

Antônio Jorge Silva Araújo Junior

**Avaliação de Riscos Aplicada como Metodologia
de Controle e Segurança da Qualidade da Água
no Sistema de Abastecimento de Belém - PA**

Belém, Pará, Brasil

2016

Antônio Jorge Silva Araújo Junior

**Avaliação de Riscos Aplicada como Metodologia de
Controle e Segurança da Qualidade da Água no Sistema
de Abastecimento de Belém - PA**

Dissertação submetida à Coordenação do
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ci-
vil, na Área de Concentração de Engenha-
ria Hídrica, da Universidade Federal do Pará,
como requisito para obtenção do grau de Mes-
tre em Engenharia Civil

Universidade Federal do Pará – UFPA

Instituto de Tecnologia – ITEC

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Orientador: Prof^a Dr^a Luiza Carla Girard Mendes Teixeira

Belém, Pará, Brasil

2016

Antônio Jorge Silva Araújo Junior, 1992 –

Avaliação de Riscos Aplicada como Metodologia de Controle e Segurança da Qualidade da Água no Sistema de Abastecimento de Belém - PA/ Antônio Jorge Silva Araújo Junior. – 2016.

112 p. : il. (algumas color.)

Orientador: Prof^a Dr^a Luiza Carla Girard Mendes Teixeira

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará – UFPA

Instituto de Tecnologia – ITEC

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2016.

1. Controle da qualidade da água - Belém (PA). 2. Água – qualidade – Belém (PA). 3. Água potável. 4. Água – consumo. I. Título

CDD 23. ed. 628.161098115

Antônio Jorge Silva Araújo Junior

**Avaliação de Riscos Aplicada como Metodologia de
Controle e Segurança da Qualidade da Água no Sistema
de Abastecimento de Belém - PA**

Dissertação submetida à Coordenação do
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ci-
vil, na Área de Concentração de Engenha-
ria Hídrica, da Universidade Federal do Pará,
como requisito para obtenção do grau de Mes-
tre em Engenharia Civil

Trabalho aprovado. Belém, Pará, Brasil, 08 de março de 2016:

**Prof^a Dr^a Luiza Carla Girard Mendes
Teixeira**
Orientadora (UFPA)

**Prof^o Dr^o Claudio José Cavalcante
Blanco**
Examinador Interno (UFPA)

Prof^o Dr^o Ricardo Franci Gonçalves
Examinador Externo (UFES)

Belém, Pará, Brasil
2016

Agradecimentos

À minha família, pelo incentivo e apoio na minha realização profissional e pessoal, em especial aos meus pais, vó e padrinho, que disponibilizaram a estrutura e apoio necessário quando foi preciso.

À Prof^a Luiza Girard, por acreditar em minha capacidade, me orientar da melhor forma possível, e conceder mais uma vez o privilégio de ser seu orientando.

Aos profissionais Prof^o Alírio Cesar de Oliveira Junior, Prof^a Ilka Suely, Prof^a Vera Brás, Msc. Márcia Uchôa e Msc. Letícia Costa que dispuseram de seu tempo, conhecimento e boa vontade, para reunião da FMEA.

À todos amigos, em especial, Ana Carolina Assmar, Artur Abreu, Carlos Eduardo Aguiar, Gabrielle Rocha, Heitor Sanjad e Rodolfo Sato, pelo apoio e momentos de descontração.

À Karissa Auad e Amanda Barros, a primeira por me ajudar nas análises laboratoriais e a segunda por ajudar na coleta de informações junto a COSANPA.

À COSANPA e todos os seus funcionários que contribuíram direta ou indiretamente, fornecendo dados e autorizações para realização de coleta nas suas estações de tratamento e setores de abastecimento.

A todos que não foram citados e que de alguma forma contribuíram para realização desta pesquisa.

*“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar,
não seremos capazes de resolver os problemas causados pela
forma como nos acostumamos a ver o mundo”.*
(Albert Einstein)

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo principal utilizar a abordagem de avaliação de risco FMEA como metodologia de controle e segurança da qualidade da água no sistema de abastecimento de Belém. Durante o período de monitoramento foram determinados os indicadores cloro residual livre, turbidez, cor aparente, pH, fluoreto, ferro total, coliformes totais e E.coli. Foram realizadas coletas e análises em 46 pontos da zona central de abastecimento de Belém, compreendendo estações de tratamento, descida dos reservatórios dos setores e na rede de abastecimento. Cada conjunto de dados recebeu tratamento estatístico descritivo, remoção de outliers e passou pelo teste de Kruskal Wallis para verificar diferenças significativas entre indicadores de diferentes setores de abastecimento. Foi verificado que das 3680 determinações, 706 apresentaram não conformidades com a portaria 2914 (BRASIL, 2011), dentre os quais 582 foram na rede de abastecimento, 92 nas descidas dos reservatórios dos setores e 32 nas estações de tratamento. A metodologia FMEA foi aplicada a todos os indicadores analisados, e os pontos divididos em três grupos: REDE, DRS e ETA's. Para o grupo REDE foram identificados 18 pontos de risco moderado e 18 pontos de risco alto. Para o grupo DRS e ETA's todos os pontos foram de risco moderado. Nesta pesquisa não houve ocorrência de risco desprezível e crítico. Os indicadores fluoreto, coliformes totais e E.coli foram os mais influentes, cada um respondendo por aproximadamente 15% na ponderação de riscos. Contudo, o indicador fluoreto contribuiu para elevar a categoria dos riscos, pois apresentou 100% de não conformidades com a portaria 635 (BRASIL, 1975) em todos os pontos analisados. Após a categorização de risco, foram elaborados dois mapas, um de pontos e outro de isolinhas, representando os riscos referentes à qualidade da água para cada um dos pontos estudados. O mapa de isolinhas foi o que melhor representou o risco, pois apresentou maior abrangência de informações.

Palavras-chaves: Vigilância e controle da qualidade da água. Abastecimento de água. Avaliação de risco. FMEA.

Abstract

This study aims to use the risk assessment approach FMEA as control and safety methodology of water quality in Belém supply system. During the monitoring period were determined indicators free residual chlorine, turbidity, apparent color, pH, fluoride, total iron, total coliforms and E. coli. Collections and analyzes were performed in 46 points of Belém supplies central zone, including water treatment plants, reservoirs drop in the sectors and in the supply network. Each set of data received descriptive statistical analysis, outlier removal and passed the Kruskal Wallis test to determine significant differences between indicators of different supply sectors. It was found that the 3680 measurements, 706 showed no compliance with potability standards (BRASIL, 2011), of which 582 were in the supply network, 92 on the reservoirs drop in the sectors and 32 at treatment plants. The FMEA methodology was applied to all the analyzed indicators, and the points were divided into three groups: REDE, DRS and ETA's. For the REDE group were identified 18 points of moderate risk and 18 points high risk. For the DRS group and ETA's all the points were moderate risk. In this research there was no occurrence of despicable risk and critical. The indicators fluoride, total coliforms and E. coli were the most influential, accounting for approximately 15% in the risk weights. However, fluoride indicator contributes to increase the category of risk, because it showed 100% nonconformities with the fluor standards (BRASIL, 1975) in every point. After the categorization of risk, were prepared two maps, one with points and other with contours, representing the risks related to the quality of water for each one of the studied points. The contoured map was best represented the risk, as it presented more comprehensive information.

Key-words: Surveillance and control of water quality. Water supply. Risk assessment. FMEA.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Sistema de abastecimento de água esquemático	18
Figura 2 – Formas de captação de um Sistema de Abastecimento de Água	20
Figura 3 – Principais Metodologias de Avaliação de Análise de Riscos	29
Figura 4 – Fluxograma das Etapas da Análise de Risco	30
Figura 5 – Esquema de funcionamento do FMEA	32
Figura 6 – Exemplo de mapa de risco de sistema representando unidades do sistema	36
Figura 7 – Exemplo de mapa de risco de sistema representando pontos geográficos do sistema	37
Figura 8 – Zonas de Abastecimento do SAA da RMB	38
Figura 9 – Área de Estudo - Setores de Abastecimento da Zona Central	39
Figura 10 – Fluxograma Geral do SAA Bolonha/Utinga	40
Figura 11 – Esquema da captação do Sistema Bolonha - Utinga	41
Figura 12 – Localização das Estações de Tratamento de Água	42
Figura 13 – Localização dos Pontos de Amostragem	48
Figura 14 – Escalas de Classificação dos indicadores	53
Figura 15 – Comparações múltiplas entre dados de cor aparente	60
Figura 16 – Comparações múltiplas entre dados de turbidez	61
Figura 17 – Comparações múltiplas entre dados de pH	62
Figura 18 – Comparações múltiplas entre dados de ferro total	63
Figura 19 – Comparações múltiplas entre dados de CRL	64
Figura 20 – Comparações múltiplas entre dados de fluoreto	65
Figura 21 – Escala de classificação dos indicadores	66
Figura 22 – Mapa de pontos de risco do SAA de Belém	84
Figura 23 – Mapa de isolinhas de risco do SAA de Belém	85
Figura 24 – Mapa de pontos de risco do SAA de Belém desconsiderando o fluoreto .	87

Lista de tabelas

Tabela 1 – Classificação de severidade (S)	34
Tabela 2 – Classificação de ocorrência (O) de impactos ambientais reais	34
Tabela 3 – Classificação de detecção (D)	34
Tabela 4 – Classificação de abrangência (A) de impactos ambientais	35
Tabela 5 – Características físicas dos setores	43
Tabela 6 – Dados comerciais dos setores	43
Tabela 7 – Valores de Referência para as variáveis utilizadas	44
Tabela 8 – Critérios para definição dos pontos de amostragem do monitoramento de vigilância da qualidade da água	46
Tabela 9 – Pontos de Coleta	47
Tabela 10 – Métodos, equipamentos e faixa de leitura	49
Tabela 11 – Exemplo de tabela de ocorrência (O)	51
Tabela 12 – Exemplo de Formulário FMEA preenchido	52
Tabela 13 – Exemplo de ponderação de riscos	54
Tabela 14 – Cálculo do risco máximo e a categorização do risco	54
Tabela 15 – Categorização consolidada por ponto	55
Tabela 16 – Outliers detectados pelo teste de Grubbs	56
Tabela 17 – Resultados obtidos para cada variável: rede, descida dos reservatórios e ETA's	57
Tabela 18 – Tabela de escore para Severidade (S)	67
Tabela 19 – Tabela de escore para Ocorrência (O)	67
Tabela 20 – Tabela de escore para Detecção (D)	67
Tabela 21 – Tabela de escore para Abrangência (A)	68
Tabela 22 – Formulário FMEA para grupo REDE e DRS (43 pontos)	69
Tabela 23 – Ponderação dos riscos do grupo REDE e DRS para todos os indicadores utilizados	71
Tabela 24 – Classificação do risco máximo para o grupo REDE e DRS	72
Tabela 25 – Categorização consolidada para o grupo REDE	72
Tabela 26 – Tabela resumo dos riscos do grupo REDE	77
Tabela 27 – Categorização consolidada para o grupo DRS	78
Tabela 28 – Formulário FMEA para grupo ETA's (3 pontos)	80
Tabela 29 – Ponderação dos riscos do grupo ETA's para todos os indicadores utilizados	81
Tabela 30 – Classificação do risco máximo para o grupo ETA's	81
Tabela 31 – Categorização consolidada para o grupo ETA's	82

Lista de abreviaturas e siglas

ANOVA	Analysis of Variance
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
COSANPA	Companhia de Saneamento do Pará
CRC	Cloro Residual Combinado
CRL	Cloro Residual Livre
DRS	Descida dos Reservatórios dos Setores
DST	Defined Substrate Technology
EEAB	Estação Elevatória de Água Bruta
EEAT	Estação Elevatória de Água Tratada
EPA	United States Environmental Protection Agency
ETA	Estação de Tratamento de Água
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
GESA	Grupo de Estudos em Gerenciamento de Água e Reuso de Efluentes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LAESA	Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental
LAMAG	Laboratório Multiusuário de Tratabilidade de Águas
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial Hidrogeniônico
RMB	Região Metropolitana de Belém
RPN	Risk Priority Number
SAA	Sistema de Abastecimento de Água

SAAEB Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém
UFPA Universidade Federal do Pará
USP Universidade de São Paulo

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	17
2.1	Geral	17
2.2	Específicos	17
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1	Sistema de Abastecimento de Água	18
3.2	Vigilância e Controle da Qualidade da Água	21
3.3	Indicadores Sentinelas e Auxiliares	22
3.3.1	Cloro Residual Livre	23
3.3.2	Turbidez	24
3.3.3	Cor aparente	24
3.3.4	Potencial Hidrogeniônico (pH)	25
3.3.5	Fluoretos	25
3.3.6	Ferro Total	26
3.3.7	Coliformes Totais e Escherichia coli	26
3.4	Análise de Risco	27
3.4.1	FMEA	31
4	MATERIAL E MÉTODOS	38
4.1	Descrição do Sistema de Abastecimento de Água - Bolonha - Utinga	38
4.2	Variáveis de Qualidade da Água	43
4.3	Metodologia de Amostragem	45
4.3.1	Cronograma de Amostragem	48
4.3.2	Metodologia de Coleta e Preservação das Amostras	48
4.4	Metodologia dos Procedimentos Analíticos	49
4.5	Tratamento dos Dados	49
4.5.1	Remoção das <i>outliers</i>	49
4.5.2	Comparações Múltiplas de Kruskal Wallis 'H' e teste de Dunn	50
4.6	Metodologia FMEA	51
4.6.1	Planejamento	51
4.6.2	Análise das falhas em potencial	51
4.6.3	Avaliação das falhas potenciais	52
4.6.4	Ponderação dos riscos	53
4.6.5	Cálculo do risco total	54

4.7	Mapas de risco	55
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
5.1	Comparações Múltiplas de Kruskal-Wallis 'H' e teste de Dunn	59
5.2	Aplicação da FMEA	65
5.2.1	Cálculo do Risco para o Grupo REDE e DRS	68
5.2.2	Cálculo do Risco para o Grupo ETA's	79
5.3	Mapa de Risco	82
5.4	Avaliação do risco como instrumento de Controle e Segurança da Qualidade da Água	88
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	90
	REFERÊNCIAS	92
	ANEXO A – VALORES PARA O TESTE DE GRUBBS	97
	ANEXO B – ESTATÍSTICA DESCRITIVA, CONFORMIDADES E NÃO CONFORMIDADES DOS PONTOS	98
	ANEXO C – COMPARAÇÃO MÚLTIPLA: GRUPOS SIGNIFICA- TIVAMENTE DIFERENTES	108

1 Introdução

A função essencial da água para manutenção da vida humana e para o desenvolvimento socioeconômico é de conhecimento geral no contexto atual. Diante disso, e da consciência de que a disponibilidade da água no planeta tem sido insuficiente para atender a demanda, principalmente em determinadas regiões do mundo, se faz necessário o consumo responsável do recurso, visando a manutenção do mesmo, para os diversos usos. Os gestores das companhias de saneamento devem ter, por obrigação, a consciência de considerar estes fatores em todas as suas ações, não permitindo cenários como os atuais, onde, segundo IBNET (2011) as perdas de água potável em sistemas de abastecimento são de aproximadamente 39% no Brasil.

Durante muitos anos os impactos antrópicos sobre as águas não foram percebidos, ou foram insignificantes frente a alta disponibilidade e do poder de autodepuração da água. No entanto, as culturas e sociedades foram se desenvolvendo, a demanda por água aumentou exponencialmente, a crescente industrialização, irrigação, crescimento populacional foram fatores responsáveis pela pressão sob os recursos hídricos que se prolonga até o momento atual.

A pressão sob os recursos hídricos não se limita apenas às questões de quantidade, mas também de qualidade. A qualidade da água tem sido comprometida desde o manancial, através de lançamentos de efluentes e resíduos, gerando conseqüentemente, a necessidade de altos investimentos nas estações de tratamento, além da alteração de dosagens de produtos químicos para garantir a qualidade da água.

A qualidade da água é essencial para garantir a segurança da saúde dos consumidores. A relação entre doenças *vs* qualidade da água ingerida já foi alvo de inúmeros estudos. Esrey *et al.* (1991), por exemplo, mostraram que intervenções no saneamento tem impacto direto na morbidade por diarreia, ou seja, quanto melhores as condições sanitárias, menos casos da doença são registrados.

A água para consumo humano deve passar por processos de tratamento, visando a potabilidade, e assegurando que os diversos contaminantes, sejam agentes físico-químicos ou biológicos, não ultrapassem os valores de referência estipulados pela legislação ambiental. No Brasil, a portaria 2914 do Ministério da Saúde é a legislação que dispõe sobre os valores máximos permitidos para águas potáveis e dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano (BRASIL, 2011).

Segundo Brasil (2006c) tanto o controle da qualidade da água, quanto a sua vigilância, são instrumentos essenciais para a garantia da proteção à saúde dos consumidores, e como consequência disso, tem-se menor número de casos de doenças relacionadas ao

consumo de água de má qualidade, o que influencia positivamente no sistema de saúde.

Em se tratando de controle de qualidade e busca de melhorias a análise de risco vem sendo recentemente empregada em sistemas de abastecimento de água visando melhorar o processo produtivo. Segundo Brown (1998) a análise de risco é o estudo de identificação, avaliação e recomendações aplicado para instalações industriais ou outras atividades que possam gerar riscos. O fornecimento de água para consumo humano fora dos padrões de potabilidade está associado a riscos, por exemplo, contaminação por agentes patogênicos, sendo possível a aplicação de metodologias de análise de risco para identificar e prever a ocorrência de efeitos indesejáveis no sistema de distribuição.

