação de prioridade de risco diz respeito ao item 3.5 (Falha no processo de floculação), o subitem 3.5.3 (Gradiente de velocidade inadequado nas câmaras e na passagem entre elas). No floculador inicia-se a etapa de potabilização da água, onde há a formação dos flocos de acordo com a taxa de coagulantes.

O aumento dos teores de cor e turbidez presente na água oriunda da captação prejudica ainda mais a etapa de floculação em virtude da elevada concentração populacional de algas. Brasil (2006) afirma que a grande quantidade desses organismos prejudica a realização da fotossíntese em ambientes aquáticos, por haver redução na profundidade de penetração dos raios solares. Esse fenômeno acentua-se no período de circulação de lagos e

represas, que para a nossa região de clima tropical acontece, preponderantemente nos meses de inverno. Tal malefício tem a probabilidade de propagar-se para as etapas de reservação e distribuição.

Este mesmo problema proporciona a alteração do pH o que dificulta a formação dos flocos. Consequentemente, as algas, na etapa de decantação impedem a sedimentação dos flocos, diminuindo a eficiência do processo. Já na filtração elas possuem a capacidade de entupir o leito filtrante, impondo que haja maior frequência de lavagem dos filtros, reduzindo a eficiência do processo operacional (BRASIL, 2006)

#### 4.3.4 Elevação da Água Tratada

Finalizada a etapa de potabilização, a água é transportada, por bombeamento, a reservatórios elevados, com o objetivo de atender aos usuários em quantidade adequada. Nessa fase foi listado um único modo de falha, o qual apresentou quatro causas que podem provocar a intermitência ou anulação do serviço. O grau de risco e os índices de S, O e D estão relatados na Tabela 12.

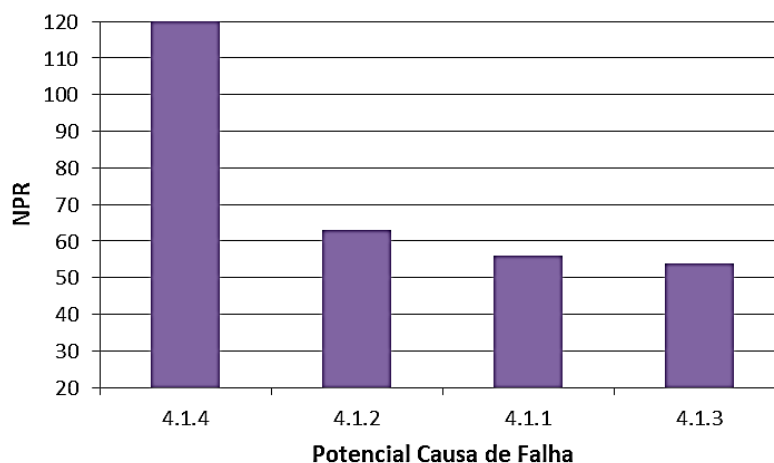
**Tabela 12:** FMEA da etapa de elevação da água tratada do SAA de Bananeiras-PB

ETAPA	MODO DE FALHA	POTENCIAL CAUSA DE FALHA	S	O	D	NPR
<b>4. ELEVAÇÃO ÁGUA TRATADA</b>	4.1 Falha no Bombeamento	4.1.1 Falta de energia – concessionária ou problema interno	7	4	2	56
		4.1.2 Pane no conjunto motor-bomba	7	3	3	63
		4.1.3 Não acionamento de válvulas	6	3	3	54
		4.1.4 Problema de software ou acionamento remoto, para o caso de sistemas automatizados.	6	5	4	120

Fonte: Autoria própria (2021).

A Figura 15 ilustra, em nível de prioridade, o valor do risco encontrado para cada PCF.

**Figura 15:** Número Prioridade de Risco (NPR) da etapa de elevação da água tratada



Fonte: Autoria própria, 2021.

Nessa etapa o modo de causa 4.1 - Falha no Bombeamento, observou-se na Tabela 14 que o maior valor de potencial causa foi encontrado no subitem 4.1.4 - Problema de software ou acionamento remoto, para o caso de sistemas automatizados (NPR = 120), correspondendo a 40%, comprometendo a funcionalidade de todo o maquinário presente nessa etapa, impedindo que a água tratada seja armazenada nos reservatórios de distribuição. Ao item 4.1.1 - Falta de energia – concessionária ou problema interno, sugere-se a instalação de gerador auxiliar. Se tratando de pane conjunto motor-bomba, recomenda-se manutenção preventiva e verificações periódicas nos equipamentos (SANTOS, 2018). Para essa etapa do SAA, o maior índice de chance de falha está relacionado aos problemas elétricos do conjunto motor-bomba (35,56%).

#### 4.3.5 Reservação

Após o lançamento da água tratada para reservatórios elevados, outra fase importante do SAA está ligada a reservação, onde há o armazenamento do recurso hídrico e posterior distribuição aos usuários. Esse processo permite que o abastecimento ocorra de forma regular, atendendo a todas as demandas, sobretudo nos horários de pico. Sendo assim, também realizou-se sua FMEA. Na tabela 13 é possível identificar quatro modos de falhas e suas respectivas

potenciais de causa. Classificou-se quantitativamente os índices de severidade, ocorrência e detecção para posterior valor do grau de risco.

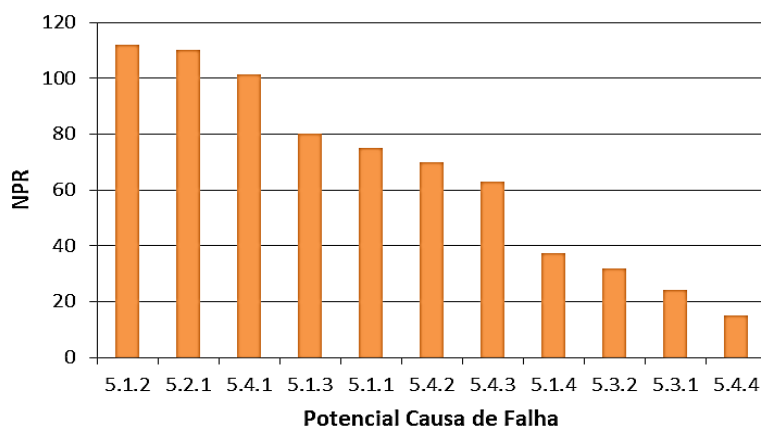
**Tabela 13:** FMEA da etapa de reservação do SAA de Bananeiras-PB

ETAPA	MODO DE FALHA	POTENCIAL CAUSA DE FALHA	S	O	D	NPR
5. R E S E R V A Ç Ã O	5.1 Estado de conservação do reservatório insatisfatório	5.1.1 Elementos estruturais subdimensionados	6	3	5	75
		5.1.2 Precário estado de conservação e manutenção da estrutura	7	4	4	112
		5.1.3 Tubulações mal instaladas ou com desgaste	4	4	5	80
		5.1.4 Ausência de impermeabilização na fundação	2,5	3	6	37,5
	5.2 Contaminação ou alteração da qualidade da água	5.2.1 Entrada de materiais orgânicos e inorgânicos decorrente da não vedação adequada do reservatório	5	4	5,5	110
	5.3 Extravasamento	5.3.1 Sensor de nível descalibrado ou danificado	2	4	3	24
		5.3.2 Válvula com defeito	2	4	4	32
	5.4 Esvaziamento	5.4.1 Sensor de nível descalibrado ou danificado	5	5	4,5	101,3
		5.4.2 Válvula com defeito	5	4	3,5	70
		5.4.3 Falta de energia	6	4	3	63
		5.4.4 Ausência do conjunto motor-bomba	5	3	1	15

Fonte: Autoria própria (2021).

A Figura 16 detalha em nível de prioridade, o valor do risco encontrado para cada PCF da reservação.

**Figura 16:** Número Prioridade de Risco (NPR) da etapa de reservação



Fonte: Autoria própria, 2021.

O item 5.1 - Estado de conservação do reservatório insatisfatório apresentou maior probabilidade de risco (42,31%) para a etapa de reservação, destacando-se o subitem 5.1.2- Precário estado de conservação e manutenção da estrutura - com o maior NPR (112), o qual potencializa o surgimento de vazamentos no reservatório, comprometendo não apenas quantitativamente, mas também qualitativamente a água reservada. Medidas como o melhoramento dos procedimentos de manutenção e operação do reservatório; controle ativo de vazamentos; velocidade e qualidade dos reparos; gerenciamento de pressão e da infraestrutura são alternativas que previnem o surgimento da falha.

O tópico 5.2 - Contaminação ou alteração da qualidade da água, apresentou maior grau de risco, Brasil (2006) comenta que uma das principais preocupações está relacionada à probabilidade de alguns organismos, sobretudo as algas, de fixar-se nas paredes do reservatório, comprometendo a potabilidade da água oriunda da ETA. Esse fator pode acarretar doenças de veiculação hídrica. Outros fatores podem estar associados para a deterioração da qualidade da água reservada, conforme está descrito no subitem 5.2.1 - Entrada de materiais orgânicos e inorgânicos decorrente da não vedação adequada do reservatório.

O subitem 5.4.1 - Sensor de nível descalibrado ou danificado – é um fator prejudicial ao fornecimento de água potável aos usuários, proporcionando tanto o desperdício quando a ausência do recurso hídrico na reservação, falha esta considerada grave. No estudo de Santos (2018), para um sistema de abastecimento de água, este risco foi o potencial causa de falha que apresentou maior probabilidade de risco (28,55%). Ele sugere a manutenção preventiva e verificações periódicas nos equipamentos a fim de não haver prejuízo aos consumidores e garantir a qualidade do serviço e do produto ofertados à população.

#### **4.3.6 Distribuição**

A etapa final do sistema de abastecimento de água consiste na distribuição, quando a água dos reservatórios é lançada na rede até chegar ao

consumidor final. A FMEA de distribuição constatou onze possíveis modos de falha que podem comprometer a funcionalidade do sistema e prejudicar o fornecimento de água aos usuários em qualidade e quantidade adequadas.

A Tabela 14 retrata falhas que permeiam anomalias na pressão da rede de água, rupturas, vazamentos, erros operacionais, problemas hidráulicos, químicos, físicos, chegando até mesmo na própria capacidade da rede em preservar a potabilidade da água. Por fim, houve o cálculo do grau de risco envolvendo cada potencial causa de falha.