Uma das metodologias de análise de risco que vem sendo empregada em diversas áreas do conhecimento é a "Failure Mode and Effects Analysis" (FMEA). É uma metodologia de fácil aplicação e uma poderosa ferramenta para identificar fragilidades do sistema e evitar ou diminuir as potenciais falhas do sistema, considerando três medidas, a probabilidade de ocorrência da falha (O), o impacto ou a gravidade da falha (S) e a capacidade para detectar a falha (D) (BAHRAMI; BAZZAZ; SAJJADI, 2012).

Segundo Aven (2015b) na FMEA os riscos são quantificados (ranqueados) de acordo com a frequência de um evento (falha) específico e suas respectivas consequências. A seleção apropriada dos eventos de falha, como a alta concentração de partículas ou coliformes estão diretamente correlacionadas com risco microbiológico. Utilizando esses ranqueamentos, os riscos podem ser quantificados para elementos individuais do processo de tratamento ou para o sistema como todo.

Vieira (2012) por exemplo, utilizou a análise de risco, aplicando a metodologia FMEA para o monitoramento da segurança hídrica, no que tange a qualidade da água para o consumo no sistema de abastecimento de água de Campina Grande - PB, e Matos (2014) aplicou a análise de risco em sistemas de captação e tratamento de água de chuva na Região Metropolitana de Belém.

Como experiências internacionais, pode-se citar a aplicação da análise de risco no sistema de abastecimento de água de Semarang (Indonésia) realizado por Budiyono *et al.* (2015), e a utilização no sistema de abastecimento de água da comunidade autônoma de Madrid (Espanha) por Cubillo e Pérez (2014). Todos os autores chegaram a conclusão de que a aplicação desta metodologia é satisfatória para identificação de falhas, correção das mesmas e subsídio para tomada de decisões, mostrando assim, ser uma ferramenta eficaz.

Diante do exposto, este trabalho tem o propósito de realizar a análise de riscos em um sistema de abastecimento de água de grande porte visando verificar a metodologia como mecanismo de monitoramento de controle e vigilância da qualidade da água.

O presente trabalho foi dividido em 6 capítulos estruturados da seguinte forma: O primeiro capítulo apresenta a introdução do trabalho. No segundo capítulo são apontados

os objetivos específicos, que demonstram quais as etapas e ações serão realizadas para o alcance do objetivo principal.

O terceiro capítulo apresenta a fundamentação teórica, em que são pontuados os principais conceitos a respeito do tema em estudo, relevando questões pertinentes como *Análise de Risco, Indicadores sentinelas e auxiliares*, dentre outras.

O quarto capítulo apresenta a metodologia utilizada para alcançar os objetivos do trabalho. No quinto capítulo tem-se os resultados obtidos e a discussão. Finalmente, no sexto capítulo apresentam-se as conclusões e recomendações do trabalho.

2 Objetivos

2.1 Geral

Estudar a aplicação da avaliação de risco como metodologia de controle e segurança da qualidade da água no sistema de abastecimento de Belém.

2.2 Específicos

- Realizar diagnóstico da qualidade da água na zona central do sistema de abastecimento de Belém;
- Aplicar a metodologia de avaliação de risco "*Failure Mode and Effect Analysis*" (FMEA) no sistema de abastecimento de água da zona central de Belém;
- Estudar a variação espacial do risco de acordo com os indicadores utilizados (cloro residual livre, turbidez, cor aparente, pH, fluoretos, ferro total e coliformes totais e E.coli) no sistema de abastecimento de água potável da zona central de Belém;
- Comparar a aplicação do FMEA com metodologias tradicionais de monitoramento da portaria 2914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), e da "*Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano*" (BRASIL, 2006c), e verificar o êxito ou não da aplicação do método como instrumento de monitoramento do sistema;
- Elaborar mapas de risco do sistema de abastecimento de acordo com os resultados.

3 Fundamentação Teórica

3.1 Sistema de Abastecimento de Água

De acordo com Heller e Pádua (2010) o abastecimento de água mantém uma relação ambígua com o ambiente, especialmente o hídrico: de um lado é um usuário primordial; de outro, ao realizar o uso provoca impactos. Uma relação harmoniosa com o ambiente é indispensável a um sistema de abastecimento, uma vez que há a dependência da preservação do mesmo para garantir o abastecimento futuro.

Há também a relação da qualidade da água com a saúde pública, onde as doenças de veiculação hídrica são potencializadas pela má qualidade da água distribuída. Segundo Heller e Pádua (2010), em meados do século XIX o médico John Snow mostrou claramente em suas investigações que a maior proporção de mortes por cólera estava relacionada às moradias que eram abastecidas por águas contaminadas, tal descoberta foi precursora da nova abordagem científica para o estudo das questões de saúde pública.

O sistema de abastecimento deve ter em sua concepção a harmonia das relações com o meio ambiente e com a saúde humana. Dito isso, Azevedo Netto *et al.* (1998) definem o sistema de abastecimento de água como o conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável a uma comunidade para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos. Azevedo Netto *et al.* (1998) afirmam também que a água deve ser distribuída em quantidade e qualidade satisfatórias, do ponto de vista físico, químico e bacteriológico.

Os sistemas tradicionais de abastecimento de água possuem as seguintes unidades: manancial; captação; adução; estação elevatória; estação de tratamento de água; reservação, e distribuição, conforme esquema apresentado na Figura 1.

Figura 1: Sistema de abastecimento de água esquemático



Fonte: Elaborado pelo Autor

Segundo Brasil (2006a) o manancial é a reserva de água que abastecerá o sistema, pode ser superficial, subterrâneo ou proveniente de chuvas, deve ter quantidade e qualidade

adequadas ao sistema. É um dos componentes mais vulnerável de um sistema de abastecimento de água, pois está mais susceptível aos impactos naturais e antrópicos, devendo haver proteção como a preservação da vegetação natural e o afastamento de atividades potencialmente poluidoras.

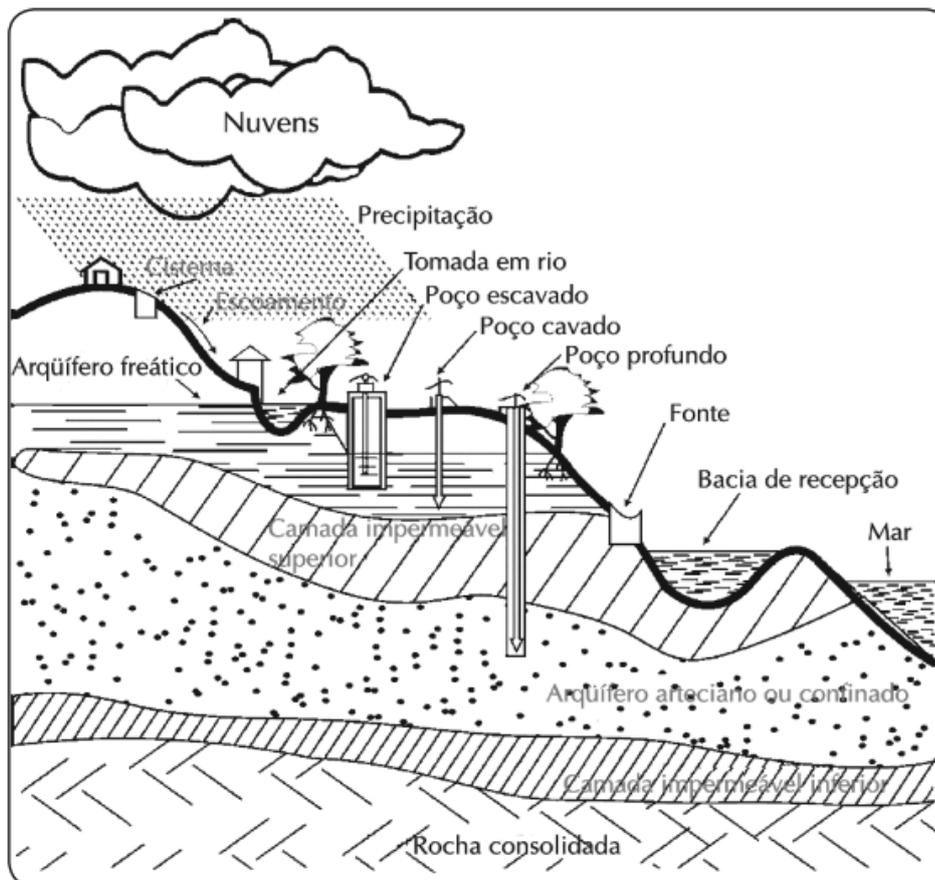
A escolha do manancial é a principal decisão na concepção de um sistema de abastecimento de água. Brasil (2006b) cita critérios que devem ser levados em consideração no momento da escolha do manancial, tais como:

- Realização de análises de componentes orgânicos, inorgânicos e bacteriológico das águas do manancial;
- Estudo de vazões do manancial, verificando se o mesmo pode suprir a demanda para o horizonte de projeto, e;
- Priorização de águas que possuam melhores condições no quesito qualidade, visando diminuir o custo com tratamento.

Ainda segundo Brasil (2006b) dependendo do manancial escolhido, a captação pode ser realizada das seguintes formas, conforme ilustrado na Figura 2:

- Superfície de coleta (água da chuva);
- Caixa de tomada (nascente de encosta);
- Galeria filtrante (fundo de vales);
- Poço escavado (lençol freático);
- Poço tubular profundo (lençol subterrâneo), e;
- Tomada direta de rios, lagos e açudes (mananciais de superfície).

Figura 2: Formas de captação de um Sistema de Abastecimento de Água



Fonte: Brasil (2006b)

A adutora é o conjunto de tubulações, peças especiais dispostas entre unidades do sistema de abastecimento que precedem a rede de distribuição, e é responsável pelo transporte da água entre as mesmas (BRASIL, 2006b), (HELLER; PÁDUA, 2010). Já a estação elevatória é responsável por conduzir o líquido a cotas mais elevadas, quando transportam águas não tratadas são chamadas de elevatórias de água bruta, caso contrário são chamadas de elevatórias de água tratada (HELLER; PÁDUA, 2010).

Segundo Brasil (2011) o sistema público de abastecimento deve fornecer água potável aos consumidores, por isso, deve-se realizar o tratamento da água afim de garantir a qualidade dos pontos de vista físico, químico, biológico e bacteriológico. Para tal a água é direcionada para o conjunto de instalações denominadas *estações de tratamento de água* (AZEVEDO NETTO *et al.*, 1998).

A unidade de reservação tem por objetivo a regularização entre vazões de adução e de distribuição, garantir a pressurização adequada da rede de abastecimento, e, quando necessário, garantir reservas técnicas para combate à incêndio (HELLER; PÁDUA, 2010), (BRASIL, 2006b), (AZEVEDO NETTO *et al.*, 1998).

Heller e Pádua (2010) definem a rede de distribuição como:

"A unidade do sistema de abastecimento de água constituída por tubulações e órgãos acessórios instalados em logradouros públicos, e que tem por finalidade fornecer, em regime contínuo (24h por dia), água potável em quantidade, qualidade e pressão adequadas a múltiplos consumidores (residenciais, comerciais, industriais e de serviços) localizados em uma cidade, vila ou outro tipo de aglomeração urbana."

Sistemas de abastecimento de água concebidos de forma adequada aliado ao projeto, operação e manutenção igualmente corretos, tendem a fornecer boa qualidade de água distribuída à população, no entanto, planos de vigilância e controle são essenciais para garantir a manutenção da qualidade da água.

3.2 Vigilância e Controle da Qualidade da Água

A ONU (2013) conceitua a segurança hídrica como a capacidade de uma população salvaguardar o acesso sustentável a quantidades adequadas e de qualidade aceitável de água para manter os meios de sustento, o bem-estar humano e o desenvolvimento socioeconômico, para garantir a proteção contra a contaminação da água e os desastres a ela relacionados, e para preservar os ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política. No entanto, devido ao número crescente de pressões aplicadas aos recursos hídricos, o problema da disponibilidade de água é considerado fundamental, sendo essa uma questão que deve dominar o século XXI. De acordo com OMS (2011), as companhias devem realizar uma avaliação global de riscos e gestão de riscos, abordagens que englobam todas as etapas do abastecimento, afim de assegurar a segurança do sistema. Tais abordagens são conhecidas como planos de controle e segurança da água, que são partes integrantes do conceito de segurança hídrica.

Segundo Heller e Pádua (2010) apenas o tratamento da água não garante a manutenção da condição da potabilidade, uma vez que a qualidade da água pode se deteriorar nas unidades do sistema (entre o tratamento, a distribuição, a reservação e o consumo). Por esta razão, a legislação brasileira entende que a obtenção e a manutenção da potabilidade da água dependem de uma visão sistêmica, abrangendo a dinâmica desde o manancial até o consumo (BRASIL, 2011). A visão sistêmica deve incluir a proteção dos mananciais, da área de drenagem, a seleção adequada de tecnologias de tratamento, a correta operação das estações de tratamento de água, além de medidas para evitar a contaminação da água no sistema de distribuição, para garantir a segurança sanitária.

A visão sistêmica e as medidas de controle mencionadas por Heller e Pádua (2010) incorporam os conceitos de controle e vigilância da qualidade da água. Segundo Brasil (2011) o conceito de vigilância da qualidade da água para consumo humano é o conjunto de ações adotadas regularmente pela autoridade de saúde pública para verificar o atendimento

à legislação, considerados aspectos socioambientais e a realidade local, para avaliar se a água consumida pela população apresenta risco à saúde humana.

Brasil (2011) também conceitua o controle da qualidade da água para consumo humano como o conjunto de atividades exercidas regularmente pelo responsável pelo sistema ou por solução alternativa coletiva de abastecimento de água, destinado a verificar se a água fornecida à população é potável, de forma a assegurar a manutenção desta condição.

Tanto o controle da qualidade da água, quanto a sua vigilância são instrumentos essenciais para a garantia da proteção à saúde pública. Para tal, é necessário o atendimento da legislação referente à padrões de qualidade para potabilidade de águas para consumo humano que no Brasil é a portaria 2914 do ministério da saúde (BRASIL, 2011). Os parâmetros da portaria 2914 são utilizados como indicadores para execução dos planos de controle e de vigilância da qualidade da água.

3.3 Indicadores Sentinelas e Auxiliares

Diversos parâmetros - relacionados à qualidade da água - de natureza física, química ou biológica, podem servir de indicadores para monitoramento e vigilância da qualidade da água (ARAÚJO, 2010). Os indicadores de qualidade tem como papel principal a transformação de dados em informações para os tomadores de decisão e o público (CALIJURI *et al.*, 2009).

Os indicadores devem ser selecionados de acordo com o tipo de monitoramento que se pretende realizar, devendo-se escolher e quantificar os que sejam capazes de indicar risco potencial à saúde do consumidor (ARAÚJO, 2010).

Os indicadores podem ser sentinelas ou auxiliares. Para Brasil (2002) fontes sentinelas, quando bem selecionadas, são capazes de assegurar representatividade e qualidade às informações produzidas, ainda que não se pretenda conhecer o universo de ocorrências. Sistemas de vigilância sentinela tem como objetivo monitorar indicadores chaves na população geral ou em grupos especiais, que sirvam como alerta precoce ao sistema, não tendo a preocupação com estimativas precisas de incidência ou prevalência da população geral. O termo sentinela, utilizado para os indicadores sanitários, analogamente, pretende conferir aos mesmos a condição de instrumentos de identificação precoce de situações de riscos em relação à água consumida pela população, que podem resultar em doenças de transmissão hídrica, passíveis de prevenção e controle com medidas de saneamento básico (BRASIL, 2006d).

No contexto da qualidade da água para consumo, os indicadores sentinelas possibilitam a identificação antecipada de irregularidades, sinalizando de forma preventiva

qualquer inconformidade na água distribuída aos consumidores. Os indicadores auxiliares representam informações adicionais sobre as eventuais falhas (DOMINGUES *et al.*, 2007).

Brasil (2006d) considera como indicadores fundamentais para monitoramento da qualidade da água: a colimetria (determinação de *E.coli*), turbidez e cloro residual. Dentre estes, Brasil (2006d) aponta a turbidez e o cloro residual livre como indicadores sentinelas.

Para execução deste trabalho foram considerados os indicadores auxiliares: cor aparente, pH, fluoretos, e ferro total. Os indicadores sentinelas escolhidos foram cloro residual livre e turbidez, de acordo com Brasil (2006d), assim como os fundamentais: *Escherichia coli*, e coliformes totais.

A escolha dos indicadores se deu em função da sua importância sanitária e sua relação com possíveis problemas de saúde da população atendida, assim como, a observação prévia em campo da presença de ferro na rede. A seguir são apresentadas as definições e importância de cada indicador.

3.3.1 Cloro Residual Livre

O cloro residual livre é gerado a partir da hidrólise do cloro quando na presença da água, que dá origem ao ácido hipocloroso (HClO) e ao hipoclorito (ClO^-). De acordo com o pH da água poderá acontecer a ionização do ácido hipocloroso que originará os íons hidrogênio e íons hipoclorito. O cloro residual livre corresponde à soma do ácido hipocloroso com o íon hipoclorito (VIEIRA, 2012). As reações abaixo demonstram a hidrólise do cloro (3.1) e em seguida a ionização do ácido hipocloroso (3.2):



A reação do cloro livre com a matéria orgânica natural pode formar subprodutos orgânicos halogenados (DI BERNARDO; PAZ, 2008; OLUKA; STEIGEN; RANDHIR, 2013). Os trihalometanos foram os primeiros detectados na água, seguidos dos ácidos haloacéticos, haloacetoneitrilas haloacetona e halopicrinas (NIKOLAOU; LEKKAS, 2001).

Richter (2009) revela que estudos epidemiológicos da década de 1970 e 1980, em alguns países da Europa, demonstraram que a incidência de morte por câncer era maior em áreas servidas por água superficial que naquelas servidas por água subterrânea. Richter (2009) também afirma que pesquisas posteriores identificaram maior incidência de tumores em águas com teor elevado de trihalometanos, evidenciando assim o risco da presença de cloro livre em contato com matéria orgânica.

Richter (2009) ressalta ainda que a reação do cloro a matéria orgânica é lenta, sendo assim, em sistemas de abastecimento de água, é mais provável a presença de trihalometanos

na rede do que na saída do tratamento.

Conforme portaria 2914 (BRASIL, 2011), a água deve possuir teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L, sendo obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L em qualquer ponto da rede de abastecimento, no entanto é limitado ao valor máximo permitido de 5,0 mg/L, porém a recomendação da portaria é que se tenha concentração de até 2,0 mg/L em qualquer ponto do sistema de abastecimento.

3.3.2 Turbidez

A turbidez é a inferência da concentração das partículas suspensas na água, medida por meio do efeito da dispersão da luz que elas causam. A turbidez pode ser causada por: areia, argila, matéria orgânica, silte, partículas coloidais, plâncton, etc. Do ponto de vista sanitário a turbidez pode gerar risco indireto à saúde, pois é possível que os microrganismos fiquem protegidos pelas partículas presentes na água, de tal forma que a ação do desinfetante seja prejudicada (DI BERNARDO; PAZ, 2008).

A portaria 2914 (BRASIL, 2011) estabelece o valor máximo permitido de 5 uT nos reservatórios e em qualquer ponto da rede para atender o padrão de potabilidade, no entanto, a turbidez não deve exceder o valor de 0,5 uT para filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta) e 1,0 uT para água filtrada por filtração lenta.

3.3.3 Cor aparente

Richter (2009) conceitua a cor como a capacidade da água em absorver certas radiações do espectro visível e é devida, geralmente, a substâncias de origem mineral e orgânica dissolvidas. Di Bernardo e Paz (2008) também atribuem a cor à possível presença de matéria orgânica, sendo esta originada da decomposição de vegetais, no entanto, ressaltam que quando a origem é industrial a água pode apresentar toxicidade.

Quando a cor é devida exclusivamente a substâncias dissolvidas e em estado coloidal, trata-se de cor verdadeira. Quando há também matéria em suspensão, trata-se de cor aparente (RICHTER, 2009).

A cor na água gera a rejeição e falta de confiança do consumidor. Além disso a presença de cloro em águas contendo matéria orgânica dissolvida (responsável pela cor) pode gerar produtos potencialmente cancerígenos (trihalometanos) (RICHTER, 2009).

A portaria 2914 (BRASIL, 2011) estabelece o valor máximo de 15 uH para cor aparente.

3.3.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) da água representa a concentração dos íons hidrogênio (escala antilogarítmica) e expressa a intensidade de condições ácidas ($\text{pH} < 7,0$), neutras ($\text{pH} = 7,0$) ou alcalinas ($\text{pH} > 7,0$) (HELLER; PÁDUA, 2010).

Segundo a OMS (2011) o pH pode gerar efeitos negativos na saúde dos usuários, uma vez que expostos a valores de pH inferiores a 4 ou superiores a 11 podem apresentar irritações nos olhos, pele e mucosas.

O pH pode ainda influenciar indiretamente na saúde dos consumidores ao afetar o grau de corrosão dos metais, e a eficiência do processo de desinfecção. Richter (2009) ressalta que além do processo de desinfecção, os processos de coagulação, desinfecção, controle de corrosividade e remoção de dureza são influenciados pela variação de pH, sendo seu controle essencial para o funcionamento adequado destes.

A portaria 2914 (BRASIL, 2011) estabelece que o pH da água no sistema de distribuição seja mantido entre 6,0 e 9,5.

3.3.5 Fluoretos

Os fluoretos são componentes essenciais da água potável. Exercem função preventiva contra cáries. Populações abastecidas com água contendo menos de 0,5 mg/L de fluoretos apresentam alta incidência de cáries dentárias (HELLER; PÁDUA, 2010). Por isso, desde 1974, a fluoretação em estações de tratamento de água é obrigatória no Brasil, tal obrigação foi instituída pela lei federal 6050 (BRASIL, 1975).

Apesar dos benefícios da fluoretação da água, há também os danos causados pelo alto teor de fluoretos, como a fluorose dental, que é caracterizada pelo surgimento de estrias esbranquiçadas, em geral, horizontais e translúcidas no esmalte (ALVES *et al.*, 2002 apud DI BERNARDO; PAZ, 2008).

Segundo Frazão, Peres e Cury (2011) a concentração de fluoreto é um parâmetro relevante, do ponto de vista sanitário, seja pela possibilidade de prevenção da cárie dentária, quando em níveis adequados, seja pelo risco de provocar fluorose dentária, quando em níveis elevados. O valor máximo permitido pela portaria do ministério da saúde é de 1,5 mg/L (BRASIL, 2011).

Frazão, Peres e Cury (2011) enfatizam também que estudos concluíram que a ingestão diária de água com teor de fluoreto maior que 0,9 mg/L é suficiente para representar risco à dentição de menores de oito anos de idade. Ao comparar este valor com o permitido pela legislação nota-se que há brechas para discussão sobre a revisão da mesma.

Em águas de abastecimento deve-se estabelecer níveis de segurança para o fluoreto,

assegurando concentrações que não representem riscos para o consumidor final.

3.3.6 Ferro Total

Segundo Heller e Pádua (2010) águas subterrâneas são mais propensas a apresentar teores mais elevados de ferro, enquanto que nas águas superficiais não é comum teores elevados de ferro.

Os sais de ferro quando oxidados, formam precipitados e conferem à água gosto amargo adstringente, cor, que eventualmente pode causar manchas em louças sanitárias, roupas e etc. Tal fato causa a repulsa, e/ou falta de confiança do consumidor em relação à qualidade da água, embora não estejam diretamente associados à problemas de saúde (HELLER; PÁDUA, 2010; RICHTER, 2009).

Apesar de não ser usual a ocorrência de problemas de saúde causado por ferro na água, alguns indivíduos geneticamente susceptíveis podem acumular concentrações altas de ferro no corpo, gerando disfunções do fígado e pâncreas (AWWA, 2002).

Segundo Di Bernardo e Paz (2008), o ferro em sistemas de distribuição pode ter origem devido a tubulações de ferro antigas. A presença de ferro pode causar corrosões e incrustações nas tubulações, o que pode reduzir sua capacidade de transporte, causando perdas na rede, e, em alguns casos, necessidade da substituição de trechos de tubulação completamente obstruídos.

Di Bernardo e Paz (2008) afirmam que geralmente a remoção do ferro nas estações de tratamento é realizada por oxidação do ferro solúvel com a formação de precipitado ou pela coagulação (em valores de pH superiores a 8). Quando o ferro encontra-se associado à matéria orgânica pode ser necessário o processo de pré-oxidação para auxiliar na sua remoção.

A portaria que estabelece os padrões de potabilidade admite o valor máximo permitido de 0,3 mg/L para concentrações de ferro total nas águas tratadas (BRASIL, 2011).

3.3.7 Coliformes Totais e Escherichia coli

Os coliformes são bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de se desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a $35,0 \pm 0,5^\circ \text{C}$ em 24-48h e que podem apresentar atividade β -galactosidase (BRASIL, 2004).

Segundo Richter (2009) as bactérias do grupo coliformes são utilizadas como indicador devido às seguintes características:

- Estão presentes quando o esgoto está presente;
- Sobrevivem mais tempo na água do que as espécies patogênicas, e;
- São facilmente isoladas.

A *Escherichia coli* é uma bactéria do grupo coliforme que fermenta lactose e manitol, produzindo ácido e gás a $44,5 \pm 0,2^\circ \text{C}$ em 24h. A *Escherichia coli* produz indol a partir do triptofano, é oxidase negativa, não hidrolisa a ureia e apresenta atividade das enzimas β -galactosidase e β -glucorinidase (BRASIL, 2004).

Apesar de serem indicadores de contaminação muito utilizados, a ausência de Coliformes e *E.coli* não garante, necessariamente, que a amostra analisada é isenta de organismos patogênicos (DI BERNARDO; PAZ, 2008; HELLER; PÁDUA, 2010; RICHTER, 2009). Di Bernardo e Paz (2008) ressaltam ainda que a presença de *E.coli* na água sempre indica contaminação potencialmente perigosa, requerendo atenção imediata quando detectada.

A portaria 2914 estabelece que águas para consumo humano devem apresentar ausência (em 100 mL) de *Escherichia coli*, e ausência (em 100 mL) de Coliformes totais em 95% das amostras mensais nas redes de distribuição de água (BRASIL, 2011).

Os indicadores utilizados foram selecionados devido a sua relação com a saúde humana, onde os mesmos são responsáveis por indicar precocemente a possibilidade da existência do risco, principalmente os sentinelas cloro residual livre e turbidez, que possuem relação com a presença de microrganismos na água. O restante dos indicadores visa compor maiores informações que irão auxiliar os indicadores sentinelas e até mesmo confirmar a presença de risco.

3.4 Análise de Risco

O interesse público no campo da análise de risco vem se expandindo rapidamente desde a década de 80, enquanto a análise de risco emergiu como um procedimento eficaz capaz de abranger e complementar a gestão em quase todos os aspectos. Gestores de saúde, meio ambiente, sistemas e infra-estrutura incorporaram a análise de risco em seu processo de tomada de decisão. Além disso, as adaptações da análise de risco por muitas disciplinas, juntamente com a sua implantação pela indústria e agências governamentais mundo a fora levaram ao desenvolvimento da teoria, metodologia e ferramentas práticas (HAIMES, 2009).

A avaliação de riscos é um elemento essencial e um processo sistemático de avaliação do impacto, a ocorrência e as consequências das atividades humanas sobre sistemas ou

atividades com características perigosas (DUIJNE; AKEN; SCHOUTEN, 2008) e constitui um instrumento indispensável para a política de segurança de uma empresa.

Segundo Sarney Filho (2003), na década de 1960, iniciaram-se vários estudos quantitativos sobre risco, que era então definido como "a possibilidade de que ocorram processos ou circunstâncias adversas que possam acarretar danos". Na década de 1990, Covello e Merkhofer (1993) definiram risco como "característica de uma situação ou ação em que dois ou mais efeitos são possíveis, mas que o efeito particular que ocorrerá é incerto e pelo menos uma das possibilidades é indesejável". Outra definição é a de Woodruff (2005), que afirma que o risco é a chance de que alguém ou algo que é avaliado vai ser adversamente afetados pelo perigo. Hoj e Kroger (2002) e Aven (2015a) também definiram risco como sendo a incerteza da severidade de um perigo, e Haimes (2009) como uma medida de probabilidade e severidade dos efeitos adversos. Devem ser enfatizados, em todas as definições, o caráter probabilístico expresso pelo termo *possibilidade* ou *chance* e o caráter indesejável de possíveis efeitos. O perigo é definido de uma forma geral como uma característica ou atributo de substância e processo, que podem potencialmente causar danos (HOJ; KROGER, 2002; AVEN, 2015b).

Para a correta compreensão da avaliação de risco, faz-se necessária a diferenciação dos termos *risco* e *perigo*. Para Brasil (2006a) enquanto o risco está relacionado com a possibilidade da ocorrência de um efeito, o perigo é uma característica intrínseca de dada substância ou situação. Por exemplo, dois carros trafegando em uma rodovia, sendo o primeiro em perfeitas condições e o segundo com alguma falha mecânica, o perigo de que ocorra um acidente ao trafegar na rodovia é o mesmo para os dois, no entanto o risco (probabilidade) é diferente.

Um outro exemplo é o dado por Brasil (2006a): água para consumo humano que contenha agentes patogênicos, que seria um perigo, enquanto seu fornecimento à população traria um risco, que pode ser quantificado e expresso em termos de probabilidade.

A análise de risco é uma atividade que é largamente aplicada por engenheiros de confiabilidade e analistas de riscos de qualquer indústria (GARCIA, 2013). Os resultados fornecem informações para que decisões sejam tomadas com respeito a um determinado ponto crítico do sistema (FULLWOOD, 2000 apud GARCIA, 2013). A análise de risco se fundamenta em vários conceitos e pressupostos que a caracterizam como uma metodologia flexível e passível de ser aplicada em diferentes áreas do conhecimento, além da possibilidade de adaptação. Em linhas gerais essa metodologia permite que a partir do conhecimento de possíveis fatores, agentes ou situações que possam causar eventos indesejáveis, seja possível traçar medidas de intervenções para controlá-los (BASTOS; BEVILACQUA; MIERZWA, 2009).

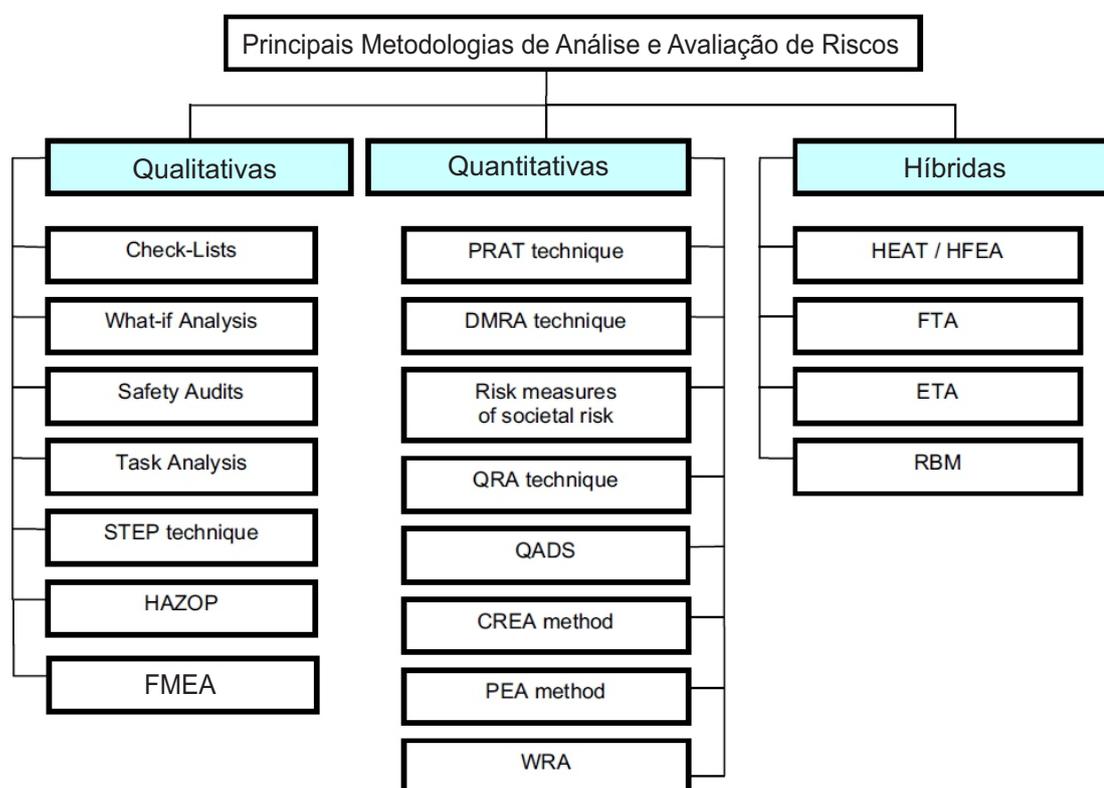
A diversidade de procedimentos de análise de risco é tal que existem muitas técnicas apropriadas para qualquer circunstância e a escolha tornou-se mais uma questão de gosto

(ROUVROYE; BLIEK, 2002).

A análise de risco pode ser dividida em três categorias, a qualitativa, a quantitativa e a híbrida. As técnicas qualitativas são baseadas em processos de estimativa analítica, enquanto que nas técnicas quantitativas o risco pode ser considerado com uma quantidade, que pode ser estimada e expressa por uma relação matemática, sob ajuda de dados de acidentes reais registrados em um local de trabalho. As técnicas híbridas apresentam uma grande complexidade devido ao seu caráter "ad hoc"¹ que impedem sua ampla disseminação (MARHAVILAS; KOULOURIOTIS; GEMENI, 2011).

Na Figura 3 são apresentadas as principais técnicas e metodologias para avaliação e análise de risco divididas nas categorias: qualitativas, quantitativas e híbridas.

Figura 3: Principais Metodologias de Avaliação de Análise de Riscos



Fonte: Adaptado de Marhavidas, Koulouriotis e Gemeni (2011)

A agência de proteção ambiental dos Estados Unidos, por exemplo, desenvolve a sua metodologia de avaliação de risco desde 1980, e considera fatores como risco de exposição, toxicidade, dose resposta, e outros, para calcular o risco de poluentes à saúde humana (EPA, 2000).

Bastos, Bevilacqua e Mierzwa (2009) dividem análise de risco em três etapas, conforme Figura 4.

¹ Destinado a uma finalidade específica.

Figura 4: Fluxograma das Etapas da Análise de Risco



Fonte: Elaborado pelo Autor

Para esta pesquisa foram realizadas a primeira e segunda etapa, sendo a segunda em caráter de proposta, não havendo intervenções no sistema estudado. A terceira etapa não fará parte da pesquisa em si, ainda assim a comunicação do risco se dará através do encaminhamento desta pesquisa à companhia de saneamento que opera o sistema de abastecimento estudado.

Tendo como foco o abastecimento de água para consumo humano, a aplicação da análise de risco pode se adequar de forma satisfatória. O evento exposição considerado nesse contexto é o consumo de água. Os fatores, agentes ou situações são os organismos patogênicos e químicos (tóxicos), e os eventos indesejáveis são as ocorrências de doenças associadas ao consumo da água, sendo assim passíveis de controle e prevenção (BASTOS; BEVILACQUA; MIERZWA, 2009).

Diante das diversas metodologias para análise e avaliação de risco, a metodologia "Failure Mode and Effects Analysis" (FMEA) foi escolhida devido a sua simplicidade de aplicação, e a sua alta flexibilidade de adaptação para inúmeras aplicações. A FMEA é baseada nos tipos (modos) e nos efeitos de falhas potenciais (VIEIRA, 2012), a qual será descrita no item seguinte.