**Tabela 14:** FMEA da etapa de distribuição do SAA de Bananeiras-PB

ETAPA	MODO DE FALHA	POTENCIAL CAUSA DE FALHA	S	O	D	NPR
<b>6. D I S T R I B U I Ç Ã O</b>	6.1 Pressões excessivas	6.1.1 Sensor de pressão descalibrado ou danificado;	7	5	4	126
		6.1.2 Válvula Redutora de Pressão (VRP) desregulada, danificada ou com acúmulo de sujeira	7	5	5,5	173,3
	6.2 Pressões reduzidas	6.2.1 Booster com defeito	4,5	4	4,5	81
		6.2.2 Ventosa com defeito	4,5	3	4,5	60,8
		6.2.3 Incrustação na tubulação	4	4	5,5	77
		6.2.4 Tubulação subdimensionada	4	4	5	70
		6.2.5 Problemas no conjunto motor/bomba	4,5	4	3,5	63
	6.3 Ruptura da tubulação ou vazamento	6.3.1 Danos causados por obras de terceiros	6	4	5	105
		6.3.2 Material e idade da tubulação	6,5	3	5,5	107,3
		6.3.3 Pressão excessiva na rede	6	5	4,5	121,5
		6.3.4 Erros durante a construção ou no reparo	5,5	3	5	82,5
		6.3.5 Defeito nos sensores de pressão	6	4	4,5	108
		6.3.6 Raízes de árvores	5	3	5,5	82,5
		6.3.7 Furto de água	4,5	5	6	135
		6.3.8 Ligações clandestinas de água	5	7	5,5	178,8
	6.4 Incrustações	6.4.1 Precipitação de compostos químicos tanto inorgânicos (como minerais) quanto orgânicos, que se acumulam com o tempo nas paredes da tubulação.	3,5	4	7	98
		6.4.2 Sedimentação de partículas suspensas presentes no líquido transportado sobre a superfície	6	4	6,5	156
6.4.3 Crescimento biológico de microrganismos – como algas e bactérias.		6,5	4	6	156	
6.4.4 Reações químicas, como as de corrosão sobre a superfície da tubulação.		5,5	4	6,5	143	

6.5 Proximidade da tubulação de água à rede coletora de esgoto	6.5.1 Traçado errôneo das redes de abastecimento de água e de esgoto	5,5	3	4	66
	6.5.2 Ausência de estudo preliminar para a construção das redes	4	4	3,5	56
6.6 Erros de manobra na rede	6.6.1 Erros no procedimento operacional	7	5	4,5	157,5
	6.6.2 Falta de treinamento e ineficiência do operário	4,5	5	4,5	101,3
	6.6.3 Falta de identificação de válvulas e registros	4,5	5	3,5	78,8
	6.6.4 Mapa da rede confuso ou desatualizado	4	7	4	112
6.7 Precário estado de conservação e manutenção da tubulação	6.7.1 Negligência nas operações de manutenção, limpeza e conserto da rede	7	6	5	210
	6.7.2 Deterioração da qualidade água	8	5	3,5	140
	6.7.3 Aumento da perda física de água com o passar dos anos	7	5	5,5	192,5
	6.7.4 Rede construída com material inapropriado	7	3	4,5	94,5
6.8 Ausência ou diminuição dos índices de CRL	6.8.1 Baixo consumo devido à baixa densidade populacional	4,5	4	4	63
	6.8.2 Ruptura da rede de distribuição	6	4	2,5	60
	6.8.3 Dosagem insuficiente de cloro na ETA	7	5	3,5	122,5
6.9 Presença de perigo por Escherichia coli ou organismos patogênicos	6.9.1 Presença de esgoto doméstico e industrial próximo à rede de distribuição	8	4	5	160
	6.9.2 Contato diretamente ou indiretamente da água potável com fertilizantes agrícolas, agrotóxicos, compostos orgânicos sintéticos e/ou metais pesados	10	4	5	175
	6.9.3 Tubulação antiga e com mau estado de conservação	7,5	5	5	187,5
	6.9.4 Aumento das florações de cianobactérias nos mananciais	7,5	4	5	150
	6.9.5 Presença de composto orgânico: Geosmina	7	4	5,5	134,8
	6.9.6 Deficiência na etapa de cloração	9,5	5	4	171
6.10 Presença de perigo por substâncias químicas (subprodutos da desinfecção)	6.10.1 A eutrofização de corpos d'água e a ocorrência de florações podem acarretar diversos problemas, como sabor e odor, aumento da formação de subprodutos indesejados da cloração	9,5	4	4	152
	6.10.2 Características e concentração da matéria orgânica natural	8,5	4	4,5	153
	6.10.3 pH do meio	8	4	5,5	176
	6.10.4 Tempo de contato	7	4	5,5	154
	6.10.5 Temperatura	7	4	5	140
	6.10.6 Dosagem do residual de cloro livre (CRL)	8	4	3,5	112
	6.10.7 Concentração de brometos	7,5	4	5,5	165
	6.10.8 Aumento das florações de cianobactérias nos mananciais	7,5	3	6	135

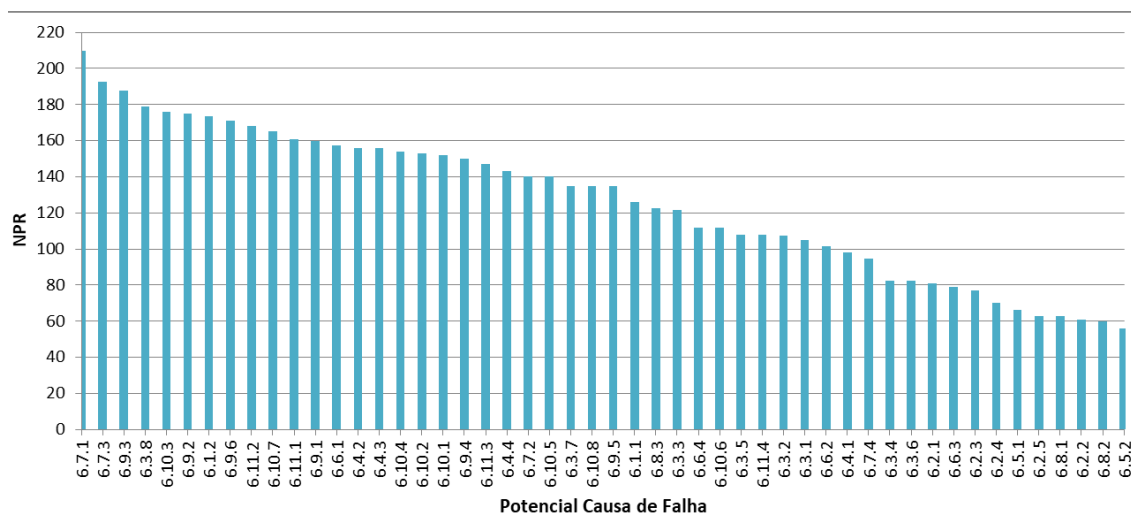


6.11 Presença de perigo por Turbidez e cor	6.11.1 Erros de manobra durante manutenção	6,5	5	5,5	160,9
	6.11.2 Danos causados por obras de terceiros	6	4	7	168
	6.11.3 Desgaste do material da tubulação	7	4	6	147
	6.11.4 Erros de procedimento de limpeza	6	5	4	108

Fonte: Autoria própria (2021).

A Figura 17 classifica, em forma de prioridade, os PCF de acordo com o valor do NPR encontrado.

**Figura 17:** Número Prioridade de Risco (NPR) da etapa de distribuição



Fonte: Autoria própria, 2021.

Através das informações expostas na Tabela 16 e na Figura 17 identifica-se que, numa escala de ponderação, o item 6.7 - Precário estado de conservação e manutenção da tubulação, representou 10,07% da pontuação geral de cada grupo elencado na fase de distribuição. Nele, consta o subitem que apresentou o maior NPR, obtendo o valor de 192,5, o subitem 6.7.3 - Aumento da perda física de água com o passar dos anos. Para os especialistas ele possui a maior probabilidade de surgir e comprometer a qualidade do sistema e produto fornecidos aos usuários de água.

A deterioração das redes e ramais com o passar do tempo proporciona rompimentos nas tubulações, gerando vazamentos e as águas escoam diretamente para as redes de esgoto e de drenagem pluvial, impossibilitando a

resolubilidade do problema, já que em certas ocasiões ocorrem dificuldade de detecção, perdurando-se por muito tempo (Morais, Cavalcante e Almeida, 2010).

De acordo com SNIS (2019) o município de Bananeiras possui uma rede de distribuição de água com extensão de 17,63 km, consumo per capita de 79,8 l/hab/dia, com índice de atendimento urbano de 53,5% sendo que, se observado de maneira geral, apenas 21,22% da população total do município tem acesso à rede de abastecimento de água. Estes percentuais são inferiores aos registrados para a Região Nordeste (73,9% total e 88,2% urbano) e para o Brasil (83,7% total e 97,6% urbano).

As perdas na distribuição estão em 41,92%, valor este superior ao índice Estadual (39%), entretanto inferior à média registrada na região Nordeste (45,7%) e à Nacional (46,4%). Segundo Santos et. al. (2019) quanto maior for a abrangência da hidromedida, da micromedida e da macromedida melhor será na eficiência da rede de distribuição de água e proporcionará melhor controle na redução das perdas na distribuição e no faturamento. No município 83,46% das economias de água apresentam hidromedida, 48,29% apresentam micromedida e, por outro lado, há a inexistência da macromedida.

Quanto aos itens 6.1 e 6.2 Moraes et. al (2010) destaca que há inúmeros benefícios quanto ao controle de pressão nas redes de tubulação de água. Os autores mencionam que tal melhoramento reduz o volume perdido em vazamentos, vindo a proporcionar a economia de recursos hídricos e custos associados. Também há a diminuição da frequência de arrebentamentos de tubulações, minimizando o número de danos, os quais são onerosos. Conseqüentemente, permite reduzir as interrupções de fornecimento e os perigos causados ao público. Essas medidas contribuem para que haja menor reclamação dos usuários ao serviço ofertado aos mesmos.

O modo de falha 6.9 - Presença de perigo por *Escherichia coli* ou organismos patogênicos, foi o item que apresentou o segundo maior grau de risco, com o subitem 6.9.3 - Tubulação antiga e com mau estado de conservação). Quanto aos indicadores de qualidade, o SNIS (2019) informa que 13,91% das amostras coletadas para a análise de coliformes totais

estavam fora do padrão. Este fato pode estar atrelado tanto na rede distribuição quanto à ETA, haja vista que pode haver problemas na etapa de desinfecção. Em 2019, as amostras coletadas para análise do cloro residual livre, 56,86% apresentam desconformidades com a Portaria nº 888/2021 do MS (BRASIL, 2021). Já para a análise de turbidez, apenas 1,30% não estavam de acordo com o exigido pela portaria.

Quanto ao item 6.8, Ogata (2011) acrescenta que a baixa concentração do CRL em SAA acarreta problemas significativos à saúde humana, com maior probabilidade de ocorrência de organismos patogênicos. Por outro lado, segundo o mesmo autor, devido ao alto poder oxidante do desinfetante, a alta concentração de CRL pode acarretar intoxicação, culminando em diarreia, alteração da flora intestinal e irritação das mucosas. Dentre os indicadores sentinelas abordados em sua pesquisa, a falha representando a dosagem incorreta do CRL obteve uma porcentagem de 76,92%.