3.4.1 FMEA

A análise de modo e efeitos de falhas (Failure Mode and Effects Analysis - FMEA) foi desenvolvida pela primeira vez na década de 1963 pela indústria aeroespacial, que visava a minimização de riscos em missões espaciais (BAHRAMI; BAZZAZ; SAJJADI, 2012). A metodologia mostrou ser uma ferramenta poderosa para avaliação e prevenção de falhas potenciais (MANDAL; MAITI, 2014). FMEA é uma técnica que visa identificar e eliminar falhas, problemas e/ou erros, sejam conhecidos ou potenciais, de um sistema, processo ou serviço antes de chegar ao consumidor final (LOLLI *et al.*, 2015). FMEA tem sido empregada em diversas áreas da indústria e do conhecimento, incluindo a automotiva, aeroespacial, nuclear, eletrônica, química, mecânica, meio ambiente, entre outras (LIU; LIU; LIU, 2013; CHIN *et al.*, 2009; SHARMA; KUMAR; KUMAR, 2005; ZAMBRANO; MARTINS, 2007).

A FMEA é flexível, por isso possui várias adaptações para diversos segmentos distintos, sendo esta uma das suas principais vantagens frente a outros métodos. A FMEA tradicional consiste em, primeiramente, formação de uma equipe multidisciplinar, seguida da etapa de identificação das falhas potenciais do sistema ou produto, através de sessões sistemáticas de debates da equipe. Depois disso, uma análise crítica é realizada nestes modos de falha, levando em consideração os fatores de ocorrência (O), severidade (S) e detecção (D). O objetivo é quantificar as falhas afim de determinar prioridades para atribuir recursos ou ações para os riscos mais críticos (LIU *et al.*, 2012).

Segundo Garcia (2013) a Ocorrência (O) está relacionada com a probabilidade e frequência de ocorrência do evento perigoso, a Severidade (S) é a magnitude ou intensidade dos efeitos associados à ocorrência do modo de falha e a Detecção (D) é a capacidade de identificação de uma causa potencial de falha, ou seja, a facilidade de percepção do perigo, de modo a prevenir a ocorrência do evento.

De maneira geral, a priorização de tipos de falhas para determinação de ações corretivas é determinada pelo *Número de prioridade de Risco* ou *Risk Priority Number* (RPN) em inglês. O RPN é obtido pelo produto dos fatores de Ocorrência (O), Severidade (S) e Detecção (D) (LIU; LIU; LIU, 2013). Na equação 3.3 é demonstrada a forma clássica do cálculo do RPN.

$$RPN = O \times S \times D \quad (3.3)$$

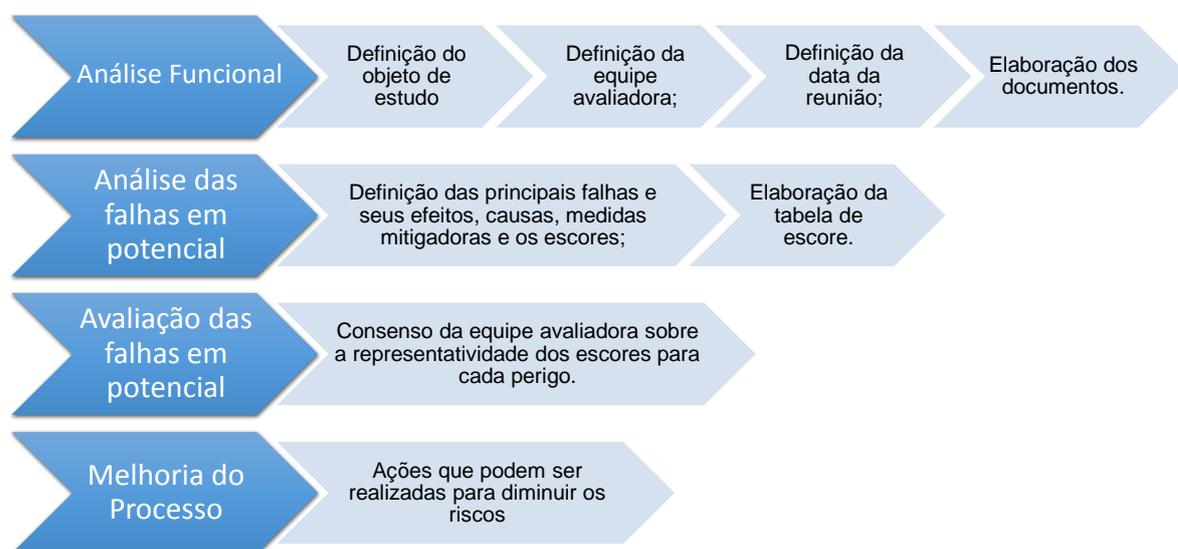
Onde: O: é a ocorrência de falha, S é a severidade da falha, e D é a capacidade de detecção da falha.

Para obtenção do RPN, os três fatores são avaliados utilizando-se de escalas, que variam de acordo com a área ou segmento de aplicação do FMEA.

Segundo Stamatis (2003), existem três principais tipos de FMEA. A FMEA de sistema, que é utilizada para avaliar as falhas em sistema nos estágios iniciais de conceitualização e projeto. A FMEA de produto, que é utilizada para avaliar possíveis falhas no projeto do produto antes da sua liberação para a manufatura. A FMEA de processo, que é utilizada para avaliar as falhas em processos ou sistemas. Enfoca as falhas do processo em relação ao cumprimento dos seus objetivos pré-definidos e está diretamente ligada à capacidade do processo em cumprir tais objetivos.

Segundo Salah *et al.* (2015), o método FMEA pode ser dividido em 4 etapas, conforme Figura 5.

Figura 5: Esquema de funcionamento do FMEA



Fonte: Elaborado pelo Autor

Salah *et al.* (2015) explicam que na etapa da análise funcional é realizado o levantamento do sistema, seu funcionamento e todos os elementos que interferem no mesmo, ou seja, é definido o objeto do estudo e suas características. Ainda nesta etapa ocorre a definição da equipe avaliadora. A equipe avaliadora deve ser composta por profissionais especialistas na área, uma vez que o debate entre eles será de importância para elaboração da tabela de escores e etapas subsequentes. Após isso são preparados os documentos necessários, como tabela de escores (contendo os índices e critérios para definição dos escores de severidade, ocorrência e detecção), o formulário FMEA, e informações do sistema, processo ou produto analisado. Na etapa seguinte é realizada a análise das falhas em potencial, onde são verificadas as principais possíveis falhas que possam ocorrer e seus respectivos efeitos, causas e medidas mitigadoras, juntamente com os escores. Diante dessas informações, é possível construir a tabela de escore que norteará a decisão da equipe avaliadora. Na terceira etapa, ocorre a avaliação das falhas potenciais que foram levantadas em etapa anterior, onde a equipe deve decidir através de consenso quais escores são mais

representativos de cada perigo.

Matos (2014) lista os itens que norteiam o preenchimento do formulário FMEA:

- Descrição do produto/processo: quem está sendo analisado?
- Função(ões) do produto: quais funções ou características devem ser atendidos?
- Tipo de falha potencial: como a função ou característica pode não ser atendida?
- Efeito de falha potencial: que efeitos tem este tipo de falha?
- Causa da falha em potencial: quais poderiam ser as causas?
- Controles atuais: quais medidas de prevenção e descobertas poderiam ser tomadas?
- Ações recomendadas: quais os riscos prioritários e quais medidas podem ser tomadas para atenuar os riscos?

A quarta etapa do FMEA, descrita por Salah *et al.* (2015), é a melhoria do processo (otimização). Na etapa de melhoria do processo, baseado nos conhecimentos da equipe, listam-se as ações que podem ser realizadas para diminuir os riscos. Barends *et al.* (2012) afirmam que a FMEA deve ser executada em "loop", ou seja, em ciclos, visando a melhoria contínua do sistema.

Zambrano e Martins (2007) adaptaram o modelo FMEA para aplicações voltadas à impactos ambientais, utilizaram escalas de 1 a 3, e adicionaram ao cálculo do RPN o fator Abrangência (A), que é a capacidade do perigo afetar, ou influenciar em outros pontos ou áreas. O cálculo é ilustrado na Equação 3.4 e os critérios para determinação de O , S , D e A são apresentados nas Tabelas 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

$$RPN = OxSxDxA \quad (3.4)$$

Tabela 1: Classificação de severidade (S)

	Severidade do impacto ambiental	Classificação
Alta	Produtos muito danosos ao meio ambiente, que apresentam as características: corrosividade, reatividade, explosividade, toxicidade, inflamabilidade e patogenicidade	3
Moderada	Produtos danosos ao meio ambiente, que possuem longo tempo de decomposição, por exemplo: metais, vidros e plásticos. Também é considerada a utilização de recursos naturais	2
Baixa	Produtos pouco danosos ao meio ambiente, que possuem curto tempo de decomposição, como papelão e tecidos	1

Fonte:(ZAMBRANO; MARTINS, 2007)

Tabela 2: Classificação de ocorrência (O) de impactos ambientais reais

	Ocorrência de impacto ambiental	Classificação
Alta	O impacto ambiental ocorre diariamente	3
Moderada	O impacto ambiental ocorre mensalmente	2
Baixa	O impacto ambiental ocorre semestralmente ou anualmente	1

Fonte:(ZAMBRANO; MARTINS, 2007)

Tabela 3: Classificação de detecção (D)

	Detecção do impacto ambiental	Classificação
Baixa	Para detectar o impacto ambiental é necessária a utilização de tecnologias sofisticadas	3
Média	O impacto ambiental é percebido com a utilização de medidores simples. Exemplos: hidrômetro e medidor de energia elétrica	2
Alta	O impacto ambiental pode ser percebido visualmente	1

Fonte:(ZAMBRANO; MARTINS, 2007)

Tabela 4: Classificação de abrangência (A) de impactos ambientais

Abrangência do impacto ambiental	Classificação
O impacto ocorre fora dos limites da organização	3
O impacto ambiental ocorre dentro dos limites da organização	2
O impacto ambiental ocorre no local onde está sendo realizada a operação	1

Fonte:(ZAMBRANO; MARTINS, 2007)

Como já assinalado, existem diversas variações do método, por exemplo, Chin *et al.* (2009b) propuseram a aplicação do FMEA utilizando uma abordagem de raciocínio probatório baseada em grupo para captar as diversidades entre os membros da equipe FMEA e priorizar modos de falha sob diferentes tipos de incertezas.

Braglia (2000) introduziu uma abordagem de análise multi-atributo de modo de falha baseada no processo analítico hierárquico para calcular os pesos, que enxerga os fatores de risco (O, S, D) como critérios de decisão, possíveis causas de falha como alternativas de decisão e a seleção da causa de fracasso como objetivo da decisão. A mesma técnica foi utilizada mais tarde por Carmignani (2009).

Zammori e Gabbrielli (2012) realizaram a decomposição dos critérios ocorrência, severidade e detecção em subcritérios e usaram processos de redes analíticas para avaliar os pesos, mostrando mais uma forma de aplicação da FMEA.

Além dos autores citados, existem outros que propuseram adaptações e melhorias em relação ao modelo tradicional de aplicação do FMEA. Para esta pesquisa, será realizada a adaptação do modelo proposto por Zambrano e Martins (2007), para impactos ambientais, tomando como base o modelo de Vieira (2012) e Matos (2014), que utilizaram o FMEA para qualidade da água, adicionando às etapas citadas por Salah *et al.* (2015), as etapas de ponderação de riscos e cálculo do risco total. A ponderação do risco verifica o grau de relevância de cada risco frente ao total, enquanto o cálculo do risco total verifica o risco global do sistema.

Zambrano e Martins (2007) utilizaram a FMEA para avaliação do risco ambiental durante o processo produtivo de empresas de pequeno porte, estas dos setores: metal mecânico, alimentício, têxtil, de plásticos, análises clínicas e marmoraria. Zambrano e Martins (2007) obtiveram como conclusão que o método pode ser considerado como referência para proprietários de empresas de pequeno porte para começarem a diagnosticar os riscos ambientais de seus processos produtivos, devido a sua eficiência e baixo custo.

Vieira (2012) avaliou a degradação da qualidade da água de um sistema de abastecimento de água de porte médio, através da FMEA. Vieira (2012) identificou os riscos mais relevantes para o sistema estudado - a alta concentração de cloro residual livre, e elevados valores de turbidez. Assim como Zambrano e Martins (2007), a pesquisadora também

concluiu que a metodologia FMEA foi eficiente, principalmente pela categorização do risco em todos os pontos monitorados.

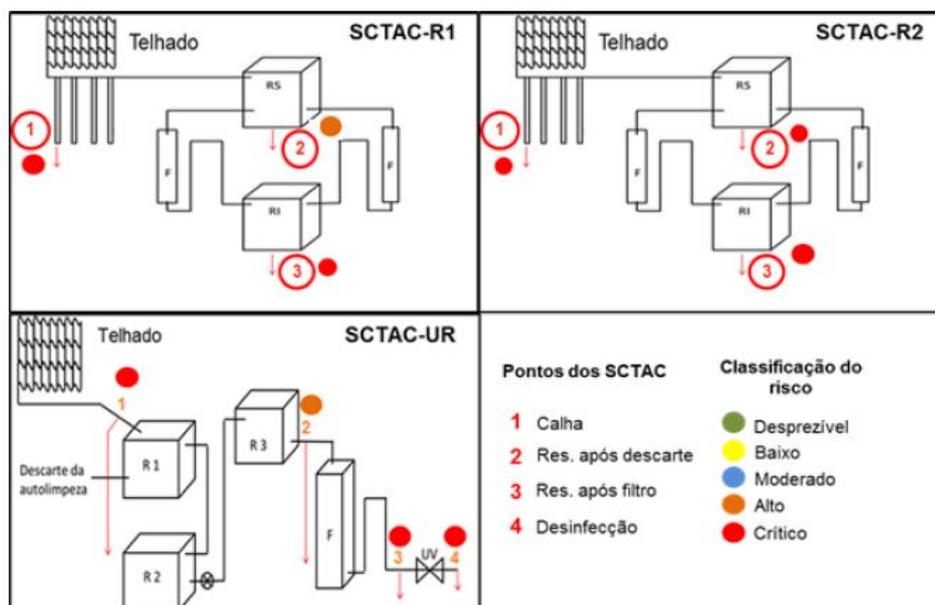
Matos (2014) adaptou e utilizou a FMEA para avaliar o risco da qualidade da água em três sistemas de captação e tratamento de água de chuva. Assim como os demais autores, Matos (2014) também concluiu que o uso da metodologia mostrou-se útil, acrescentando que é uma metodologia de fácil entendimento, podendo ser facilmente adaptada para outros sistemas de abastecimento de água.

A ponderação de riscos é a etapa posterior ao levantamento dos escores de severidade, ocorrência e detecção. Segundo Silva *et al.* (2014) é a etapa que verifica o grau de importância, em percentual, de cada risco analisado para o risco total do sistema. O cálculo do risco total permite quantificar o risco em cada ponto do sistema analisado, e, a partir daí, elaborar os mapas de risco do sistema.

Segundo Vieira (2012) o mapa de risco é construído através da categorização dos mesmos, e permite a melhor visualização, e identificação dos pontos críticos do sistema. Nugraha, Santosa e Aditya (2015) definem o mapa de risco como a representação gráfica dos efeitos negativos que podem ocorrer.

O mapa pode representar o risco em unidades específicas de um sistema, como o exemplo do mapa utilizado por Matos (2014) na Figura 6.

Figura 6: Exemplo de mapa de risco de sistema representando unidades do sistema

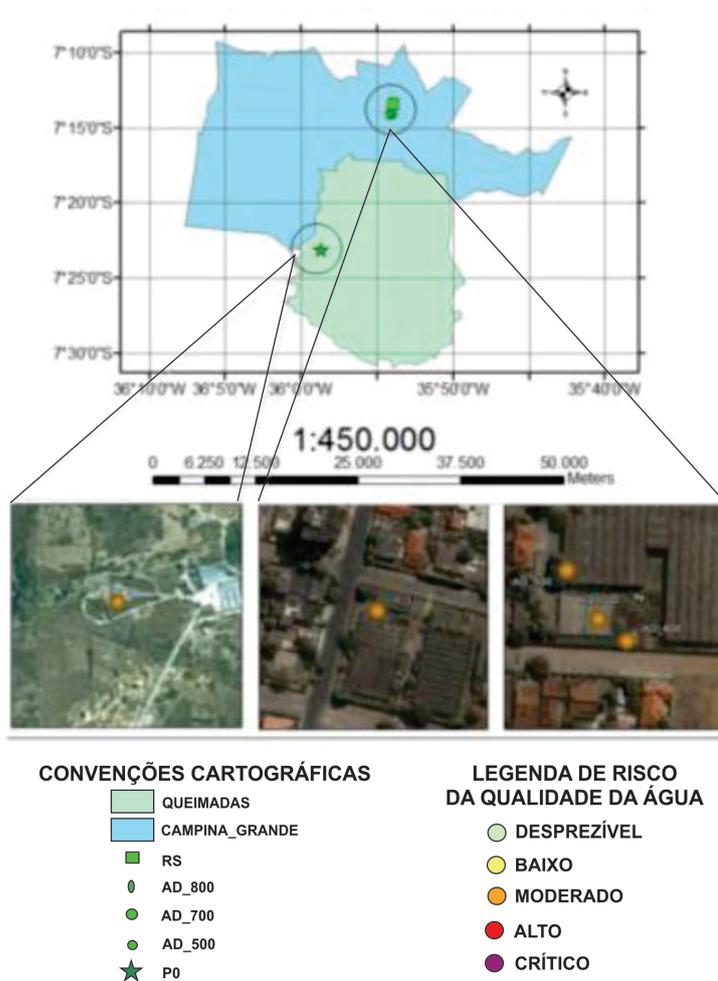


Fonte: (MATOS, 2014)

O mapa pode representar também o risco em pontos geográficos, como o exemplo do mapa elaborado por Vieira (2012) em sua pesquisa (Figura 7).

De maneira geral, há várias maneiras de representações gráficas de riscos, sendo importante a decisão da que melhor atende cada necessidade.

Figura 7: Exemplo de mapa de risco de sistema representando pontos geográficos do sistema



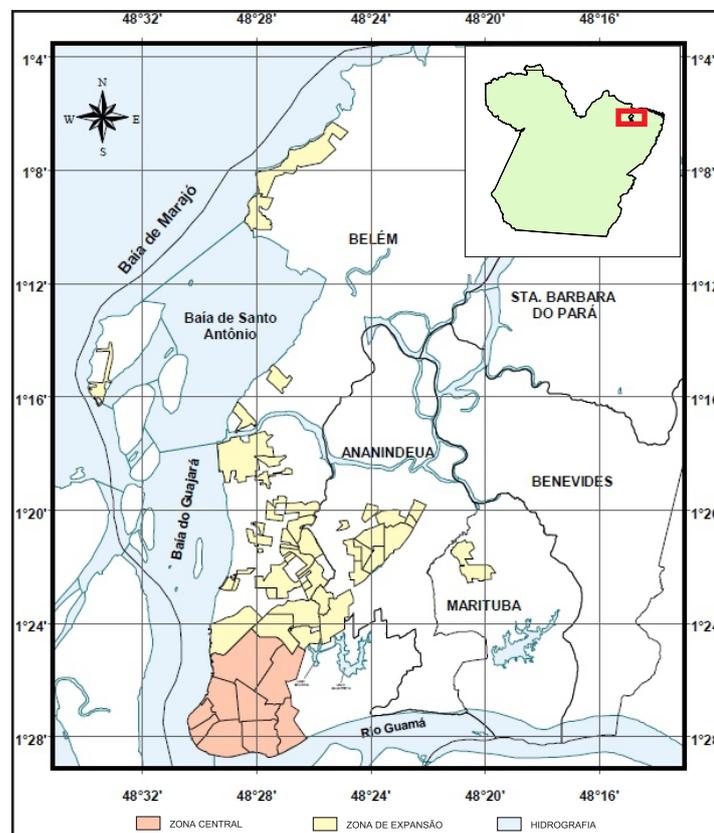
Fonte: (VIEIRA, 2012)

4 Material e Métodos

4.1 Descrição do Sistema de Abastecimento de Água - Bolonha - Utinga

Os sistemas de produção, tratamento e distribuição de água na Região Metropolitana de Belém (RMB), estado do Pará - Brasil, estão sob responsabilidade de 3 (três) órgãos: a Companhia de Saneamento do Pará - COSANPA, que gerencia e opera a maior parte do município de Belém, além dos municípios de Ananindeua, Marituba e Benevides; e as prefeituras municipais de 2 (duas) cidades - Benevides e Santa Bárbara - que são responsáveis pelos seus próprios sistemas de abastecimento. Vale ressaltar que a COSANPA vem assumindo os sistemas dos distritos de Outeiro, Icoaraci, Cotijuba, Mosqueiro, que antes eram abastecidos pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém - SAAEB, órgão que foi extinto em 2015. O abastecimento na RMB é dividido em zonas (central e expansão) e setores de abastecimento, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8: Zonas de Abastecimento do SAA da RMB

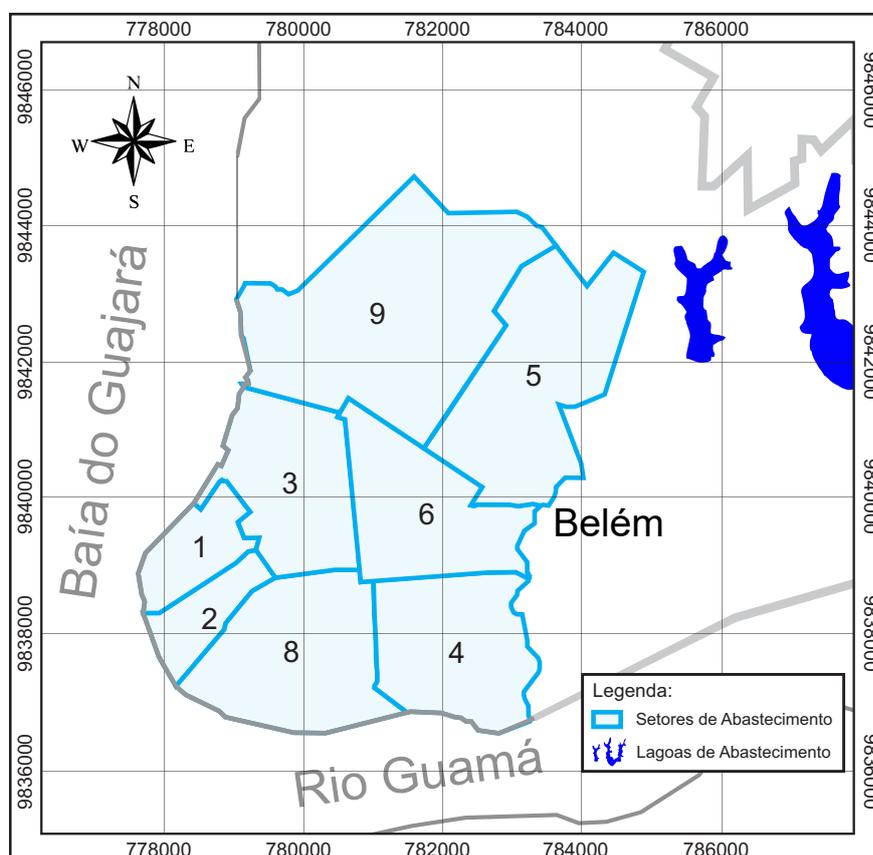


Fonte: Adaptado de COSANPA (2006)

A zona central abrange os bairros centrais de Belém, englobando 9 setores de abastecimento, enquanto que a zona de expansão abrange áreas mais afastadas do centro e dos municípios vizinhos, possuindo 30 setores de abastecimento.

O principal critério para escolha dos setores foi a origem da água, uma vez que a análise de setores com diferentes fontes de captação - águas com características diferentes - iria inviabilizar a interpretação dos resultados. Todos os setores da zona central recebem água do sistema Bolonha - Utinga, no entanto o 7º setor (localizado no bairro da Terra Firme), apesar de pertencer à zona central, foi excluído da pesquisa por ser considerado uma área de alto risco no aspecto da segurança pública, conforme constatado em visitas realizadas no setor. Desta forma, para esta pesquisa foram considerados os setores 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 e 9 da Zona central conforme Figura 4.1.

Figura 9: Área de Estudo - Setores de Abastecimento da Zona Central



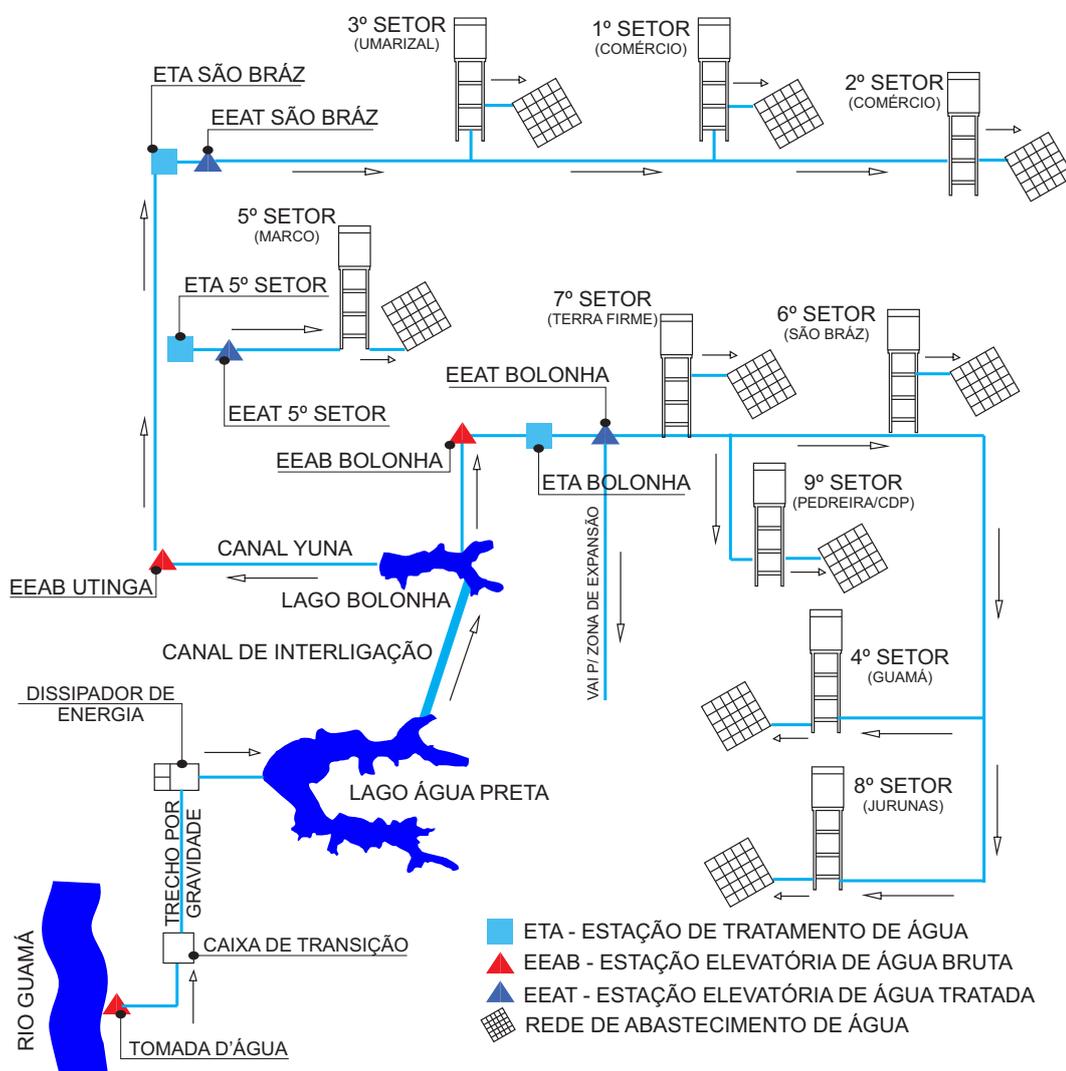
Fonte: elaborado pelo autor

O sistema de abastecimento de água Bolonha/Utinga é responsável pelo abastecimento de aproximadamente 75% da população da RMB. A RMB conta também com 41 sistemas isolados que utilizam mananciais subterrâneos, atendendo demandas menores (COSANPA, 2006).

O sistema Bolonha/Utinga é constituído pela captação de água bruta do rio Guamá, 3 estações de tratamento de água (Bolonha, São Brás e 5º Setor) encaminhando água para

diferentes setores, conforme apresentado no fluxograma esquemático da Figura 10.

Figura 10: Fluxograma Geral do SAA Bolonha/Utinga



Fonte: adaptado de Veloso (2006)

Após a captação no rio Guamá, a água é encaminhada para os lagos Água Preta e Bolonha, e então é direcionada para três estações de tratamento distintas. A água tratada na ETA Bolonha abastece os setores 4, 6, 7, 8 e 9, além da zona de expansão da cidade. A ETA do 5º setor atende o próprio setor, e a ETA São Brás atende aos setores 1, 2, e 3, conforme Figura 10. Vale ressaltar que, embora exista a divisão por setores, os setores não possuem redes isoladas entre si.

A captação está localizada na margem do rio Guamá e é realizada com auxílio de um canal de aproximação, construído em concreto com grades para impedir que materiais grosseiros entrem na área de captação. A Estação Elevatória de Água Bruta (EEAB) opera recalçando água da captada do rio Guamá para o lago Água Preta através de conjuntos motor-bomba com vazão total de aproximadamente 6,00 m³/s (COSANPA, 2006). Na

Figura 11 são identificadas, as principais unidades da captação do rio Guamá.

Figura 11: Esquema da captação do Sistema Bolonha - Utinga



Fonte: adaptado de COSANPA (2006)

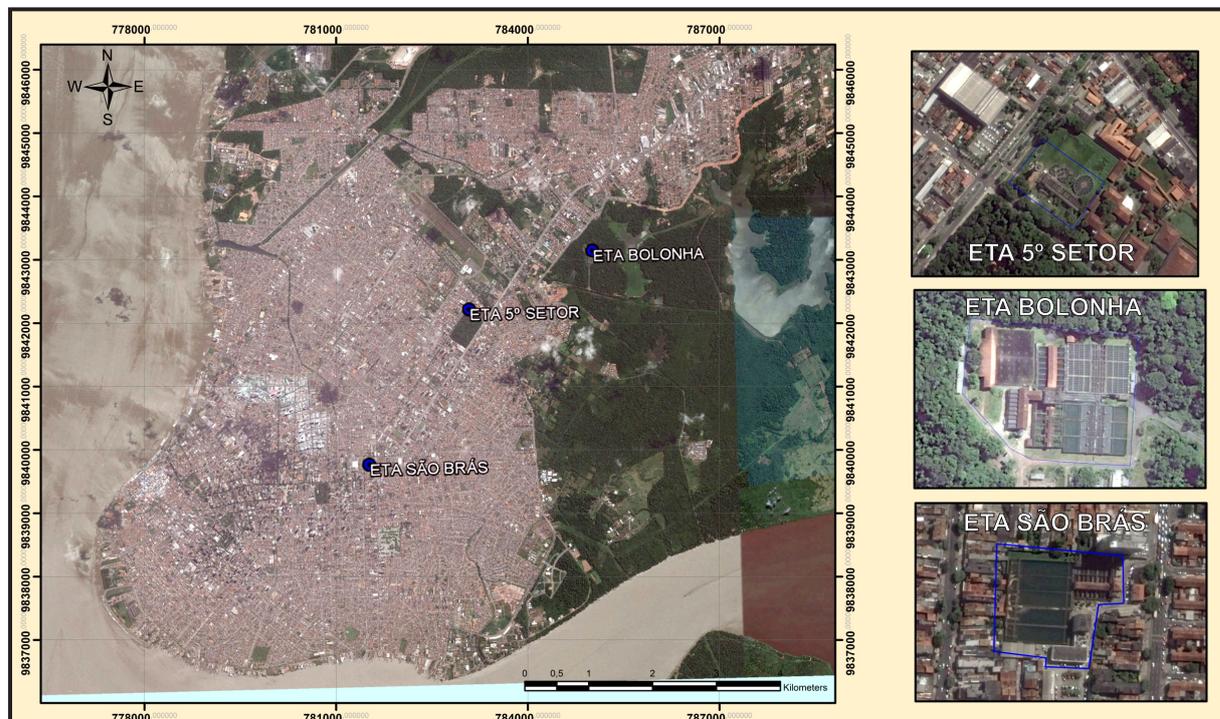
A água é então direcionada do lago Água Preta para o lago Bolonha por um canal de interligação, e então é recalçada para as estações de tratamento.

Segundo Holanda *et al.* (2011), os lagos Água Preta e Bolonha possuem área superficial de aproximadamente 3,12 km² e 0,58 km² respectivamente. De acordo com COSANPA (2006), o volume de acumulação dos lagos é da ordem de 12.000.000 m³, sendo 2.000.000 m³ o volume armazenado pelo lago Bolonha e 10.000.000 m³ armazenado pelo lago Água Preta. Os lagos, atualmente, enfrentam problemas com lançamentos de esgotos domésticos de comunidades que ocupam, irregularmente, o entorno desses mananciais. Diante disso há uma série de problemas, como o crescimento de macrófitas, e possíveis alterações na qualidade da água dos lagos.

A água do sistema Utinga-Bolonha é tratada em 3 unidades de tratamento distintas, sendo: ETA Bolonha, ETA 5º Setor e ETA São Brás. A ETA Bolonha foi projetada inicialmente para a capacidade nominal de 3,20 m³/s (COSANPA, 2006), porém a mesma teve sua capacidade aumentada em 2010 para aproximadamente 4,45 m³/s. A ETA possui as seguintes operações e processos unitários: mistura rápida, floculação, sedimentação,

filtração, desinfecção, correção de pH e fluoretação. A Figura 12 exibe a localização da ETA Bolonha, ETA 5º Setor e ETA São Brás.

Figura 12: Localização das Estações de Tratamento de Água



Fonte: Elaborado pelo Autor

A estação de tratamento do 5º setor tem capacidade nominal de 2.880 m³/h (0,8 m³/s), porém o valor pitometrado pela companhia é da ordem de 0,4 m³/s. É formada por um medidor Parshall de 1", 3 floco-decantadores do tipo Accelator®¹ e 18 filtros de areia. De forma análoga a ETA São Brás é formada por: medidor Parshall, 5 floculadores mecanizados, 5 decantadores de fluxo horizontal e 32 filtros de areia. A ETA tem capacidade nominal de 1,20 m³/s, porém sua vazão pitometrada é aproximadamente 1,10 m³/s (COSANPA, 2006).

Cada estação de tratamento abastece setores específicos como mostrado no fluxograma da Figura 10. A Zona Central de abastecimento é composta por 9 setores, que de maneira geral, possuem unidades de reservação - com reservatórios elevados e apoiados - e disponibilizam água para consumo dos habitantes. Na Tabela 5 são apresentadas as características físicas dos setores, enquanto na Tabela 6 os dados comerciais.

¹ Accelator® é uma estação de tratamento de alta taxa em estrutura única que emprega o princípio da recirculação interna de lodo (INFILCO, 2013).