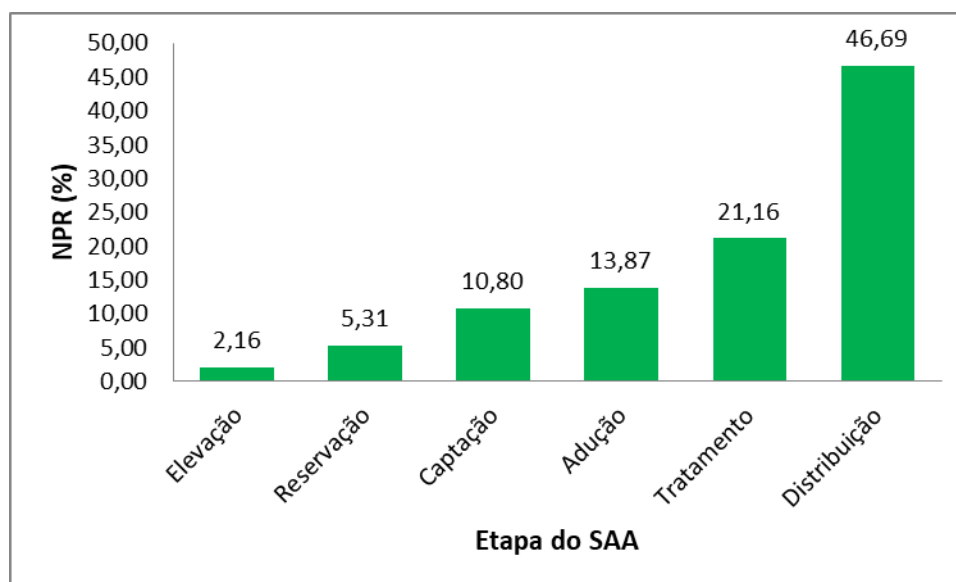
BRASIL (2006) elenca que a eficiência da desinfecção é governada por diversos fatores, dentre os quais estão: a) características físicas, químicas e biológicas da água; b) o tipo, a forma – encistada ou não – e a concentração dos microorganismos; c) o tipo e a concentração do desinfetante e o grau de dispersão na massa líquida; d) o tempo de contato entre o desinfetante e a massa líquida.

Na distribuição há a probabilidade de corrosão biológica da tubulação, oriunda tanto da ação de algas (produção direta de ácidos) quanto pela de bactérias (modificação química do meio levando à formação de ácidos). Esses fatores prejudicam a qualidade do produto ofertado aos usuários, bem como altera suas características organolépticas, acarretando danos à saúde humana. Sendo assim, é importante alertar-se aos modos de falhas dos itens 6.3, 6.4 e 6.11, os quais, juntos representam 32,52% dos riscos presentes na etapa de distribuição.

#### **4.4 Ponderação do Grau de Risco**

Após os cálculos do NPR de todas as etapas do SAA de Bananeiras-PB, baseando-se na Equação 02, buscou-se ponderar o NPR geral de cada etapa. O resultado, em termos de porcentagem, está descrito conforme a Figura 18.

**Figura 18:** Número Prioridade de Risco (NPR) final de cada etapa do SAA de Bananeiras-PB



Fonte: Autoria própria, 2021.

Observa-se na Figura 18 que a etapa de distribuição obteve o maior número de prioridade de risco, com 46,59% total dos riscos presentes no SAA de Bananeiras. Em segundo lugar encontra-se a fase tratamento, com 21,16%, seguido da adução (13,87%). Próximo a este valor está a etapa de captação (10,80%). Os menores índices foram obtidos nas fases de reservação (5,31%) e elevação da água tratada (2,16%).

#### 4.5 Propostas de melhorias

Com objetivo de aprimorar a qualidade do serviço prestado aos usuários e, portanto, diminuir a probabilidade do surgimento de eventuais modos de falhas, sugeriu-se medidas de melhorias para cada etapa do SAA, segundo os itens analisados pelos pesquisadores em consonância com a realidade a qual o sistema de abastecimento de água está inserido. Os itens permitem mitigar ou eliminar os riscos existentes.

##### 4.5.1 Propostas de melhorias para a etapa de captação

Para a etapa de captação o Quadro 08 retrata tais melhorias. Atenta-se sobretudo aos que apresentaram maior grau de risco segundo a Tabela 11,

onde estão relacionados os itens da probabilidade de poluição do corpo hídrico e a escassez do mesmo.

**Quadro 08:** Proposta de melhorias para a etapa de captação SAA de Bananeiras-PB

ETAPA	MODO DE FALHA	MEDIDAS PREVENTIVAS E/OU MITIGAÇÃO
<b>C A P T A Ç Ã O</b>	Ausência do recurso hídrico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implantação de fontes alternativas de abastecimento de água;</li> <li>• Redução de perdas;</li> <li>• Incentivos (e multas) para reduzir o consumo;</li> <li>• Educação/conscientização ambiental;</li> <li>• Reúso das águas residuárias (cinzas) para fins não potáveis;</li> <li>• Revitalização dos rios;</li> <li>• Planejamento e construção de um novo reservatório de água;</li> <li>• Limitação dos usos múltiplos para a retirada de água do manancial em períodos críticos de escassez hídrica;</li> <li>• Monitoramento de nível do reservatório.</li> <li>• Economia na manutenção dos cursos d'água, lagos e reservatórios;</li> <li>• Conservação dos recursos hídricos e otimização da capacidade de abastecimento de água do município;</li> <li>• Verificação periódica do cumprimento dos prognósticos sobre o PERH (licença das outorgas, enquadramento dos corpos hídricos).</li> </ul>
	Manutenção inadequada dos dispositivos de captação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contratação e capacitação a fim de solucionar possíveis problemas hidráulicos que venham a existir;</li> <li>• Elaboração de um plano preventivo contra possíveis defeitos técnicos e hidráulicos do sistema;</li> <li>• Revisão periódica de manutenção do sistema.</li> </ul>
	Elevada concentração de organismos patogênicos no manancial e/ou presença de cianobactérias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle, extinção ou monitoramento das fontes poluidoras;</li> <li>• Proteger os mananciais (fonte de abastecimento);</li> <li>• Promover melhorias da habitação e instalações sanitárias;</li> <li>• Disposição adequada dos esgotos;</li> <li>• Eliminação de áreas agrícolas próximas ou manancial;</li> <li>• Proteger o manancial contra fontes poluidoras de origem doméstica ou industrial (esgoto);</li> <li>• Ampliação do serviço de saneamento básico à montante do reservatório.</li> </ul>
	Presença de material sólido grosseiro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zoneamento ambiental;</li> <li>• Proibição de instalação, aterros sanitários ou aterros controlados próximos ao curso d'água principal e do manancial que abastece o município;</li> </ul> <p>Revisão periódica do projeto, instalação, execução, manutenção e operabilidade da estrutura.</p>

Fonte: Autoria própria (2021).

Desde meados de 2012 a região vem enfrentando problemas hídricos, com índices pluviométricos abaixo da média, aumento da demanda hídrica, comprometendo a recarga natural dos reservatórios e, impedindo que haja oferta hídrica em meses considerados secos. Uma das medidas citadas no Quadro 08 diz respeito à implantação de fontes alternativas de abastecimento de água, as quais podem ser de maneira coletiva ou individual. Em áreas de escassez hídrica prolongada, irregularidade das chuvas, aumento do consumo de água, elevada taxa de evapotranspiração, ineficiência da rede de abastecimento de água existente no local, essa ferramenta surge como auxiliadora a fim de mitigar os problemas relacionados a baixa demanda do recurso hídrico.

Tecnologias de captação, tratamento, reservação e distribuição são empregadas em diversas partes do mundo. No Reino Unido há sistemas para fins domésticos ou comerciais. Apresenta sistemas alimentados por gravidade ou bombeamento para captação e armazenamento de águas pluviais. Eles são importantes. Já Israel utiliza a técnica de dessalinização da água marinha. Com objetivo de aumentar a remoção de partículas presentes nas águas salinas, o Central Globo de Inovação Água e o Instituto de Ciência e Tecnologia de Carbono da Universidade de Shinshu, no Japão, juntamente com o Centro Atomic da Universidade Estadual da Pensilvânia, nos EUA, estão criando um sistema de nanomembranas que aumenta sua eficiência na nanofiltração (HERNANDEZ & SZIGETHY, 2020).

Na região Nordeste, mais especificamente nos municípios onde há irregularidade de chuvas, alta evapotranspiração, as soluções alternativas tornam-se o único viés capaz de suprir (de forma integral ou temporária) as demandas hídricas das localidades onde os serviços de abastecimento de água são precários ou inexistentes.

Para o controle preventivo dos riscos presentes no Quadro 07 e que objetiva impedi-los diz respeito a proibição do lançamento de águas residuárias em cursos d'água, os quais possam servir como abastecimento humano. Outro exemplo seria o aumento da cobertura do serviço de esgotamento sanitário à população.

Para o caso de mananciais como barragens e lagos deve-se promover a retirada seletiva da vegetação a ser inundada, a fim de minimizar o processo

intenso de decomposição de matéria orgânica, podendo comprometer a massa de oxigênio dissolvido no corpo hídrico. A utilização de produtos químicos nos mananciais serve como alternativa para a eliminação dos organismos indesejáveis (BRASIL, 2006).

#### 4.5.2 Propostas de melhorias para a etapa de adução

A segunda etapa do SAA está propícia ao surgimento de falhas, sejam elas ocasionadas pela etapa anterior ou não. Por isso, medidas que visem atenuar os problemas existentes durante a adução da água bruta até a chegada à ETA possibilita a continuidade do processo e a não interrupção do sistema, garantindo oferta hídrica à população. Sendo assim, o Quadro 09 exemplifica medidas que visam prevenir a materialização das falhas já relatadas nessa pesquisa.

**Quadro 09:** Propostas de melhorias para a etapa de adução SAA de Bananeiras-PB

ETAPA	MODO DE FALHA	MEDIDAS PREVENTIVAS E/OU MITIGAÇÃO
<b>ADUÇÃO</b>	Vazão de captação insuficiente para atender as demandas;	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redimensionamento do sistema e/ou nova construção paralela à existente a fim de suprir toda a demanda requisitada;</li> <li>• Ampliação do sistema existente.</li> </ul>
	Rompimento da adutora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatização do SAA;</li> <li>• Instalação de Reservatórios Elevados com objetivo de manter pressão compatível à de projeto;</li> <li>• Manutenção periódica do sistema;</li> <li>• Fiscalização periódica por parte da companhia;</li> <li>• Controle de macromedidores;</li> <li>• Evitar a entrada de ar nas tubulações, através de enchimento lento da tubulação;</li> <li>• Não expor a tubulação às variações bruscas de temperatura;</li> <li>• Redução da velocidade do líquido aumentando-se o diâmetro do conduto;</li> <li>• Controle do tempo de abertura e de fechamento das válvulas de descarga;</li> <li>• Instalação de câmaras de ar comprimido que proporcionam o amortecimento do golpe;</li> <li>• Instalação de chaminés de equilíbrio.</li> </ul>
	Interrupção do bombeamento de água à ETA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar verificação periódica das bombas, levando em consideração aspectos como: o engaxetamento, temperatura, vibrações e aceleração dos mancais;</li> <li>• Controle de acionamentos e desligamentos de bombas.</li> </ul>

	Não manutenção preventiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adoção de planejamento e de práticas que visem à prevenção de possível patologia no sistema.</li> </ul>
	Ausência de bomba reserva	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Checar a funcionalidade mecânica da bomba reserva;</li> <li>• Realizar o uso da bomba reserva com regularidade a fim de evitar danos mecânicos e garantir a qualidade da mesma para momentos excepcionais e emergenciais;</li> <li>• Controle de acionamentos e desligamentos de bombas.</li> </ul>
	Esvaziamento da adutora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilização de um conjunto motor-bomba reserva;</li> <li>• Obtenção de gerador elétrico reserva, para possíveis falhas elétricas;</li> <li>• Implantação do sistema de gradeamento, no início da adução, para supressão de sólidos grosseiros no interior da tubulação;</li> <li>• Realização de manutenções preventivas.</li> </ul>
	Presença de obstáculos internos (sólidos grosseiros) na adutora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalação de dispositivos para impedir a entrada de materiais flutuantes (grosseiros), como o gradeamento e desarenação, a fim de proteger e evitar o acúmulo desses materiais no interior da tubulação.</li> </ul>
	Mau estado de conservação dos dispositivos de tomada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliação periódica dos dispositivos, a fim de identificar possíveis casos defeituosos;</li> <li>• Respeitar a vida-útil dos dispositivos hidráulicos;</li> <li>• Controle de aberturas e fechamentos de válvulas e registros.</li> </ul>

Fonte: Autoria própria (2021).