Tabela 5: Características físicas dos setores

Setor	Área (ha)	Volume do Reservatório Apoiado (m ³)	Volume do Reservatório Elevado (m ³)	Bairros Atendidos
1°	1,82	4.000	200	Cidade Velha, Campina, Reduto e Nazaré
2°	1,55	2.215	165	Cidade Velha, Batista Campos, Nazaré e Jurunas
3°	4,74	8.600	320	Umarizal, Reduto e Nazaré
4°	4,89	6.000	230	Guamá
5°	6,8	7.000	230	Marco e Curió-Utinga
6°	4,66	4.000	448	São Brás, Fátima e Canudos
8°	5,57	16.000	253	Cremação, Batista Campos, Jurunas e Condor
9°	10,16	16.000	263	Telegrafo, Sacramento e Pedreira

Fonte: adaptado de COSANPA (2006)

Tabela 6: Dados comerciais dos setores

Setor	Origem	População Atendida	N° de ligações	N° de economias	Economias Ativas	Hidrometradas	Não Hidrometradas
1° Setor	ETA - São Brás	37.957	5.050	7.455	2.935	2.873	1.178
2° Setor	ETA - São Brás	30.842	4.738	3.696	2.371	2.092	779
3° Setor	ETA - São Brás	89.484	10.093	20.963	8.667	8.575	1.523
4° Setor	ETA - Bolonha	127.964	65.809	25.652	18.290	14.077	7.861
5° Setor	ETA - 5° Setor	94.322	15.825	20.959	12.235	10.346	5.206
6° Setor	ETA - Bolonha	89.882	79.350	21.118	12.540	12.115	2.553
8° Setor	ETA - Bolonha	138.889	25.691	33.131	21.809	15.848	10.618
9° Setor	ETA - Bolonha	159.903	36.379	44.437	27.860	24.113	12.309

Fonte: adaptado de COSANPA (2006)

Conforme Tabela 6 e 5 a área de estudo é de aproximadamente 40,19 ha, enquanto a população total é da ordem de 769.243 habitantes, representando 54% da população total do município quando comparado com dados do IBGE (2015).

4.2 Variáveis de Qualidade da Água

As variáveis analisadas nesta pesquisa, bem como os seus respectivos critérios de escolha, são listadas a seguir, baseados em Vieira (2012) e Brasil (2006d).

- Cloro residual livre (CRL): apresenta possíveis riscos a saúde associados à sua alta ou baixa concentração na água, desde a presença de microrganismos patogênicos (no caso de concentrações baixas) até a possível formação de subprodutos como trihalometanos (no caso de concentrações elevadas);

- Turbidez: influencia negativamente na desinfecção podendo proteger microrganismos da ação do desinfetante, além de causar rejeição por parte do consumidor;
- Cor aparente: indica a possibilidade da presença de matéria orgânica proveniente de decomposição, que em contato com o cloro pode gerar subprodutos que causam riscos à saúde humana, além de causar rejeição por parte do consumidor;
- pH: o consumo de águas com pH baixo ou elevado pode causar danos à saúde do consumidor, além de influenciar nos processos de tratamento, controle de corrosividade e remoção de dureza;
- Fluoreto: a adição é obrigatória em águas de abastecimento. Seu excesso pode causar problemas como fluorose dental, e a sua ausência pode facilitar a incidência de cáries, principalmente em crianças;
- Ferro total: apesar de, normalmente, sua presença na água não estar associada à nenhuma doença, o ferro causa corrosões e incrustações nas tubulações, e;
- Coliformes totais e *Escherichia coli*: a presença de E.coli está relacionada à contaminações potencialmente perigosas à saúde humana.

A Tabela 7 relaciona as variáveis com seus respectivos valores máximos permitidos (VMP) de acordo com a portaria 2914 (BRASIL, 2011) e Portaria nº 635 (BRASIL, 1975).

Tabela 7: Valores de Referência para as variáveis utilizadas

Variável	Faixa ou VMP
CRL	0,2 - 2,00 mg/L
Turbidez	5 uT
Cor aparente	15 uH
pH	6,0 a 9,5
Fluoretos*	0,65 - 0,82 mg/L
Ferro total	0,3 mg/L
Coliformes Totais	Ausência em 100 mL de amostra
E.coli	Ausência em 100 mL de amostra

Portaria 2914 (BRASIL, 2011), *Portaria nº 635 (BRASIL, 1975)

Vale ressaltar que para fluoretos a portaria 2914 (BRASIL, 2011) recomenda utilizar a portaria 635 (BRASIL, 1975), não ultrapassando o VMP de 1,5 mg/L. A portaria 635 por sua vez recomenda a concentração do íon fluoreto baseado na equação 4.1:

$$G = \frac{22,2}{E} \quad (4.1)$$

Onde:

$$E = 10,3 + 0,725T \quad (4.2)$$

T: Média de temperaturas máximas diárias observadas durante o período mínimo de 1 ano (recomendado 5 anos) em graus centígrados.

O intervalo recomendado do íon fluoreto foi calculado com base na média da temperatura máxima diária de Belém, obtida através do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Metrologia (INMET), sendo 32,65° C (média máxima), 27,07° C (média) e 23,10° C (mínima média), considerando o intervalo de 2011 à 2015 (INMET, 2016). A faixa de concentração obtida pelo cálculo (0,65 - 0,82 mg/L) foi considerada como valor de referência, ou seja, valores fora da faixa serão considerados como "não conformidades".

Todas as variáveis citadas foram utilizadas como indicadores de risco, para tal estas foram divididas em dois grupos, o grupo de indicadores sentinelas e indicadores auxiliares. Os parâmetros cloro residual livre e turbidez compõem o grupo dos indicadores sentinelas e os parâmetros cor aparente, pH, fluoretos, ferro total, coliformes totais e E.coli integram o grupo de indicadores auxiliares.

Vieira (2012) utilizou turbidez, cloro residual livre, como indicadores sentinelas para aplicação da metodologia de análise de risco, e Brasil (2006d) recomenda que sejam utilizados como indicadores as determinações de coliformes totais, E.coli, turbidez, cloro residual livre e flúor para planos de vigilância em qualidade da água. A determinação de ferro total foi adotada devido ao conhecimento prévio da presença de ferro em alguns pontos da rede.

4.3 Metodologia de Amostragem

Foram escolhidos 46 pontos de coleta para monitoramento de parâmetros de qualidade da água. Os critérios de escolha foram baseados nas recomendações do Ministério da Saúde na "Diretriz Nacional do Plano de Amostragem em Saúde Ambiental relacionada à qualidade de água para consumo humano"(BRASIL, 2006d), considerando fatores de ordem geográfica, como a distância da rede à estação de tratamento, saída de reservatórios, áreas mais densamente povoadas, além de fatores estratégicos como áreas com população em situação sanitária precária, consumidores vulneráveis (hospitais, escolas, creches). Na Tabela 8 são apresentadas as sugestões de critérios para definição de pontos de amostragem do Ministério da Saúde.

Tabela 8: Critérios para definição dos pontos de amostragem do monitoramento de vigilância da qualidade da água

Critério	Pontos de amostragem
Distribuição Geográfica	Saída do Tratamento ou entrada no sistema de distribuição Saída de reservatório de distribuição Pontos na rede de distribuição: - rede nova e antiga - zonas altas e zonas baixas - pontas de rede Áreas mais densamente povoadas
Locais estratégicos	Áreas com populações em situação sanitária precária Consumidores vulneráveis (hospitais, escolas, creches, etc.) Áreas próximas a pontos de poluição Áreas que apresentem ocorrência de casos de doenças de veiculação hídrica

Fonte: Brasil (2006d)

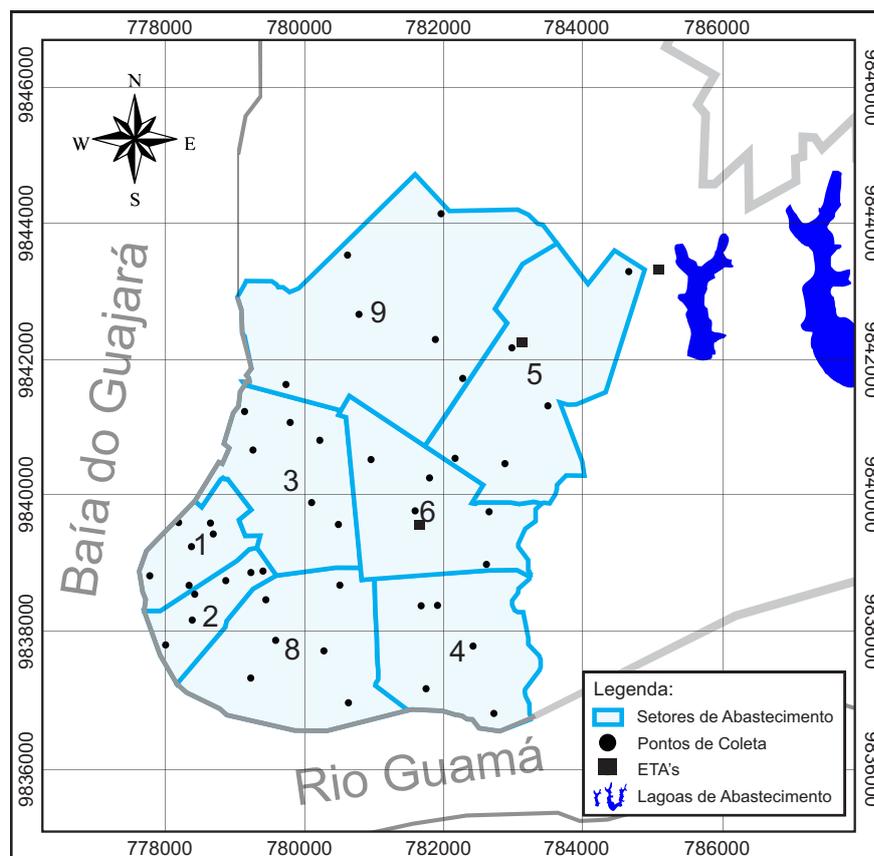
Após determinação dos pontos de amostragem foi verificada a acessibilidade e segurança para realização das coletas pela equipe de pesquisa. Verificou-se também os recursos financeiros disponíveis para viabilidade da pesquisa (logística, reagentes, etc), resultando em 46 pontos. Os pontos escolhidos constam na Tabela 9. Na Figura 13 é apresentada a distribuição espacial dos pontos na zona central de Belém.

Tabela 9: Pontos de Coleta

Pontos	Setor	Critério	Tipo	Coordenadas UTM	
				Latitude	Longitude
P1.0 - 1º Setor		Saída de Reservatório		9839392.56 S	778450.75 E
P1.1	1º Setor	Centro comercial próxima à área portuária	Residencial	9839040.00 S	778164.00 E
P1.2		Área próxima a pontos de poluição (canal)	Comercial	9838488.73 S	778148.43 E
P1.3		Consumidores vulneráveis	Escola Privada	9838624.00 S	777575.00 E
P1.4		Área densamente povoada	Residencial	9839232.00 S	778490.00 E
P1.5		Área próxima a pontos de poluição (feira livre)	Feira	9839431.13 S	777916.78 E
P2.0 - 2º Setor		Saída de Reservatório		9838711.33 S	779093.24 E
P2.1	2º Setor	Área comercial de grande circulação de pessoas	Comercial	9838585.00 S	778705.00 E
P2.2		Área densamente povoada	Residencial	9837993.78 S	778210.37 E
P2.3		Área próxima a pontos de poluição (cemitério)	Residencial	9838722.46 S	779273.49 E
P2.4		Área Periférica em situação sanitária precária	Residêncial	9837630.17 S	777824.65 E
P2.5		Área próxima a pontos de poluição (canal)	Residencial	9838381.66 S	778235.28 E
P3.0 - 3º Setor		Saída de Reservatório		9839671.00 S	779977.48 E
P3.1	3º Setor	Consumidores vulneráveis	Prédio Público	9840879.00 S	779639.00 E
P3.2		Área próxima a pontos de poluição	Comercial	9839356.00 S	780364.00 E
P3.3		Consumidores vulneráveis	Hospital	9840589.44 S	780094.77 E
P3.4		Área portuária	Comercial	9841073.57 S	778928.39 E
P4.0 - 4º Setor		Saída de Reservatório		9838237.47 S	781635.09 E
P4.1	4º Setor	Área próxima a pontos de poluição (cemitério)	Residencial	9838226.34 S	781860.69 E
P4.2		Área próxima a pontos de poluição	Residencial	9837046.00 S	781691.00 E
P4.3		Área próxima a pontos de poluição (feira livre)	Comercial	9837645.00 S	782374.00 E
P4.4		Área próxima a pontos de poluição	Comercial	9836704.00 S	782673.00 E
P5.0 - ETA 5º SETOR		Saída da Estação de Tratamento de Água		9842053.70 S	783085.14 E
P5.1	5º Setor	População em situação sanitária precária	Residencial	9841164.70 S	783465.03 E
P5.2		Área próxima a pontos de poluição (canal)	Residencial	9840360.00 S	782860.00 E
P5.3		Consumidores vulneráveis	Escola Pública	9842000.46 S	782947.83 E
P5.4		Consumidores vulneráveis	Prédio Público	9840432.78 S	782152.40 E
P5.5		Próximo ao limite do setor (ponta de rede)	Residêncial	9843074.00 S	784593.00 E
P6.0 - 6º Setor		Saída de Reservatório		9839455.58 S	781590.34 E
P6.1 - ETA SB	6º Setor	Saída da Estação de Tratamento de Água		9839625.58 S	781522.21 E
P6.2		Área próxima a pontos de poluição (canal)	Residencial	9840382.00 S	780843.00 E
P6.3		Área próxima a pontos de poluição (feira livre)	Feira	9840121.22 S	781722.60 E
P6.4		Área próxima a pontos de poluição (canal)	Residencial	9838850.00 S	782571.00 E
P8.0 - 8º Setor		Saída de Reservatório		9837525.56 S	780152.23 E
P8.1	8º Setor	Área densamente povoada	Residencial	9837082.00 S	779099.00 E
P8.2		Área próxima a pontos de poluição	Residencial	9836760.86 S	780545.62 E
P8.3		Área próxima a pontos de poluição (canal)	Residencial	9838518.00 S	780371.00 E
P8.4		Consumidores vulneráveis	Escola Privada	9838272.47 S	779261.66 E
P8.5		Consumidores vulneráveis	Escola Pública	9837665.00 S	779428.00 E
P9.0 - 9º Setor		Saída de Reservatório		9842077.44 S	781721.84 E
P9.1	9º Setor	Área próxima a pontos de poluição (canal)	Residencial	9841486.00 S	782090.00 E
P9.2		Consumidores vulneráveis (próximo à escola)	Residencial	9841448.00 S	779626.00 E
P9.3		Área próxima a pontos de poluição (canal)	Residencial	9842452.40 S	780626.25 E
P9.4		Área próxima a pontos de poluição	Comercial	9843997.48 S	781821.91 E
P9.5		Área próxima a pontos de poluição (canal)	Comercial	9843355.74 S	780425.00 E
ETA Bolonha		Saída da Estação de Tratamento de Água		9842996.00 S	785043.00 E

Fonte: elaborado pelo Autor

Figura 13: Localização dos Pontos de Amostragem



Fonte: elaborado pelo autor

4.3.1 Cronograma de Amostragem

Foram realizadas as coletas por setores, sendo um setor por dia, ou seja, 8 dias de coletas por mês, durante 10 meses, de março à dezembro de 2015, totalizando 96 dias de coleta ao final da pesquisa. Todas as coletas foram realizadas no período da manhã devido à questão de segurança.

4.3.2 Metodologia de Coleta e Preservação das Amostras

As coletas foram realizadas em torneiras comuns com ligação direta ao sistema de abastecimento público, ou seja, em economias que não possuam reservatórios próprios, estações de tratamento, ou afins. Primeiramente foi feita a assepsia da torneira com álcool etílico à 70% e, em seguida, a torneira ficou aberta por 2 minutos para remoção da água parada nas tubulações, visando sempre a coleta de amostras representativas do sistema público, minimizando possíveis interferências nas análises.

Para as análises de *Escherichia coli* e coliformes totais foram utilizados frascos estéreis com volumes de 100 mL, tampas de rosca devidamente esterilizadas, adicionando 0,1 mL de solução de tiosulfato de sódio ($Na_2S_2O_3$), a 10% para cada 100 mL de amostra.

Para as análises de fluoreto, cloro residual livre, turbidez, cor aparente e ferro total foram utilizados frascos de polietileno com capacidade de 900 mL. Todas as amostras foram preservadas em um recipiente térmico com gelo para posterior análise em laboratório. Todas as análises foram realizadas nos mesmos dias das suas respectivas coletas.

4.4 Metodologia dos Procedimentos Analíticos

Os procedimentos analíticos seguiram as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1999). Todas as determinações foram realizadas no Laboratório Multiusuário de Tratabilidade de Águas (LAMAG) vinculado ao Grupo de Estudos em Gerenciamento de Água e Reuso de Efluentes (GESA) situado no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LAESA) da UFPA. A Tabela 10 apresenta os métodos, e os equipamentos utilizados na determinação de cada parâmetro, assim como suas respectivas faixas de leitura.

Tabela 10: Métodos, equipamentos e faixa de leitura

Parâmetro	Método	Descrição	Equipamento	Faixa de leitura
Cloro Residual Livre	Espectrofotométrico	DPD Powder Pillows	DR 3900	0,02 - 2,00 mg/L Cl ₂
Fluoreto	Espectrofotométrico	SPADNS Reagent Solution	DR 3900	0,02 - 2,00 mg/L F ⁻
Ferro total	Colorimétrico	–	HI-721	0,00 - 5,00 ppm
Cor aparente	Colorimétrico	–	AquaColor	0,00 - 500 uC
Turbidez	Nefelométricas	–	AP 2000	0,00 - 1000 NTU
Coliformes Totais e E. coli	Colilert	DST - Defined Substrate Technology	–	Presença/Ausência

Fonte: elaborado pelo Autor

4.5 Tratamento dos Dados

O tratamento estatístico dos dados objetivou encontrar os valores de tendência central que representem os indicadores estudados (cloro residual livre, turbidez, cor aparente, pH, fluoretos, ferro total, coliformes e E.coli), para cada ponto de amostragem.

4.5.1 Remoção das *outliers*

Com a finalidade da remoção de valores suspeitos (valores atípicos que não são representativos do universo amostral), denominados *outliers*, foi aplicado o teste de Grubbs. Este método testa a existência de *outliers* baseado na comparação do valor suspeito com o valor estimado pela Equação 4.3. O resultado da Equação 4.3 foi comparado com valores de referência que considera a quantidade de dados e a significância da análise estatística, se for maior então o valor suspeito realmente é um *outlier* caso contrário, trata-se de um valor representativo do universo amostral. A tabela de referência utilizada foi a proposta por Sokal e Rohlf (1995), a qual segue no Anexo A deste documento.

$$Outlier = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \quad (4.3)$$

Onde:

x = Valor suspeito;

\bar{x} = Média, e;

σ = Desvio padrão.

Em seguida à aplicação do teste de Grubbs, foi realizada a análise descritiva dos dados, sendo adotada a mediana como medida de tendência central. Posteriormente foi realizada a classificação dos valores obtidos baseando-se nos valores máximos permitidos (VMP) da Portaria 2914 (BRASIL, 2011).

4.5.2 Comparações Múltiplas de Kruskal Wallis 'H' e teste de Dunn

Primeiramente foi realizado o teste de normalidade em todas as séries de dados obtidos, dividindo as séries por parâmetros de qualidade da água e setores de abastecimento. O teste utilizado foi o de Anderson e Darling (1952).

Utilizou-se o teste estatístico de Kruskal-Wallis H. O Kruskal-Wallis H é um teste não paramétrico, análogo à análise de variância (ANOVA), porém, a utilização da ANOVA é restrita a dados que possuam distribuição normal.

O teste Kruskal-Wallis H é um teste estatístico global que possibilita verificar a hipótese geral de que todas as medianas populacionais são iguais. Para realizar a comparação entre os grupos individuais foi utilizada também a correção de Bonferroni (SIMES, 1986), e o teste de Dunn (1964).

A correção de Bonferroni consiste na realização de um teste t para cada par de dados com determinada taxa de erro por comparação, de maneira que a significância para cada família é α , ou seja, Bonferroni controla o nível de confiança simultâneo para um conjunto completo de intervalo de confiança (SIMES, 1986).

O teste de Dunn (1964) é um procedimento de comparações múltiplas de pares não-paramétricos com base em somas do rank. Primeiro, há a combinação dos dados, determinação dos postos, encontrando os postos médios de grupo e, depois, obtêm-se as diferenças absolutas padronizadas desses postos médios.

Para realização desses testes foi utilizado o software MiniTab®, que possui rotina macro específica para os testes citados. Resultando no número de comparações $k = \frac{k(k-1)}{2}$, a família alfa (α), o alfa individual de Bonferroni (β), $\beta = \frac{\alpha}{k}$, e o valor z crítico bilateral.

O software exibe a diferença do posto médio de grupo padronizado (θ) e os valores- p associados à essas diferenças, onde é possível verificar quais grupos são diferentes

relacionando-os entre si, assim como o intervalo de confiança para as medianas. Importante ressaltar que os níveis de confiança dos intervalos são controlados no alfa da suas respectivas famílias. Assim o software gerou o gráfico das diferenças padronizadas de posto médio de grupo. Os gráficos gerados permitiram visualizar as magnitudes das diferenças dos grupos e as suas direções (positivas $+Z$, ou negativas $-Z$).

4.6 Metodologia FMEA

A metodologia desta pesquisa teve como base a metodologia aplicada por Vieira (2012), embasada por Salah *et al.* (2015) e Zambrano e Martins (2007), para tal a metodologia FMEA foi realizada em 5 etapas, sendo elas: Planejamento (análise funcional), Análise das falhas em potencial, Avaliação das falhas potenciais, definidas por Salah *et al.* (2015) e Ponderação dos riscos, e Cálculo do risco total definidos por Vieira (2012).

4.6.1 Planejamento

Esta etapa abrange o objeto do estudo, ou seja, a qualidade do sistema de abastecimento de água de Belém (Bolonha/Utinga). Nesta etapa foram selecionados os especialistas que participaram da equipe multidisciplinar FMEA, sendo responsáveis pela análise e avaliação das falhas em potencial. A equipe de especialistas foi composta por 5 mestres na área. Dois mestre em engenharia civil/hidráulica com ênfase em saneamento (USP), uma mestre em geoquímica (UFPA), e as mestres em engenharia civil com ênfase em recursos hídricos e saneamento (UFPA).

4.6.2 Análise das falhas em potencial

Em reunião com a equipe FMEA foram analisadas as falhas em potencial, suas causas e medidas mitigadoras. Foi construída também a tabela de escores de quantificação de risco que apoiou a tomada de decisão pelo grupo e foi imprescindível para etapa seguinte.

A tabela de escores é elemento fundamental para a quantificação do risco, a mesma apresenta a classificação da severidade, ocorrência, detecção e abrangência do risco em escalas de 1 a 3. A Tabela 11 exemplifica uma tabela para ocorrência.

Tabela 11: Exemplo de tabela de ocorrência (O)

Escore para Ocorrência		
Ocorrência	Descrição	Classificação
Alta	O impacto ambiental é muito provável que ocorra a partir de 60.	3
Moderada	O impacto ambiental é provável com frequência entre 30 e 59.	2
Baixa	O impacto Ambiental é pouco provável que ocorra eventualmente de 0 a 29.	1

Fonte: (VIEIRA, 2012)

De maneira geral, quanto maior o escore atribuído maior é risco, uma vez que o cálculo do RPN foi realizado pelo produto entre os escores de severidade, ocorrência, detecção e abrangência (ZAMBRANO; MARTINS, 2007).

O formulário com as falhas em potencial, causa e medidas mitigadoras foi gerado pela equipe FMEA. A Tabela 12 apresenta um exemplo de formulário FMEA utilizado por Vieira (2012) para um sistema de abastecimento de água.

Tabela 12: Exemplo de Formulário FMEA preenchido

Perigo	Tipo de Poluente	Efeito	Causa	S	O	D	A	RPN	Medida Mitigadoras
Alta concentração de Bactérias	Real	Presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, falta de manutenção na rede, grande quantidade de matéria orgânica na água ou estagnação na rede	3	1	3	3	27	Melhoria no processo de desinfecção, manutenção da rede, remoção de matéria orgânica na ETA ou continuidade de distribuição
Baixo pH	Potencial	Corrosão na Tubulação	Falha nos processos e operações unitárias da ETA	1	1	2	2	4	Utilização de substâncias para corrigir o pH
Alta Turbidez	Real	Aspecto desagradável e interferência na desinfecção	Aumento de sólidos suspensos no manancial, falha na coagulação, floculação, decantação ou filtração	3	1	2	3	18	Melhorias no processo de remoção de turbidez

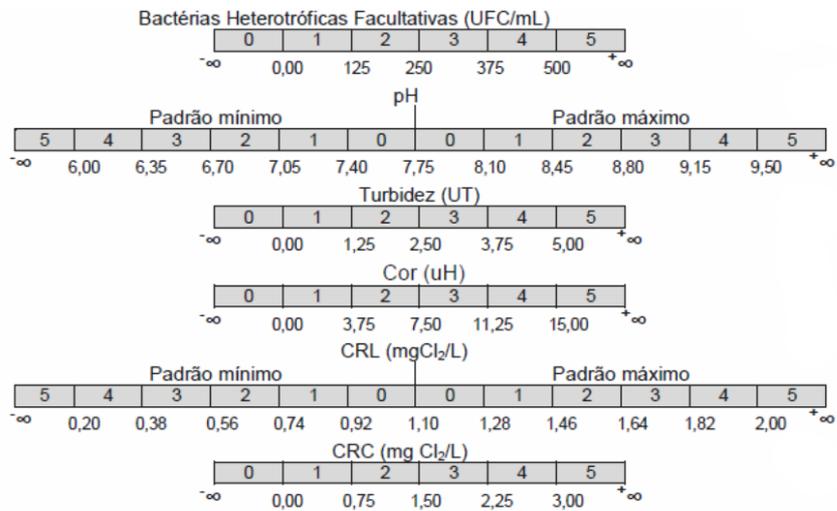
Fonte: Adaptado de (VIEIRA, 2012)

4.6.3 Avaliação das falhas potenciais

Cada participante da equipe FMEA recebeu o formulário FMEA elaborado na etapa anterior, e a tabela de escore construída. O preenchimento do formulário foi baseado no debate de cada característica dos perigos estudados, suas causas e efeitos, além das medidas mitigadoras. Foram gerados três formulários, o primeiro para a rede de abastecimento, o segundo para a descida dos reservatórios dos setores, e o terceiro para as estações de tratamento. O consenso entre os especialistas foi o objetivo principal para o correto preenchimento do formulário.

Além do formulário, foi realizada a classificação da escala dos indicadores utilizados na pesquisa, a classificação, de 0 a 5, onde valores mais próximos de zero representam menores riscos, enquanto valores mais próximos de 5 representam maiores riscos, conforme exemplo da Figura 14.

Figura 14: Escalas de Classificação dos indicadores



Fonte: (VIEIRA, 2012)

4.6.4 Ponderação dos riscos

Após o preenchimento dos escores (severidade, ocorrência, detecção e abrangência) foi realizado o cálculo da ponderação dos riscos, que define o grau de relevância de cada risco. O risco total foi considerado como a soma de todos os riscos levantados nesta pesquisa, então o cálculo da porcentagem de relevância de cada risco frente ao total do sistema será dado pela Equação 4.4.

$$P = \frac{R_1}{\sum_1^n R} \quad (4.4)$$

Onde:

P = Ponderação;

R₁ = Risco individual;

n = Quantidade de Risco, e;

$\sum R$ = Soma dos Riscos.

A Tabela 13 apresenta um exemplo de ponderação dos riscos.

Tabela 13: Exemplo de ponderação de riscos

Perigo		Risco				
Parâmetro	S	O	D	A	RPN	P (%)
Presença de E.coli	3	1	3	3	27	26,2
Baixo pH	1	1	2	2	4	3,9
Alto pH	2	1	2	2	8	7,8
Alta Turbidez	3	1	2	3	18	17,5
Alta Cor aparente	1	3	2	2	12	11,7
Baixa concentração de CRL	3	1	2	3	18	17,5
Alta concentração de CRL	1	3	2	2	12	11,7
Alta concentração de CRC	1	1	2	2	4	3,9
Total					103	100,0

Fonte: Adaptado de (VIEIRA, 2012)

4.6.5 Cálculo do risco total

Nesta etapa foi realizado, primeiramente, o cálculo do risco máximo, que é dado pela soma do produto da classificação máxima de cada indicador pela ponderação dos riscos, e logo após foram definidos os intervalos de categorização do risco, conforme exemplo da Tabela 14.

Tabela 14: Cálculo do risco máximo e a categorização do risco

Parâmetro	Classifi- cação máxima	%	Total	Risco	
				Intervalo	Categorização
Presença de E.coli	5	26,2	131,0	$0 \leq x \leq 0,81$	Desprezível
Baixo pH	5	3,9	19,5	$0,81 < x \leq 1,62$	Baixo
Alta Turbidez	5	17,5	87,5	$1,62 < x \leq 2,43$	Moderado
Alta Cor aparente	5	11,6	58,0	$2,43 < x \leq 3,24$	Alto
Baixa concentração de CRL	5	17,5	87,5	$3,24 < x \leq 4,03$	Crítico
Alta concentração de CRC	5	3,9	19,5		
Total			403,0		
Risco Máximo			4,03		

Fonte: Adaptado de (VIEIRA, 2012)

O cálculo do risco total foi realizado através do produto da classificação do indicador, a ponderação do seu respectivo risco e a mediana dos valores encontrados, depois, é realizada a soma de todos os produtos, resultando no risco total do sistema, no ponto monitorado, conforme exemplo da Tabela 15.

Tabela 15: Categorização consolidada por ponto

Ponto	Mediana	Classificação	Risco	
			%	Total
P0				
E.coli	7	1	26,2	26,2
pH	6,29	4	3,9	15,6
Turb	2,25	2	17,5	35
Cor	18	5	11,6	58
CRL	4,67	5	17,5	87,5
CRC	0,44	1	3,9	3,9
Moderado				2,26

Fonte: Adaptado de (VIEIRA, 2012)

Diante da quantificação e categorização dos riscos em cada ponto foi possível a construção dos mapas de risco dentro do sistema de abastecimento de água estudado.

4.7 Mapas de risco

Os mapas de risco foram elaborados com base nos resultados dos indicadores analisados utilizando-se de softwares de mapeamento e georreferenciamento, como ArcGIS e Surfer. Através do software Surfer, foram elaborados mapas de riscos para cada indicador analisado e representando a disposição espacial dos mesmos.

5 Resultados e Discussões

Foram coletados em 46 pontos, 10 campanhas, 8 parâmetros por ponto (cor aparente, turbidez, pH, ferro total, cloro residual livre, fluoreto, coliformes totais e E.coli), totalizando 3680 dados. Os dados foram agrupados por setor de abastecimento e submetidos ao teste de Grubbs afim de detectar valores atípicos (outliers) que não são representativos, para o teste foi adotado nível de significância (α) de 0,05. Desta forma os valores suspeitos foram identificados e eliminados, conforme Tabela 16.

Tabela 16: Outliers detectados pelo teste de Grubbs

Setores	n	Outliers
1º Setor	480	3
2º Setor	480	2
3º Setor	400	2
4º Setor	400	4
5º Setor	400	6
6º Setor	320	3
8º Setor	480	5
9º Setor	480	3
ETA's	240	3
Total	3680	31

Após a remoção dos outliers foi aplicada a estatística descritiva para todos os 46 pontos estudados e verificada a ocorrência de conformidades e não conformidades de acordo com o que preconiza a Portaria 2914 (BRASIL, 2011).

A Tabela 17 apresenta resumo estatístico para os seguintes grupos: rede, descida dos reservatórios dos setores, e estações de tratamento. A tabela com a estatística descritiva, conformidades e não conformidades de todos os 46 pontos encontra-se no Anexo B deste documento.

Vale ressaltar que não houve inconformidades para CRL por concentração acima do VMP, ou seja, todos os casos foram de concentração abaixo da mínima recomendada. O mesmo ocorreu para fluoreto. De forma análoga, o pH só apresentou não conformidades para valores abaixo da faixa recomendada, ou seja, não houve nenhum caso de pH acima de 9,5.

De acordo com a Tabela 17, os pontos na rede de abastecimento apresentaram não conformidades em todos os parâmetros estudados, no entanto, apresentou maior frequência para cloro residual livre (22,35% das amostras), presença de coliformes totais (27,78%), e fluoretos (100%). Houve também a presença de E.coli, embora com menor número de

ocorrências (1,94%).

No caso de presença de Coliformes Totais, a Portaria 2914 (BRASIL, 2011) determina em seu Art. 27:

"§ 1º No controle da qualidade da água, quando forem detectadas amostras com resultado positivo para coliformes totais, mesmo em ensaios presuntivos, ações corretivas devem ser adotadas e novas amostras devem ser coletadas em dias imediatamente sucessivos até que revelem resultados satisfatórios"(BRASIL, 2011).

Tabela 17: Resultados obtidos para cada variável: rede, descida dos reservatórios e ETA's

Setor	Variável	Média	Mediana	Desvio Padrão	Conformidade		Não Conformidade	
					N	%	N	%
Rede	Cor ap.	10,31	10	3,48	342	95,80	15	4,20
	Turbidez	2,66	2,56	0,79	349	98,03	7	1,97
	pH	6,64	6,63	0,32	348	97,48	9	2,52
	Ferro total	0,08	0,05	0,09	347	97,47	9	2,53
	CRL	0,37	0,31	0,26	278	77,65	80	22,35
	Fluoreto	0,07	0,03	0,06	0	0,00	355	100,00
	Coliformes Totais	-	-	-	260	72,22	100	27,78
	E.coli	-	-	-	353	98,06	7	1,94
Descida dos Reservatórios	Cor ap.	9,39	9	3,04	68	97,14	2	2,86
	Turbidez	2,26	2,19	0,49	69	100,00	0	0,00
	pH	6,63	6,7	0,30	69	98,57	1	1,43
	Ferro total	0,05	0,03	0,04	68	100,00	0	0,00
	CRL	0,45	0,33	0,36	51	75,00	17	25,00
	Fluoreto	0,07	0,03	0,08	0	0,00	68	100,00
	Coliformes Totais	-	-	-	66	94,29	4	5,71
	E.coli	-	-	-	70	100,00	0	0,00
ETA's	Cor ap.	9,83	10,00	2,47	28	96,55	1	3,45
	Turbidez	3,12	2,86	0,77	30	100,00	0	0,00
	pH	7,00	7,01	0,30	29	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,04	0,03	0,03	29	100,00	0	0,00
	CRL	0,87	0,75	0,34	29	96,67	1	3,33
	Fluoreto	0,08	0,02	0,10	0	0,00	30	100,00
	Coliformes Totais	-	-	-	30	100,00	0	0,00
	E.coli	-	-	-	30	100,00	0	0,00

Vale ressaltar que o a ocorrência de coliformes totais na rede (27,78%) é alarmante uma vez que indica a possível presença de microrganismos patogênicos, ou seja, está diretamente relacionada à riscos para a saúde do consumidor. Em comparação com os pontos das estações de tratamento é possível afirmar que a contaminação não advém de falhas nas estações (0% de ocorrência), assim como há pouca contribuição dos reservatórios

(5,71%) para este grave número de coliformes na rede. Diante disso, pode-se afirmar que a fonte do problema, em sua maior parte, é a própria rede, seja por estagnações ou interrupções no fornecimento, falta de manutenção na mesma, presença de matéria orgânica, dentre outras possibilidades.