Tendo por base a Tabela 10, em que os maiores riscos estão relacionados à suspensão do bombeamento da água tratada à ETA, as medidas preventivas de maior destaque são aquelas relacionadas que optam por recomendar revisões periódicas no conjunto motor-bomba, instalação e utilização, de forma preventiva, da bomba reserva, inspeção das instalações elétricas. Essas ações proporcionarão maior segurança ao sistema a fim de eliminar a falha 2.3 da Tabela 10. Já para impedir a entrada de materiais grosseiros que provoquem a interrupção do fluxo de água, recomenda-se a instalação de dispositivos de gradeamento e desarenação.

Acerca do rompimento da tubulação, vazamentos ocasionados por vazões irregulares, uma opção é a instalação de válvula de controle de ruptura. Ela permite detectar o excesso na vazão e, com isso, fecha-se e trava-se, evitando vazamentos até ser reiniciada manualmente. Enquanto a vazão for menor que a configuração, a válvula permanece completamente aberta, minimizando a perda de carga.



Outro exemplo é a válvula sustentadora de pressão, possibilita sustentar as pressões pré-definidas mínimas a montante, independentemente da variação na vazão ou de flutuação na pressão a jusante. Além das medidas mencionadas no Quadro 09, esses exemplos também permitem mitigar os riscos presentes nos itens 2.2, 2.6 e 2.7 da Tabela 10.

#### 4.5.3 Propostas de melhorias para a etapa de tratamento

O propósito é melhorar a operabilidade e a funcionalidade da etapa de tratamento, permitindo que não haja eventos críticos os quais comprometam o processo de potabilização da água. Para cada potencial modo de falha, através do Quadro 10 elencou-se medidas preventivas a fim de corroborar com a qualidade do serviço prestado aos usuários do SAA do município de Bananeiras-PB.

**Quadro 10:** Propostas de melhorias para a etapa de tratamento

ETAPA	MODO DE FALHA	MEDIDAS PREVENTIVAS E/OU DE MITIGAÇÃO
T R A T A M E N T O	Recebimento de água com turbidez elevada	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análise na ETA e monitoramento visual operador;</li> <li>Remoção dos resíduos sólidos que podem provocar a turbidez;</li> <li>Auto teste do aparelho sensor;</li> <li>Analisar a dosagem do coagulante para que o mesmo esteja em dose adequada a fim de reduzir a turbidez.</li> </ul>
	Recebimento de água com contaminação química ou biológica	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análise preliminar na ETA de testes laboratoriais biológicos e químicos.</li> </ul>
	Controle inadequado da dosagem do coagulante. (Baixa coagulação no tratamento)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Determinação da quantidade do coagulante necessário para realizar a separação dos poluentes;</li> <li>Automatização do serviço de coagulação;</li> <li>Solução e homogeneização adequadas do coagulante, nos tanques de preparo.</li> </ul>
	Falta de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instalação de um gerador reserva;</li> <li>Elaboração de um plano preliminar de logística para eventuais acidentes elétricos.</li> </ul>
	Falha no processo de floculação	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verificação na dosagem do coagulante;</li> <li>Incrementos de outros processos de coagulação/floculação, como oxidação química, adsorção em carvão ativado e processos com membranas;</li> <li>Controle do pH ótimo de coagulação.</li> </ul>
	Falha no processo de desinfecção	<ul style="list-style-type: none"> <li>Controle do pH na etapa de cloração;</li> <li>Automatização do sistema</li> </ul>

Fonte: Autoria própria (2021).

#### 4.5.4 Propostas de melhorias para a etapa de elevação da água tratada.

Para a etapa de bombeamento da água tratada o pior risco foi o relacionado à falta de energia elétrica, proporcionando a interrupção de todo o processo. Uma das medidas preventivas seria a instalação de um gerador elétrico, entretanto Santos (2018) afirma que, por se tratar de um equipamento pujante e de alto custo, torna-se economicamente inviável.

Sendo assim, as manutenções periódicas preventivas são imprescindíveis para eliminar ou mitigar o surgimento da falha. A aquisição de equipamentos reservas (conjunto motor-bomba) também é boa opção a fim de não impedir a operabilidade do sistema. O autor anteriormente citado corrobora que há algumas bombas, com diferentes capacidades, que permitem realizar a elevação e, de acordo com a variação da demanda de água ao longo do dia, o Centro de Controle Operacional aciona apenas associações dessas bombas, fazendo com que, parte delas permaneçam, temporariamente, em estado inoperante.

Por fim, o treinamento da equipe especializada é importante para garantir agilidade da resolução quando existir o surgimento da falha. O Quadro 11 resume a medida para etapa de elevação da água tratada.

**Quadro 11:** Propostas de melhorias para a etapa de elevação da água tratada

ETAPA	MODO DE FALHA	MEDIDAS PREVENTIVAS E/OU DE MITIGAÇÃO
Elevação da Água Tratada	Falha no Bombeamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manutenção preventiva e verificações periódicas dos equipamentos.</li> </ul>

Fonte: Autoria própria (2021).

#### 4.5.5 Propostas de melhorias para a etapa de reservação

Para a etapa de reservação a falha que apresentou maior grau de risco, segundo a Tabela 11, está relacionada a probabilidade da alteração da qualidade da água. A má qualidade do material, má execução das obras e o envelhecimento dos materiais são fatores que potencializam o modo de falha do item 5.2.

Recomenda-se medidas de prevenção e manutenção periódica do estado de conservação do reservatório, limpeza, seu isolamento, a fim de evitar

vetores de contaminação. Essas medidas auxiliam na garantia da permanência da potabilidade da água oriunda da ETA.

Quanto às demais falhas, aplicação de boias, sensores de nível, são alguns dos exemplos que permitem prevenir os riscos de transbordamento e esvaziamento do reservatório. O Quadro 12 apresenta as alternativas de mitigação e prevenção para a etapa de reservação.

**Quadro 12:** Propostas de melhorias para a etapa de reservação da água tratada

ETAPA	MODO DE FALHA	MEDIDAS PREVENTIVAS E/OU DE MITIGAÇÃO
<b>RESERVAÇÃO</b>	Estado de conservação do reservatório insatisfatório	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manutenção preventiva e verificações periódicas da estrutura do reservatório.</li> </ul>
	Contaminação ou alteração da qualidade da água.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisão nos procedimentos de inspeção e manutenção preventiva;</li> <li>• Isolamento do reservatório contra possíveis entradas de animais, materiais sólidos ou até mesmo a presença de pessoas não autorizadas;</li> <li>• Verificação dos dispositivos de entrada do reservatório.</li> </ul>
	Extravasamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detecção visual, instalação de sensores de nível, boias;</li> <li>• Monitoramento diário do nível de água, quando há o apoio da tecnologia;</li> <li>• Vistoria dos equipamentos do sistema hidráulico para assegurar que estão em boa qualidade e funcionando adequadamente.</li> </ul>
	Esvaziamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspeção visual ou com apoio tecnológico (central de controle);</li> <li>• Conserto, de forma eficiente e rápida, de equipamentos defeituosos.</li> </ul>

Fonte: Autoria própria (2021).

#### 4.5.6 Propostas de melhorias para a etapa de distribuição

Na distribuição, conforme a Tabela 12, segundo o ranking de prioridade de risco, a causa de falha 6.7.3 - Aumento da perda física de água com o passar dos anos, representou o primeiro lugar. Este problema tem como modo de falha o precário estado de conservação e manutenção da rede de distribuição de água.

Para tal, recomenda-se o melhoramento e eficiência quanto aos reparos na rede de abastecimento, como também a troca dos antigos tubos de ferro fundido, os quais são mais propícios à corrosão, por tubos Polietileno de Alta Densidade (PEAD), pois apresentam alta resistência a impacto, corrosão, baixa incrustação, resistência química e à abrasão. A implantação de produtos químicos, como o polifosfato, contribuiria na minimização das incrustações na tubulação e, conseqüentemente, na redução das perdas de água durante a distribuição. Além disso, medidas de prevenção, monitoramento constante da rede, automatização do sistema, podem contribuir significativamente para melhor eficiência do sistema. Essas medidas auxiliam a mitigar os problemas descritos nos itens 3, 4 e 7 do Quadro 13.

Com relação aos itens 1 e 2 é primordial prover ao consumidor um serviço com pressões mais estabilizadas, já que diminui a ocorrência de danos às instalações internas dos usuários até a caixa d'água (tubulações, registros e boias), e reduz os consumos relacionados com as altas pressões da rede (MORAIS et. al, 2010). Por outro lado, pressões reduzidas comprometem a funcionalidade do sistema, ocasionando intermitências. A instalação de reservatórios de regularização de pressão na cidade permite que haja homogeneidade do recurso em pressões estabelecidas por normas, independentemente da hora de consumo.

Para garantir a pressão mínima durante todo o dia, outra medida de prevenção é implementação de “boosters” para permitir pressurizar apenas a parcela da rede em que há deficiência no abastecimento, sem elevar a pressão nos pontos que estão com pressão adequada para o bom funcionamento (AMANCIO, 2018).

Para o item 8 - Ausência ou diminuição dos índices de CRL, recomenda-se a verificação e utilização da dosagem ótima do desinfetante a fim de, garantir um percentual residual livre mínimo na rede de distribuição, para evitar que fatores químicos, físicos ou biológicos contaminem a água que chegará ao consumidor final.

O Quadro 13 mostra as ações preventivas e de mitigação, sugeridas pela pesquisa, para a etapa de distribuição.

**Quadro 13:** Propostas de melhorias para a etapa de distribuição da água tratada

ETAPA	MODO DE FALHA	MEDIDAS PREVENTIVAS E/OU DE MITIGAÇÃO
<b>D I S T R I B U I Ç Ã O</b>	1. Pressões excessivas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medidas de controle operacional e automação;</li> <li>• Uso de válvulas redutoras de pressão;</li> <li>• Divisão da rede de abastecimento de água em zonas de pressão (setorização).</li> </ul>
	2. Pressões reduzidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construção de reservatório de distribuição;</li> <li>• Dimensionamento correto da rede de distribuição.</li> </ul>
	3. Ruptura da tubulação ou vazamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manutenção preventiva;</li> <li>• Certificar que as tubulações tenham recebido uma proteção superficial adequada para resistir ao contato com os materiais químicos corrosivos e evitar, quando possível, o contato com contaminantes externos ou internos às tubulações.</li> </ul>
	4. Incrustações	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de inibidores de incrustação e/ou catalizadores (magnético), que fazem com o que os sais se rearranjam e não se cristalizem de forma a se depositarem nas paredes da tubulação;</li> <li>• Injeção de produtos químicos, como o polifosfato, para inibir o desenvolvimento de incrustações e controlar e proteger a corrosão;</li> <li>• Substituição das tubulações de material metálico por um material que não sofra corrosão, como por exemplo, a tubulação, as conexões e as válvulas de CPVC.</li> </ul>
	5. Proximidade da tubulação de água à rede coletora de esgoto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoramento contra possíveis vazamentos e interações entre as duas redes;</li> <li>• Melhoramento na malha do esgotamento sanitário;</li> <li>• Manutenções preventivas;</li> <li>• Isolamento de ambas as redes.</li> </ul>
	6. Erros de manobra na rede	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contratação de mão-de-obra qualificada;</li> <li>• Treinamento dos funcionários;</li> <li>• Inspeção regular.</li> </ul>
	7. Precário estado de conservação e manutenção da tubulação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhoramento dos procedimentos de manutenção e operação das redes de distribuição, como controle ativo dos vazamentos, velocidade e qualidade dos reparos;</li> <li>• Gerenciamento de pressão;</li> <li>• Gerenciamento da infraestrutura.</li> </ul>
	8. Ausência ou diminuição dos índices de CRL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilização de doses ótimas de desinfetantes.</li> </ul>
	9. Presença de perigo por Escherichia coli ou organismos patogênicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilização de doses ótimas de desinfetantes.</li> </ul>
	10. Presença de perigo por substâncias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remoção dos subprodutos por carvão ativado, extração por meio de aeração (<i>air stripping</i>);</li> </ul>

químicas (subprodutos desinfecção)	da	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle do manancial, extraindo a matéria orgânica, removendo assim, os compostos orgânicos precursores;</li> <li>• Aplicação do cloro, se possível, após a etapa de clarificação da água;</li> <li>• Uso de desinfetantes alternativos para reduzir ou prevenir a formação de subprodutos, tais como: ozônio, peróxido de hidrogênio, dióxido de cloro, o permanganato de potássio, a radiação ultravioleta e a cloração combinada com amônia;</li> <li>• Higienização de reservatórios, limpeza de caixas d'água e tubulações.</li> </ul>
11. Presença de perigo por Turbidez e cor		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamento simplificado de filtração e desinfecção;</li> <li>• Higienização de reservatórios, limpeza de caixas d'água e tubulações.</li> </ul>

Fonte: Autoria própria (2021).

Um dos grandes gargalos na utilização do cloro como desinfetante em ETA diz respeito a probabilidade da liberação de subprodutos (os trihalometanos), servindo-o como parâmetro de qualidade da água para o consumo humano, já que possui propriedades carcinogênicas. Por conta disso, em 1983, pesquisas realizadas na United States Environmental Protection Agency (USEPA) fixou o nível máximo de contaminante (MCL) em 0,1 mg/L para o somatório dos quatro compostos (clorofórmio (triclorometano), diclorometano, dibromoclorometano e bromofórmio). Esse valor também é empregado no Brasil segundo a Portaria GM/MS Nº 888, de 04 de maio de 2021. O emprego de desinfetantes alternativos deve servir como alternativa ao cloro, tais como amônia, ozônio, radiações ultravioleta, peróxido de hidrogênio, dióxido de cloro (BRASIL, 2006).

## CONCLUSÕES

O uso da metodologia FMEA permitiu extrair os principais riscos que cada etapa do SAA de Bananeiras-PB está susceptível de ocorrer, podendo ranquear e priorizar àqueles de acordo com o grau de risco encontrado. A distribuição apresentou o maior grau de risco, correspondendo a 46,69% de ocorrer uma falha nessa etapa do SAA.

Para a etapa de captação observou-se que a maior probabilidade de falha está presente no tópico 1.3 - Elevada concentração de organismos patogênicos no manancial e/ou presença de cianobactérias, com 41,67% de chance de ser o principal risco que pode vir a comprometer a boa operabilidade e funcionalidade do sistema. Somando-se ao item 1.1 - Ausência do recurso hídrico, esses dois itens correspondem a 68,45%, justamente onde estão contidos os potenciais modos de falha que obtiveram maiores índices.

Os problemas relacionados a eventos climáticos (seca), aumento da demanda, má gestão do recurso hídrico e a presença de fontes poluidoras próximas ao manancial são os fatores que correspondem ao maior peso para que haja a interrupção da captação da água para atender aos usuários do município.

Na adução há probabilidade de risco de 13,87% comparada às demais etapas. Problemas elétricos e eventos que proporcionem o esvaziamento ou ruptura da adutora foram os índices que obtiveram maiores NPR.

Com 21,16%, a segunda maior probabilidade de ocorrência de falhas está no processo de tratamento da água. Nela, destacam-se as unidades desinfecção e floculação, as quais apresentaram índice de risco de falha de 49,48%. Para os avaliadores o erro na dosagem do cloro e gradiente de velocidade inadequado para a formação dos flocos são os maiores potenciais para a não potabilização da água dentro dos padrões regidos pela Portaria de Consolidação Nº 888 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021).

Quanto ao bombeamento da água tratada aos reservatórios, este índice apresentou 2,16% de haver falhas. Recomendou-se a instalação do conjunto motor-bomba reserva e revisões periódicas a fim de evitar interrupção ao SAA.

Dentre as falhas avaliadas as quais são inerentes da reservação, problemas relacionados ao mau estado de conservação dos reservatórios de

água tratada e fatores que proporcionem seu esvaziamento e/ou ruptura atingiram 76,94% de risco. Entretanto, comparada com as demais, seu índice correspondeu a apenas 5,31%.

Para a distribuição, os maiores riscos estão atrelados aos fatores que levem à ruptura da tubulação, surgimento de incrustações, os quais comprometam a permanência dos padrões de potabilidade da água, estando-a susceptível à contaminação. Alcançou-se uma probabilidade de 66,74% dentre todos os modos de falhas presentes nessa etapa.

Sendo assim, necessita-se do incremento de medidas estruturantes e operacionais, como por exemplo, estudo de viabilidade da inserção de um novo corpo hídrico para atender à população do município ou até mesmo a interligação hídrica entre mananciais da região por meio de adutoras a fim de garantir oferta de água aos usuários visto que, o município enfrenta, constantemente, intermitência e racionamento no abastecimento de água, sendo agravado nos últimos anos.

Somente 21,22% da população do município tem acesso à água potável (SNIS, 2019). Medidas como universalização do serviço, implantação de fontes alternativas de abastecimento de água, melhoramento dos procedimentos de manutenção e operação das redes de distribuição, automatização do SAA são algumas das opções que podem favorecer o melhoramento do serviço prestado aos consumidores de água.

Os resultados encontrados nessa pesquisa poderão subsidiar a companhia de abastecimento de água a melhorar a gestão do sistema a fim de ofertar um produto em quantidade e qualidade satisfatória aos seus usuários.

Recomenda-se, em futuras pesquisas, elencar medidas de mitigação e/ou prevenção de risco a cada modo de falha detectado e, conjecturar possíveis cenários em que possa haver a aplicação das mesmas a fim de reduzir o seu grau de risco. Tais ações servirão de melhoria para a boa operabilidade do sistema e qualidade do serviço.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.211 - Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água**, Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

AMANCIO, Eduardo César. **MAPEAMENTO DAS PRESSÕES EM SERVIÇO DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE TUPÃSSI – PR**. Trabalho de Conclusão de Curso. o Bacharel em Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo-PR, 2018.

AQUINO, Afonso Rodrigues de; et, al. **Risco Ambiental**. São Paulo: Blucher, 2017.

ARAÚJO JÚNIOR; Antônio Jorge Silva. **Avaliação de Riscos Aplicada como Metodologia de Controle e Segurança da Qualidade da Água no Sistema de Abastecimento de Belém – PA**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará – UFPA Instituto de Tecnologia – ITEC Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2016.

ASA. **Articulação no Semiárido Brasileiro**. 2016. Disponível em: <http://www.asabrasil.org.br/semiario>. Acesso 24 de junho de 2020.

AUSTRALIA STANDARDS/NEW ZEALAND STANDARD. Norma AS/NZS 4360:2004. **Risk Management**. Aug., 2004.

BEVILACQUA M, CIARAPICA F.E, GIACCHETTA G. and MARCHETTI B, Overview on the application of ISO/TS 16949: 2009, in a **worldwide leader company in the production of stainless steel tubes for automotive exhaust systems**, *International Journal of Productivity and Quality Management*, Vol. 7, No. 4, pp.410– 439, 2011.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília – DF: D.O.U. de 09/01/1997, P. 470, 1997.

**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 : Ministério da Saúde, 2006. 212 p. – (Série B. Textos Básicos de Saúde)

BRASIL, Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Panorama dos Planos Municipais de Saneamento Básico no Brasil**. Brasília – DF, Edição de Janeiro, 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 888, de 04 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. Disponível na Internet: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 11 jun. 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria de Consolidação nº 05, de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Disponível na Internet: <http://https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida----o-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>. 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília. DF, 2011.

BRASIL. **Lei Federal nº 14.026**, de 15 de julho de 2020. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, DF. 2020. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm). Acesso em: 11 jun. 2021.

\_\_\_\_\_. **Lei Federal nº 11.445**, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº. 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 jan. 2007.

\_\_\_\_\_. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018**.

\_\_\_\_\_. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019**.

CARVALHO, D. F. e SILVA, L. D. B., **Notas de Aula**. 2007. 117 p. Disponível em:

<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Capit%204%20parte%202.pdf>. Acesso em 15 de julho de 2020.

CAVAIGNAC, André Luís de Oliveira; FORTE, Lorrana Lys Neves. **UTILIZAÇÃO DO FMEA PARAPRIORIZAÇÃO DE RISCO OCUPACIONAL: UMA NOVA ABORDAGEM DIRECIONADA A CONSTRUÇÃO CIVIL**. Brazilian Journal of Production Engineering, São Mateus, Vol. 4, Nº 3, p. 132-149. (2018).

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Bananeiras, estado da Paraíba**. Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

CHUANG P. T, **Incorporating disservice analysis to enhance to enhance perceived service quality**, *Industrial Management and Data Systems*, Vol. 110, No. 3, pp.368–391, 2010.

CORRÊA, Rony Felipe Marcelino; VENTURA, Kátia Sakihama. **Plano de Segurança da Água: modelo conceitual para monitoramento de riscos à contaminação de água em comunidades rurais**. Eng Sanit Ambient | v.26 n.2 | mar/abr 2021. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2713-4557>. ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3853-668X>

FERREIRA, Maykon Fredson Freitas; FERREIRA, Expedito José; ALMEIDA, Maria Ivete Soares de. **EVENTOS SÍSMICOS E O RISCO AO PERIGO NATURAL NOS BAIRROS VILA ATLÂNTIDA E IBITURUNA - MONTES CLAROS – MG**. Revista GeoNordeste, São Cristóvão, Ano XXVIII, n. 2, p. 190-208, Jul./Dez. 2017.

FONSECA, Marcus Nicholas Esquivel. **ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS (FMEA) PARA AVALIAÇÃO DE UM ACIDENTE EM BARRAGEM DE REJEITOS: UM EVENTO DE MINERAÇÃO NO BRASIL**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Industrial. Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica. Universidade Federal da Bahia, 2018.

FREITAS, Clarissa Câmara de. **Extração de conhecimento em base de dados na gestão da qualidade da água no sistema de abastecimento de Campina Grande – PB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Campina Grande – PB, 2015.

FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Saneamento**. Brasília: Funasa, 2015. 642 p.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2ª ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 1ª ed. Belo Horizonte: UFMG, 2006.

HERNANDEZ, Luís Carlos; SZIGETHY, Leonardo. **Crises Hídricas: tecnologia e inovação no combate à insuficiência de água**. Artigo publicado em 16 de junho de 2020. Disponível em <<https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/96-crisis-hidricas-tecnologia-e-inovacao-no-combate-a-insuficiencia-de-agua>> Acesso em 25 de junho de 2020.

ILAYA-AYZA, A. E. et al. **Multi-criteria optimization of supply schedules in intermittent water supply systems**. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, v. 309, p. 695–703, 2017.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Documentação Territorial do Brasil**. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/dtbs/paraiba/cajazeirinhas.pdf> Acesso 21/05/2020.

JEEGADESHAN C, ARUNACHALAM, V. P, DEVADASAN, S. R. and SRINIVASAN P. S. S, **Design and development of modified service FMEA**, *International Journal of Service and Operations Management*, Vol. 3, No. 1, pp.111–126, 2007.

KNEŽEVIĆ, Nicola LJ; MACURA, Dragana V.; MILUTINOVIĆ, Nicola D. **Unapređenje procene rizika implementacije digitalizacije na železnici primenom SWOT – FMEA metode**. *TEHNIKA – MENADŽMENT* 70, 2020.

KHORSHIDI H. A, GUNAWAN I. and ESMAEILZADEH F, **Implementation of SPC with FMEA in less developed industries with a case study in car battery manufactory**. *International. Journal of Quality and Innovation*, Vol. 2, No. 2, pp.148–157, 2013.

KOZISEK, F.; GARI, D. W.; PUMANN, P.; RUNŠTUK, J.; ŠAŠEK, J.; TUHOVČÁK, L.; RUČKA, J.; PAPÍRNÍK, V. **Risk assessment case study – Breznice, Czech Republic**. *TECHNEAU*. [S.l.]. 2008.

KOWALSKI, D.; MISZTA-KRUK, K. Failure of water supply networks in selected polish towns based on the field reliability tests. **Engineering Failure Analysis**, v. 35, p. 736-742, 2013.

KULCSÁR, Edina; CSISZÉR, Tamás; ABONYI, János. **Pairwise comparison based failure mode and effects analysis (FMEA)**. Elsevier. MethodsX 7, 2020.

LEITE et. al. **O Novo Marco do Saneamento (Lei Federal nº. 14.026 de 2020) e os possíveis impactos nos pequenos municípios brasileiros**. In: Research, Society and Development, v. 10, n.9, e37910918258, 2021.

LETTA, Márcia Cristina Kampffe; LIMA, Gilson Brito Alves; SANT'ANNA, Annibal Parracho; KAMPFEE, Milton George Fonseca; SILVA, Andrew de Jesus Freitas. **ANÁLISE DE RISCO DE OPERAÇÕES EM INSTALAÇÕES ESPECIAIS COM APLICAÇÃO DA COMPOSIÇÃO PROBABILÍSTICA DE PREFERÊNCIAS**. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional Vitória, ES, 2016.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas, SP: 3ª ed. Editora Átomo, 2010.

LINDHE, A. E. A. **Risk assessment case study – Göteborg, Sweden**. TECHNEAU. [S.I.]. 2008.

LUCENA, Danyllo Vieira de. **Avaliação da segurança da água de abastecimento por soluções alternativas na zona rural de Campina Grande-PB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Campina Grande – PB, 2018.

MARIAJAYAPRAKASH A. and SENTHILVELAN T. **Failure detection and optimization of sugar mill boiler using FMEA and Taguchi method**, **Engineering Failure Analysis**, Vol. 30, pp.17–26, 2013.

MEDEIROS, Luísa Eduarda Lucena de. **Utilização dos indicadores convencionais e de satisfação dos usuários para avaliação da qualidade do serviço de abastecimento de água na cidade de Campina Grande/PB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Campina Grande – PB, 2017.

MELO, Alexandre Vaz de. **Análises de risco aplicadas a barragens de terra e enrocamento: estudo de caso de barragens da Cemig GT**. Dissertação

(Mestrado em Geotecnia). Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte – MG, 2014. 244p.

MORAIS, Danielle Costa; CAVALCANTE, Cristiano A. Virgínio; e ALMEIDA, Adiel Teixeira de. **Priorização de áreas de controle de perdas em redes de distribuição de água**. Pesquisa Operacional [online]. 2010, v. 30, n. 1 [Acessado 5 Agosto 2021] , pp. 15-32. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0101-74382010000100002>>. Epub 27 Maio 2010. ISSN 1678-5142. <https://doi.org/10.1590/S0101-74382010000100002>.

MOREIRA, Bruna Balduino; NASCIMENTO, Nathália Fernandez. **ENGENHARIA DA SUSTENTABILIDADE: APLICAÇÃO DA FERRAMENTA FMEA COM ÊNFASE NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Medianeira-PR, 2018.

MORTAZAVI-NAENI, M.; KUCZERA, G.; KIEM, A. S.; CUI, L.; HENLEY, B.; BERGHOUT, B.; TURNER, E. Robust optimization to secure urban bulk water supply against extreme drought and uncertain climate change. **Environmental Modelling & Software**, v. 69, p. 437-451, 2015.

OGATA, Igor Souza. **Avaliação de Risco de Qualidade da Água Potável do Sistema de Abastecimento da Cidade de Campina Grande (PB)**. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande-PB, 2011.

OLIVEIRA, M. L. (2016). **Desenvolvimento de Método para Avaliação de Desempenho de Sistemas de Abastecimento de Água**: Aplicação no Caso da RIDE DF e Entorno. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTRH. DM – 180/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 235p.

ONU, Organização das Nações Unidas. **A ONU e a Água**. Disponível em <https://nacoesunidas.org/acao/agua/>. Acesso em 20/abril/2020.

OZILGEN S, **FMEA for confectionary manufacturing in developing countries: Turkish delight production as case example**, *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Vol. 32, No. 3, pp.505–514, 2012.

PALADY, P. **FMEA Análise dos modos de falha e efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. 5ª Ed. São Paulo: IMAM, 2011.

ROOZBAHANI, A.; ZAHRAIE, B.; TABESH, M. Integrated risk assessment of urban water supply systems from source to tap. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 27, n. 4, p. 923-944, 2013.

SALIBA, T. M.; PAGANO, S. C. R. S. **LEGISLAÇÃO DE SEGURANÇA, ACIDENTE DO TRABALHO E SAÚDE DO TRABALHADOR**. São Paulo: LTR, 2018.

SANTOS, R. H. C.; MEDEIROS, L. E. L. ; FILHO, R. da S. R. ; BARBOSA, Dayse Luna ; RODRIGUES, A. C. L. . **Elaboração de um Índice de Qualidade para o Sistema de Abastecimento de Água da Cidade de Guarabira-PB**. In: I Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, 2019, Campina Grande. Anais I CONIMAS e III CONIDIS. Campina Grande: Realize, 2019. v. 1.

SANTOS, Sigmar Miranda dos. **ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA EM UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**: uma avaliação desde o tratamento à rede de distribuição. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, 2018.

SANTOS, Rubens Hayran Cabral dos. **Análise da Oferta X Demanda Hídrica no Sistema de Abastecimento de Água da Cidade de Guarabira/PB**. Trabalho de Conclusão (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande – PB, 2017.

SANTOS, Whelton Brito dos. **Modelagem da Degradação de Cloro Residual Livre na Rede de Distribuição de Água da Cidade de Campina Grande – PB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Campina Grande – PB, 2017.

SOUSA, Lyanne Cibely Oliveira de. **Gestão da Demanda de Água no Agreste Pernambucano**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Caruaru – PE, 2017.

SILVA, Tiago Rodrigues da. **Caracterização e análise do sistema de abastecimento de água do perímetro urbano do município de Timon, MA, Brasil**. ACTA Geográfica, Boa Vista, v.13, n.33, 2019.

SILVA, Julia Lopes da; SAMORA, Patrícia Rodrigues. **Os impactos da crise hídrica sobre a população do município de Campinas/SP (2012-2016)**. Artigo Científico • urbe, Rev. Bras. Gest. Urbana 11, 2019.

SUBRIADI, Apol Pribadi; NAJWA, Nina Fadilah. **The consistency analysis of failure mode and effect analysis (FMEA) in information technology risk assessment**. Department of Information Systems, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia. Heliyon 6, (2019).

TEIXEIRA, Diogo Araújo; PRADO FILHO, José Francisco do; SANTIAGO, Aníbal da Fonseca. **Indicador de salubridade ambiental: variações da formulação e usos do indicador no Brasil**. Artigo Técnico. Engenharia Sanitária e Ambiental. v.23 nº 3, 2018.

TRATA BRASIL. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2019: Não deixar ninguém para trás fatos e dados**. Disponível em <<http://www.tratabrasil.org.br/uploads/Relatorio-mundial-das-Na-es-Unidas-sobre-desenvolvimento-dos-recursos-h-dricos-2019--n--o-deixar-ningu--m-para-tr--s--fatos-e-dados---UNESCO-Digital-Library.pdf>> Acesso em: 25 de junho de 2020.

TRATA BRASIL, Saneamento e Saúde. **Manual do Saneamento Básico**. Entendendo o Saneamento básico ambiental no Brasil e sua importância socioeconômica. 2012.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de Água** – 3ª edição – São Paulo – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. XIII – 643 p.

VERÇOSA, L. F. M. **Avaliação de risco de reservatórios de distribuição de água de sistema de abastecimento de médio porte**. Campina Grande, 2017. 55p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental).

VIANNA, L. F. V. **Metodologias de análise de risco aplicadas em planos de ação de emergência de barragens: auxílio ao processo de tomada de decisão**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes), Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Belo Horizonte - MG, 2015. 118p.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for Drinking-water Quality**. 4. ed. [S.l.]: WHO Library, 2011.



## **APÊNDICE**

### **FORMULÁRIO DE PERCEPÇÃO DO ENTREVISTADO**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E GESTÃO DE  
RECURSOS NATURAIS – PPGEGRN  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS  
LINHA DE PESQUISA: RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO  
AMBIENTAL**

### **CONSULTA A ESPECIALISTAS PARA ELABORAÇÃO DA PLANILHA FMEA PARA O SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE BANANEIRAS-PB**

**AUTOR:** Rubens Hayran Cabral dos Santos

**ORIENTADORA:** Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Dayse Luna Barbosa

**CO-ORIENTADORA:** Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andréa Carla Lima Rodrigues

O trabalho objetiva analisar os possíveis riscos que cada etapa do Sistema de Abastecimento de Água do Município de Bananeiras-PB está sujeita a acontecer, bem como avaliar o que a sua ocorrência pode causar dentro do processo, impossibilitando a boa operabilidade e funcionalidade do mesmo.

Para isso, será utilizada a metodologia de análise de risco FMEA (Análise de Modo de Falhas e seus Efeitos). Ela tem a finalidade de prevenir falhas e analisar os riscos de um processo por meio da percepção da causa e consequência.

A FMEA possibilita identificar, delimitar, descrever, analisar e propor soluções de prevenção e/ou mitigação para as não conformidades (modo da falha) geradas pelo processo e seus respectivos efeitos e causas, permitindo que haja a diminuição da probabilidade de ocorrência de falhas tanto para àquelas que já tenham sido materializadas quanto as que não tenham ocorrido.

Para isso, utiliza-se índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D) para cada potencial modo de falha elencado. Por meio do produto desses três índices encontra-se o grau de risco (NPR), que a partir do mesmo serão elaboradas estratégias a fim de eliminar ou minimizar o surgimento de possíveis modos de falha dentro do sistema.

Entende-se por:

- **Severidade de causa (S):** probabilidade de a falha ser identificada e causar prejuízo ao sistema;

- **Ocorrência de causa (O):** probabilidade da causa existir e provocar uma falha;

- **Detecção da falha (D):** probabilidade da falha ser detectada antes do produto chegar ao cliente.

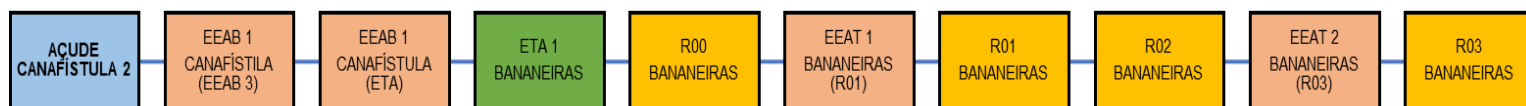
$$RPN = S \times O \times D$$

Por meio do NPR é possível definir o grau de relevância de cada risco na respectiva etapa do Sistema de Abastecimento de Água.

### INFORMAÇÕES ACERCA DO SAA DE BANANEIRAS

- **Manancial que Abastece o Município:** Canafístula II.
- **Município em que se Encontra o Manancial:** Borborema.
- **Bacia Hidrográfica:** Mamanguape.
- **Capacidade Máxima de Acumulação do Reservatório:** 4.102.626 m<sup>3</sup>.
- **Volume Atual do Reservatório:** 238.592 m<sup>3</sup> (5,82%).
- **Situação Atual do SAA:** Em racionamento hídrico.
- **Tipo da ETA:** Convencional

### Croqui Esquemático do SAA do Município de Bananeiras-PB



#### I. DADOS DO ESPECIALISTA:

**ÁREA DE ATUAÇÃO:**

**GRAU ACADÊMICO:**

#### II. ESCALAS DE IMPORTÂNCIA

Na tabela 1 consta o grau de **severidade**. Essa escala mensura a gravidade de um modo de falha. Pode variar de 1 (melhor situação) a 10 (pior situação) dependendo de como o problema é percebido pelo usuário ou a consequência que o mesmo pode vir a sofrer.

**TABELA 1 : ESCALA DE SEVERIDADE (S)**

DESCRIÇÃO DA ESCALA DE SEVERIDADE	GRAU
Efeito não percebido pelo usuário.	1
Efeito insignificante, não perturba o usuário.	2
Efeito insignificante, perturba o usuário, mas não o faz com que ele procure o serviço para possíveis reclamações.	3
Efeito insignificante, perturba o usuário, fazendo com que procure o serviço para possíveis reclamações.	4
Efeito menor, inconveniente para o usuário; entretanto, não faz com que o cliente procure o serviço para possíveis reclamações.	5
Efeito menor, inconveniente para o usuário, fazendo com que o cliente procure o serviço. Causa moderada quantidade de reclamações.	6
Efeito moderado, que prejudica o desempenho do projeto/sistema levando a uma falha grave ou a uma falha que pode impedir a execução das funções do projeto/sistema e não coloca a segurança do usuário em risco; Pode causar muitas reclamações.	7
Efeito significativo, resultando em falha grave; impõe leve risco a segurança do usuário e não resulta em custo significativo da falha. Causa muitas reclamações.	8
Efeito crítico que provoca a insatisfação do usuário, interrompe as funções do projeto/sistema, gera custo significativo da falha e impõe um moderado risco de segurança (não ameaça a vida nem provoca incapacidade	9

permanente) ao usuário.	
Perigoso, ameaça à vida ou pode provocar incapacidade permanente ou outro custo significativo da falha que coloca em risco a continuidade operacional da organização ou do sistema. Impacta a saúde pública.	10

O grau de **ocorrência** está relacionado à frequência que um modo ou causa de falha pode ocorrer. Pode variar de 1 (melhor situação – altamente improvável) a 10 (pior situação – ocorrência certa). A tabela 2 expõe a escala de ocorrência.

**TABELA 2: ESCALA DE OCORRÊNCIA (O)**

DESCRIÇÃO DA ESCALA DE OCORRÊNCIA	FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA	GRAU
Extremamente remoto ou altamente improvável.	Uma ocorrência superior a 10 anos	1
Remoto, improvável.	Uma ocorrência entre 5 a 10 anos	2
Pequena chance de ocorrência.	Uma ocorrência entre 1 a 4 anos	3
Pequeno número de ocorrências.	De 1 a 6 ocorrências por ano.	4
Espera-se um número ocasional de falhas.	Mais de 6 ocorrências por ano	5
Ocorrência moderada.	Uma ocorrência por mês	6
Ocorrência frequente.	Mais de uma ocorrência por mês	7
Ocorrência elevada.	Uma ocorrência por semana	8
Ocorrência muito elevada.	Mais de uma ocorrência por semana	9
Ocorrência certa.	Ocorrência diária	10

Já a **deteccção** diz respeito à chance ou desempenho que o controle tem de detectar o modo de falha. Pode variar de 1 (melhor situação – quase certo que será detectado) a 10 (pior situação – deteccção quase impossível), como esquematizado na tabela 3.

**TABELA 3: ESCALA DE DETECÇÃO**

DESCRIÇÃO DA ESCALA DE DETECÇÃO	GRAU
Certo que será detectado.	1
Probabilidade muito alta de deteccção.	2
Alta probabilidade de deteccção.	3
Chance moderada de deteccção.	4
Chance média de deteccção.	5
Alguma probabilidade de deteccção.	6

Baixa probabilidade de detecção	7
Probabilidade muito baixa de detecção.	8
Probabilidade remota de detecção.	9
Detecção quase impossível.	10

---

Nas tabelas abaixo serão expostos, em cada etapa do SAA analisado, possíveis modo de falhas e seus respectivos candidatos a potencial causa da mesma. Para cada causa, deve-se inserir um grau de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D), de acordo com o conhecimento específico de cada entrevistado. Para isso, deve-se tomar por base as tabelas 1, 2 e 3, respectivamente.

O entrevistado pode-se nortear de acordo com o seu conhecimento acadêmico, técnico, quanto em possíveis vivências pessoais e profissionais relacionadas ao SAA de Bananeiras-PB.

**TABELA 4: FMEA da etapa de Captação**

PROCESSO	ITEM	MODO DE FALHA	EFEITO (CONSEQUÊNCIA) DA FALHA	POTENCIAL CAUSA DA FALHA	S	O	D	NPR
<b>CAPTAÇÃO</b>	1	Ausência do recurso hídrico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crise hídrica,</li> <li>• Racionamento hídrico;</li> <li>• Diminuição da oferta de água para a população</li> <li>• Impactos econômicos;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eventos de seca prolongados</li> <li>• Deterioração da qualidade da água dos corpos hídricos subterrâneos e superficiais.</li> <li>• Aumento da demanda hídrica;</li> <li>• Má gestão do recurso hídrico.</li> </ul>				
	2	Manutenção inadequada dos dispositivos de captação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interrupção no serviço de abastecimento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausência de equipe especializada</li> <li>• Ausência de medidas preventivas</li> </ul>				
	3	Elevada concentração de organismos patogênicos no manancial e/ou presença de cianobactérias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inviabilização da captação de água para abastecimento humano.</li> <li>• Aumento da concentração da carga orgânica no manancial;</li> <li>• Efeitos nocivos à saúde humana.</li> <li>• Intoxicação de animais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presença de fonte poluidora ou de contaminação (pontual ou difusa) próximas ao manancial.</li> <li>• Utilização de agrotóxicos em culturas próximas ao reservatório. Indústria, urbanização, ausência de saneamento básico.</li> <li>• Existência de focos de poluição pontuais ou difusos, tais como ocupação residencial na bacia de captação e atividades agropecuárias e industriais;</li> <li>• Sinais de eutrofização,</li> </ul>				
	4	Presença de material sólido	Poluição aquática e terrestre.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disposição inadequada de resíduos sólidos próximos ao manancial.</li> </ul>				



grossoiro

- Urbanização.



TABELA 5: FMEA da Etapa de Adução

PROCESSO	ITEM	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	POTENCIAL CAUSA DA FALHA	S	O	D	NPR
ADUÇÃO	1	Vazão de captação insuficiente para atender as demandas;	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intermitência no serviço de abastecimento de água.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da demanda</li> <li>• Período de Estiagem Prolongado</li> <li>• Subdimensionamento do sistema.</li> <li>• Ausência de investimentos para ampliação do sistema.</li> </ul>				
	2	Rompimento da adutora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interrupção do SAA</li> <li>• Acidentes</li> <li>• Prejuízo financeiro à companhia de abastecimento de água.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pressão elevada.</li> <li>• Corrosão dos tubos</li> <li>• Furtos.</li> <li>• Fadiga dos tubos</li> </ul>				
	3	Interrupção do bombeamento de água à ETA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausência de fluxo de água.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Defeitos mecânicos e elétricos</li> <li>• Ausência de manutenção regular do conjunto motor-bomba;</li> <li>• Furtos de equipamentos.</li> </ul>				
	4	Ausência de manutenção preventiva da adutora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Furtos</li> <li>• Influência indireta no equilíbrio do abastecimento na região.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausência de uma gestão preventiva.</li> </ul>				
	5	Ausência de bomba reserva	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprometimento da</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Defeito na bomba reserva.</li> </ul>				



		<p>continuidade do fluxo de água para a etapa seguinte do abastecimento,</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não aquisição de uma segunda bomba para fins de prevenção (reserva).</li> </ul>	
6	Esvaziamento da adutora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprometimento da continuidade do fluxo de água para abastecimento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Defeito do conjunto motor-bomba;</li> <li>• Pane elétrica.</li> <li>• Presença de sólidos grosseiros no interior da tubulação;</li> <li>• Manutenção periódica;</li> <li>• Rompimento da adutora.</li> </ul>	
7	Presença de obstáculos internos (sólidos grosseiros) na adutora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprometimento da continuidade do fluxo de água para abastecimento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausência de unidades de gradeamento e desarenação;</li> </ul>	
8	Mau estado de conservação dos dispositivos de tomada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprometimento da qualidade do serviço.</li> <li>• Inoperabilidade do serviço de abastecimento de água.</li> <li>• Ausência de dispositivos de controle (válvulas, registros e ventosas)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mau uso e conservação dos equipamentos.</li> <li>• Ausência de manutenção preventiva</li> </ul>	

TABELA 6: FMEA da etapa de Tratamento

PROCESSO	ITEM	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	POTENCIAL CAUSA DA FALHA	S	O	D	NPR
<b>TRATAMENTO E.T.A.</b>	1	Recebimento de água com turbidez elevada	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contaminação dos tanques, impossibilidade de uso da água, necessidade de esvaziamento e limpeza dos tanques, parada de produção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Falha no monitoramento na etapa de captação</li> <li>Falha no sensor de turbidez: não calibrado ou danificado.</li> </ul>				
	2	Recebimento de água com contaminação química ou biológica	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contaminação dos tanques, impossibilidade de uso da água, necessidade de esvaziamento e limpeza dos tanques, parada de produção,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ausência ou ineficiência no monitoramento na captação, fazendo com que a ETA não esteja apta ou capacitada ao tratamento adequado da água captada.</li> </ul>				
	3	Controle inadequado da dosagem do coagulante. (Baixa coagulação no tratamento)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Passagem de partículas poluentes / coloidais (impurezas).</li> <li>Prejuízo ao desempenho do tratamento, necessidade de descarte da água, diminuição da vida útil dos filtros, perda de materiais consumidos no tratamento, parada de produção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Falha no dosador de coagulante - rompimento ou entupimento da tubulação.</li> <li>Operação do processo sem o controle adequado dos mecanismos de coagulação mais apropriados à qualidade e à tecnologia de tratamento empregada.</li> </ul>				
	4	Falta de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Parada de produção e falta de água para abastecer reservatórios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pane elétrica</li> <li>Incêndio;</li> <li>Fenômenos climáticos extremos;</li> <li>Ausência de gerador reserva.</li> </ul>				
	5	Falha no processo de floculação	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deficiência na formação dos flocos.</li> <li>Aumento da afluência de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tempo de detenção inadequados, propiciando o surgimento de zonas mortas (curtos-circuitos).</li> </ul>				

partículas às unidades filtrantes.

**6** Falha na operação do decantador quanto as variações de qualidade de água e de vazões.

- **FALTA COMPLETAR**

- Dificuldade de variar os gradientes de velocidade, de acordo com as variações da qualidade da água bruta e de vazões.
  - Gradiente de velocidade inadequado nas câmaras e na passagem entre elas.
  - Tempo de detenção abaixo do mínimo do qual as taxas de agregação e erosão se equivalem, reduzindo substancialmente a eficiência da floculação;
  - Baixo número de câmaras, favorecendo o surgimento do efeito curto-circuito.
  - Alteração no mecanismo de floculação. Principalmente a ortocinética.
- Sobrecarga dos decantadores
- Má limpeza dos decantadores.
- Arraste de flocos.
- Coleta desigual de água decantada por desnivelamento dos vertedores ou bordas das calhas de coleta de água tratada.
  - Gradiente excessivo na conexão floculador-decantador e nas estruturas de entrada do decantador, com possibilidade de ruptura dos flocos.
  - Favorecimento de zonas mortas ou curtos-circuitos; distribuição desigual da água floculada para os decantadores, por

7 Falha no processo de filtração

- **FALTA COMPLETAR**

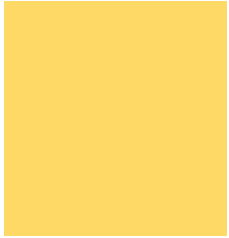
deficiência do canal de distribuição, ou da cortina distribuidora.

- Formação de bolhas de ar e de lodo no interior do leito filtrante
- Formação de caminhos preferenciais da água
- Riscos de picos de turbidez e traspasse de cistos e oocistos de protozoários.
- Controle inadequado da operação pós-lavagem
  - Deficiência na lavagem dos filtros
  - Material filtrante inadequado.
  - Má operabilidade do sistema por parte dos funcionários.
  - Taxa de filtração inadequada.
  - Granulometria do leito filtrante inadequado à qualidade da água e à técnica de tratamento empregada.

8 Falha no processo de desinfecção

- Presença de organismos patogênicos na água.

- Local inadequado de aplicação do cloro.
- Controle ineficiente da dosagem do cloro.
- Estado de conservação dos equipamentos de dosagem.



- Ausência ou insuficiência do controle residual desinfetante.
- pH de desinfecção insatisfatório
- Falha de projeto ou dispositivos de dosagem de desinfecção.

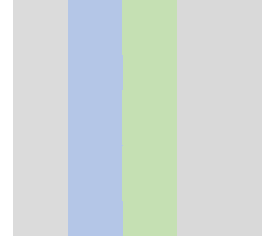


TABELA 7: FMEA da etapa de Elevação da Água Tratada

PROCESSO	ITEM	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	POTENCIAL CAUSA DA FALHA	S	O	D	NPR
ELEVAÇÃO ÁGUA TRATADA	1	Falha no Bombeamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Falta de água nos reservatórios e na rede de distribuição.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Falta de energia – concessionária ou problema interno</li> <li>Pane no conjunto motor-bomba</li> <li>Não acionamento de válvulas</li> <li>Problema de software ou acionamento remoto, para o caso de sistemas automatizados..</li> </ul>				

TABELA 8: FMEA da etapa de Reservação

PROCESSO	ITEM	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	POTENCIAL CAUSA DA FALHA	S	O	D	NPR
RESERVAÇÃO	1	Estado de conservação do reservatório insatisfatório	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fissuras, trincas, rachaduras e vazamentos.</li> <li>Impossibilidade de uso do reservatório, falta de água durante o período de reparo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elementos estruturais subdimensionados.</li> <li>Precário estado de conservação e manutenção da estrutura.</li> <li>Tubulações mal instaladas ou com desgaste.</li> <li>Ausência de impermeabilização na fundação.</li> </ul>	6	3	5	
	2	Contaminação ou alteração da qualidade da água.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acúmulo de sólidos no fundo do reservatório.</li> <li>Contaminação da água e do reservatório, impossibilidade de uso da água, necessidade de esvaziamento e limpeza dos reservatórios, interrupção no abastecimento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entrada de materiais orgânicos e inorgânicos decorrente da não vedação adequada do reservatório.</li> </ul>				
	3	Extravasamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transbordo, perda de água e material utilizado no tratamento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sensor de nível descalibrado ou danificado.</li> <li>Válvula com defeito.</li> </ul>				
	4	Esvaziamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Falta de água para abastecer a rede de distribuição.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sensor de nível descalibrado ou danificado.</li> <li>Válvula com defeito</li> <li>Falta de energia.</li> <li>Ausência do conjunto motor-bomba</li> </ul>				



5 Acidente de trabalho no processo de limpeza

- Prolongamento da interrupção no abastecimento, potencial risco à vida humana.

- Trabalho em espaço confinado ou altura.
- Falha de equipamento de segurança
- Falha ou negligência durante a tarefa a ser realizada.
- Ausência de EPI.

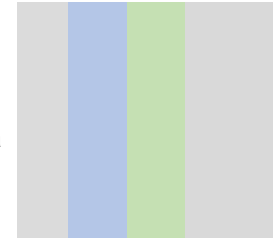




TABELA 9: FMEA da etapa de Distribuição

PROCESSO	ITEM	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	POTENCIAL CAUSA DA FALHA	S	O	D	NPR
DISTRIBUIÇÃO	1	Pressões excessivas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior consumo;</li> <li>• Danos à tubulação;</li> <li>• Maiores índices de rupturas e vazamento causando perdas na distribuição.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensor de pressão descalibrado ou danificado;</li> <li>• Válvula Redutora de Pressão (VRP) desregulada, danificada ou com acúmulo de sujeira</li> </ul>				
	2	Pressões reduzidas e/ou Baixa pressão na rede	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de água ou baixa pressão na rede.</li> <li>• Pressão de fornecimento abaixo do limite mínimo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Booster com defeito;</li> <li>• Ventosa com defeito;</li> <li>• Incrustação na tubulação;</li> <li>• Tubulação subdimensionada.</li> <li>• Problemas no conjunto motor/bomba.</li> </ul>				
	3	Ruptura da tubulação ou vazamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perda e falta de água;</li> <li>• Acidentes geológicos urbanos associados a vazamento da rede de abastecimento de água.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Danos causados por obras de terceiros.</li> <li>• Material e idade da tubulação</li> <li>• Pressão excessiva na rede.</li> <li>• Erros durante a construção ou no reparo.</li> <li>• Defeito nos sensores de pressão</li> <li>• Raízes de árvores.</li> <li>• Furto de água.</li> <li>• Ligações clandestinas de água.</li> </ul>				

- |   |  |   |   |
|---|--|---|---|
| 4 | Incrustações   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do diâmetro efetivo devido ao aumento das incrustações no interior das tubulações, ocasionando o bloqueio do sistema de tubulação;</li> <li>• <b>Elevação da pressão interna</b> nos tubos, o que pode implicar em <b>rompimentos</b>;</li> <li>• Alta demanda em manutenção;</li> <li>• Perda de carga;</li> <li>• Aumento do consumo de energia;</li> <li>• Acúmulo de ferrugem nos tubos que pode provocar corrosão;</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Precipitação de compostos químicos</b> tanto inorgânicos (como minerais) quanto orgânicos, que se acumulam com o tempo nas <b>paredes da tubulação</b>.</li> <li>• <b>Sedimentação</b> de partículas suspensas presentes no líquido transportado sobre a superfície</li> <li>• <b>Crescimento biológico de microrganismos</b> – como algas e bactérias.</li> <li>• <b>Reações químicas</b>, como as de corrosão sobre a superfície da tubulação.</li> </ul> |
| 5 | Proximidade da tubulação de água à rede coletora de esgoto | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Probabilidade de contaminação da água potável.</li> <li>• Risco de contrair doenças de veiculação hídrica;</li> <li>• Comprometimento da qualidade da água fornecida ao usuário.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Traçado errôneo das redes de abastecimento de água e de esgoto.</li> <li>• Ausência de estudo preliminar para a construção das redes.</li> </ul>   |
| 6 | Erros de manobra na rede                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erro na operabilidade do sistema;</li> <li>• Intermitência do serviço;</li> <li>• Comprometimento da qualidade e do fornecimento do</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erros no procedimento operacional.</li> <li>• Falta de treinamento e ineficiência do operário;</li> <li>• Falta de identificação de válvulas e</li> </ul>  |

		serviço da companhia prestados ao consumidor.	registros;
7	Precário estado de conservação e manutenção da tubulação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vazamentos na rede de distribuição.</li> <li>• Altos índices de ruptura e reparos na rede de distribuição, impedindo a continuidade do abastecimento;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapa da rede confuso ou desatualizado;</li> <li>• Negligência nas operações de manutenção, limpeza e conserto da rede.</li> <li>• Deterioração da qualidade água.;</li> <li>• Aumento da perda física de água com o passar dos anos.</li> <li>• Rede construída com material inapropriado.</li> </ul>
8	Ausência ou diminuição dos índices de CRL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rede vulnerável ao crescimento de organismos patogênicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo consumo devido à baixa densidade populacional;</li> <li>• Ruptura da rede de distribuição.</li> <li>• Dosagem insuficiente de cloro na ETA.</li> </ul>
9	Presença de perigo por <i>Escherichia coli</i> ou químicas ou organolépticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporcionam grandes danos à saúde em longo prazo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presença de esgoto doméstico e industrial próximo à rede de distribuição;</li> <li>• Contato diretamente ou indiretamente da água potável com fertilizantes agrícolas, agrotóxicos, compostos orgânicos sintéticos e/ou metais pesados;</li> <li>• Tubulação antiga e com mau estado de conservação;</li> <li>• Aumento das florações de cianobactérias nos mananciais;</li> </ul>

10	Presença de perigo por substâncias químicas (subprodutos da desinfecção)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Risco à saúde humana.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presença de composto orgânico: Geosmina.</li> <li>Deficiência na etapa de cloração.</li> <li>A eutrofização de corpos d'água e a ocorrência de florações podem acarretar diversos problemas, como sabor e odor, aumento da formação de subprodutos indesejados da cloração;</li> <li>Características e concentração da matéria orgânica natural;               <ul style="list-style-type: none"> <li>pH do meio;</li> <li>Tempo de contato;</li> <li>Temperatura;</li> <li>Dosagem de cloro e residual de cloro livre;</li> <li>Concentração de brometos.</li> <li>Aumento das florações de cianobactérias nos mananciais.</li> </ul> </li> </ul>
11	Presença de perigo por Turbidez e cor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aspecto desagradável e impossibilidade de uso da água, necessidade de descarte da água e limpeza da tubulação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erros de manobra durante manutenção;</li> <li>Danos causados por obras de terceiros;</li> <li>Desgaste do material da tubulação;</li> <li>Erros de procedimento de limpeza;</li> </ul>