Na descida dos reservatórios dos setores de abastecimento, além do fluoreto que apresentou não conformidade em 100% das amostras, destaca-se a não conformidade em 25% para o CRL, apontando que o mesmo não é aplicado com a concentração adequada. Houve também a ocorrência de 5,71% de coliformes totais, no entanto, não houve ocorrência de E.coli.

Ao verificar os dados das ETA's é possível verificar que, exceto fluoreto, todos os outros parâmetros apresentaram comportamento satisfatórios, com apenas uma não conformidade para CRL e uma para cor aparente.

O maior número de não conformidades registrado foi para o parâmetro fluoreto, que ocorreu em 100% das amostras. Todas as amostras apresentaram concentração abaixo da mínima recomendada para a cidade de Belém (0,65 à 0,82 mg/L). Diante disto é possível afirmar que a fluoretação do sistema apresenta deficiências e que a companhia de abastecimento responsável deve tomar medidas corretivas para isso.

Após 10 campanhas, foi possível verificar que a maior parte de não conformidades foi registrada nos pontos da rede de abastecimento, ou seja, a água sai das estações de tratamento com qualidade satisfatória, para praticamente todos os parâmetros - exceto fluoreto, e chega ao consumidor com a sua qualidade degradada. Tal fato leva a crer que a causa das não conformidades está ligada à rede de abastecimento, devido à redes antigas, vazamentos, ou infiltrações.

Em relação à cor aparente e turbidez, foi possível constatar que a maior ocorrência de não conformidades foi na rede (15 casos de cor aparente e 7 de turbidez), enquanto que na descida dos reservatórios e nas ETAs, somando foram 3 ocorrências para cor aparente e nenhuma para turbidez. O mesmo ocorreu para todos os demais parâmetros, exceto fluoreto. Vale enfatizar que a presença de coliformes totais e E.coli também foi menor nas descidas dos reservatórios, somando apenas 4 ocorrências para coliformes totais e nenhuma para E.coli, enquanto que na rede foram verificadas 100 ocorrências para coliformes totais e 7 para E.coli.

Diante disso é possível afirmar que a rede da zona central de abastecimento de água de Belém é um ponto crítico do sistema que demanda mais atenção.

5.1 Comparações Múltiplas de Kruskal-Wallis 'H' e teste de Dunn

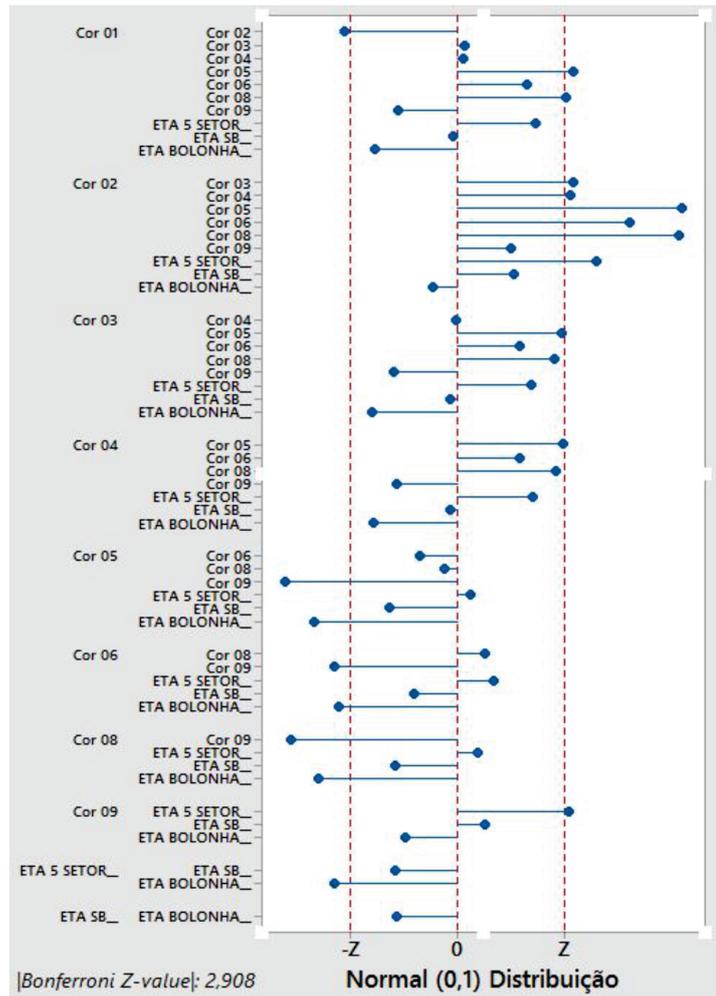
Primeiramente foi comprovada a não-normalidade de todas as séries de dados pelo teste de Anderson e Darling (1952), uma vez que o teste de Kruskal-Wallis não se aplica para distribuições normais.

A aplicação do teste de Kruskal Wallis H combinado com o teste de Dunn resultou em 55 comparações para cada variável utilizada, e possibilitou a criação de gráficos que expressam a diferença estatística ou não dos setores analisados, desta forma foram geradas as Figuras 15, 16, 17, 18, 19, e 20. Também foram geradas as tabelas com os respectivos valores p para os grupos significativamente diferentes, presentes no Anexo C deste documento.

Para o parâmetro cor aparente (Figura 15), foi observado que dois setores que recebem água da ETA Bolonha são significativamente diferentes desta, o setor 6, e o setor 8, enquanto que os outros dois setores que recebem água da mesma ETA não são significativamente diferentes (setor 4 e setor 9). Ao fazer a mesma comparação para a ETA São Brás e seus setores, verificou-se que não há diferença significativa, assim como a ETA do 5º setor e o setor 5.

O caso dos setores que são diferentes da sua ETA de origem pode ser explicado por alterações da cor aparente no decorrer da rede de abastecimento, e a possível influência de outros setores uma vez que os mesmos não possuem redes completamente isoladas entre si.

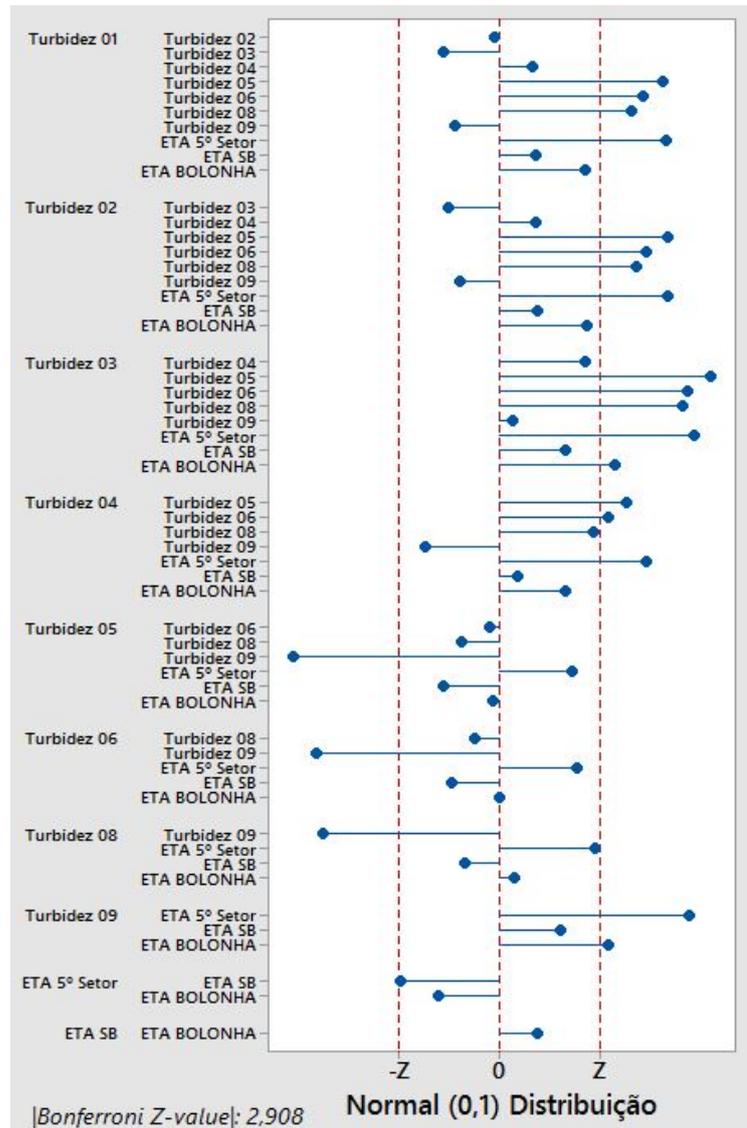
Figura 15: Comparações múltiplas entre dados de cor aparente



Fonte: elaborado pelo autor

De forma análoga, a turbidez apresentou o comportamento onde os setores referentes à ETA Bolonha não são significativamente diferentes, exceto setor 9, que pode ter recebido contribuição de outro setor, possivelmente o 3º setor, que é vizinho, e está dentro do intervalo de similaridade (Figura 16) se comparado com o 9º setor. Para a ETA São Brás e ETA 5º setor todos os seus respectivos setores não são significativamente diferentes, conforme pode ser verificado na Figura 16.

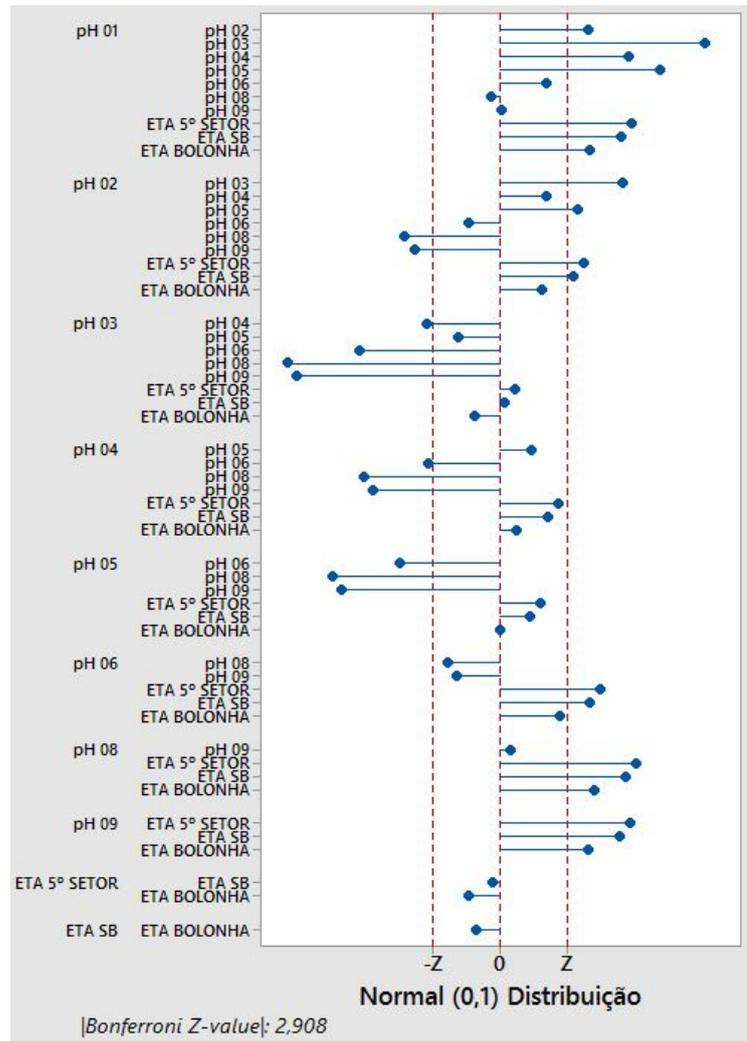
Figura 16: Comparações múltiplas entre dados de turbidez



Fonte: elaborado pelo autor

De acordo com a Figura 17, o pH não aparenta ter uma relação com as ETA's e seus respectivos setores, de tal forma que o pH vem sendo alterado ao longo da rede possivelmente devido a fatores como vazamentos, interrupções, possíveis reações químicas, ligações com redes de outros setores, e etc.

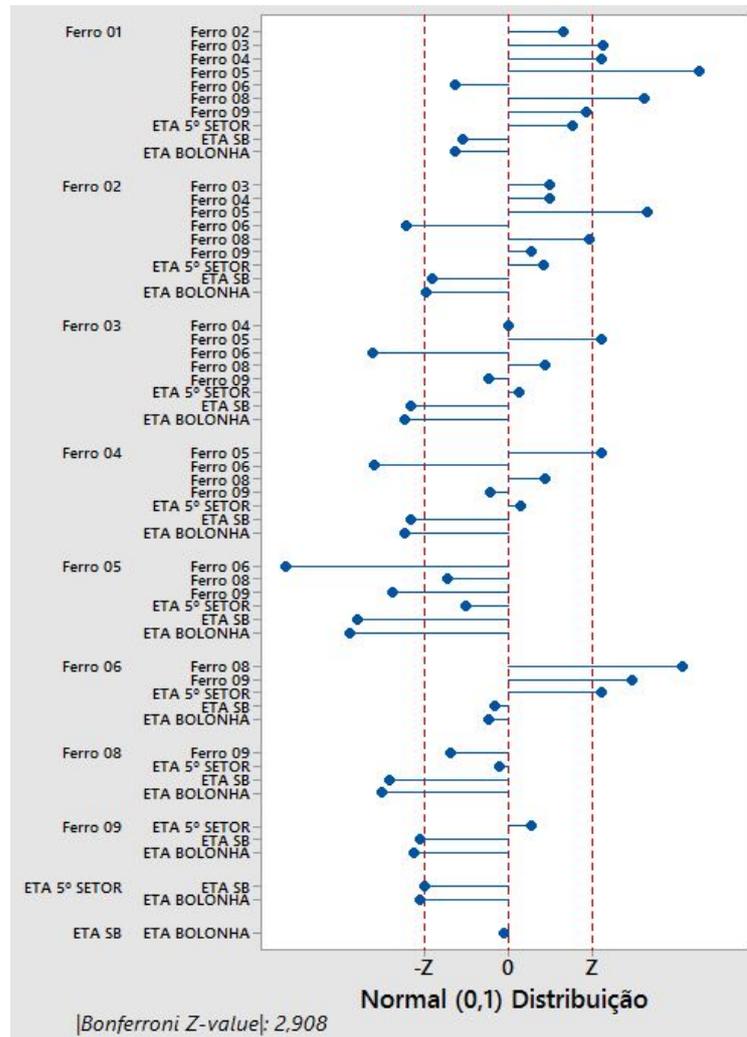
Figura 17: Comparações múltiplas entre dados de pH



Fonte: elaborado pelo autor

Em relação ao ferro total (Figura 18), é possível inferir que o mesmo possui comportamento similar ao pH, ou seja, não é possível afirmar que há relação dos setores com as suas ETA's de origem, isso pode evidenciar que o ferro total presente na água não é proveniente das ETA's, mas sim da própria rede, seja por corrosão das tubulações antigas de ferro, ou possíveis contaminações por vazamentos aliados à interrupções no fornecimento.

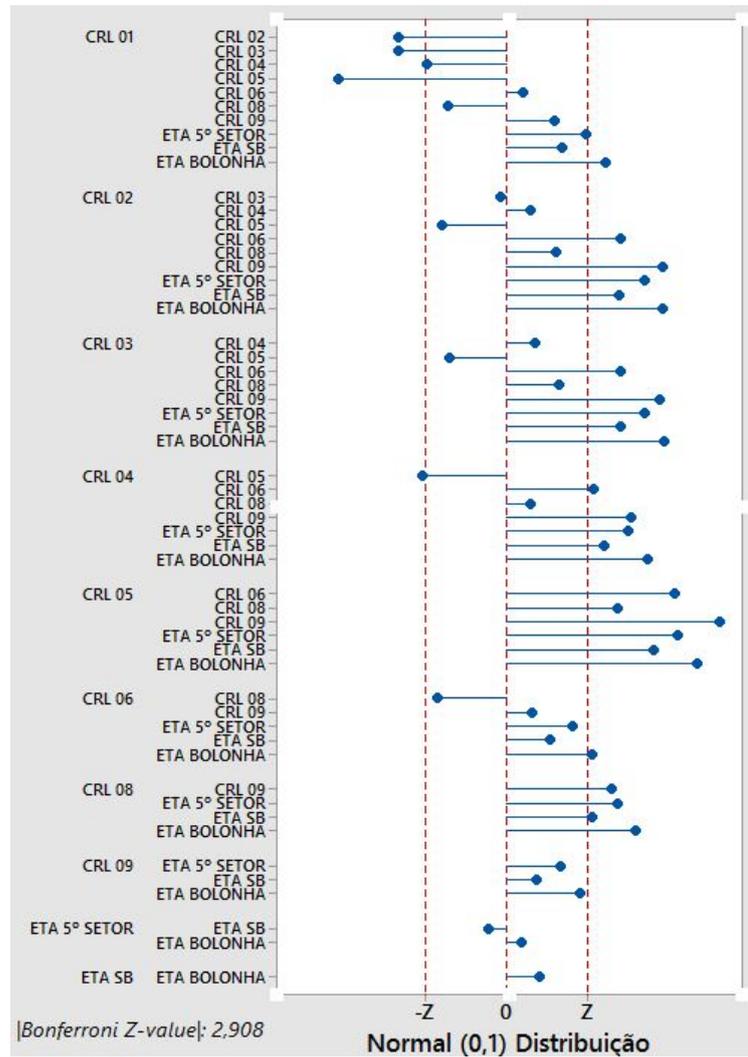
Figura 18: Comparações múltiplas entre dados de ferro total



Fonte: elaborado pelo autor

Para o cloro residual livre, Figura 17, foi verificado que, em sua maioria, são significativamente diferentes quando relacionados os setores e suas respectivas ETA's de origem. Tal comportamento deve-se à reatividade do cloro com outras substâncias que podem estar presentes na rede.

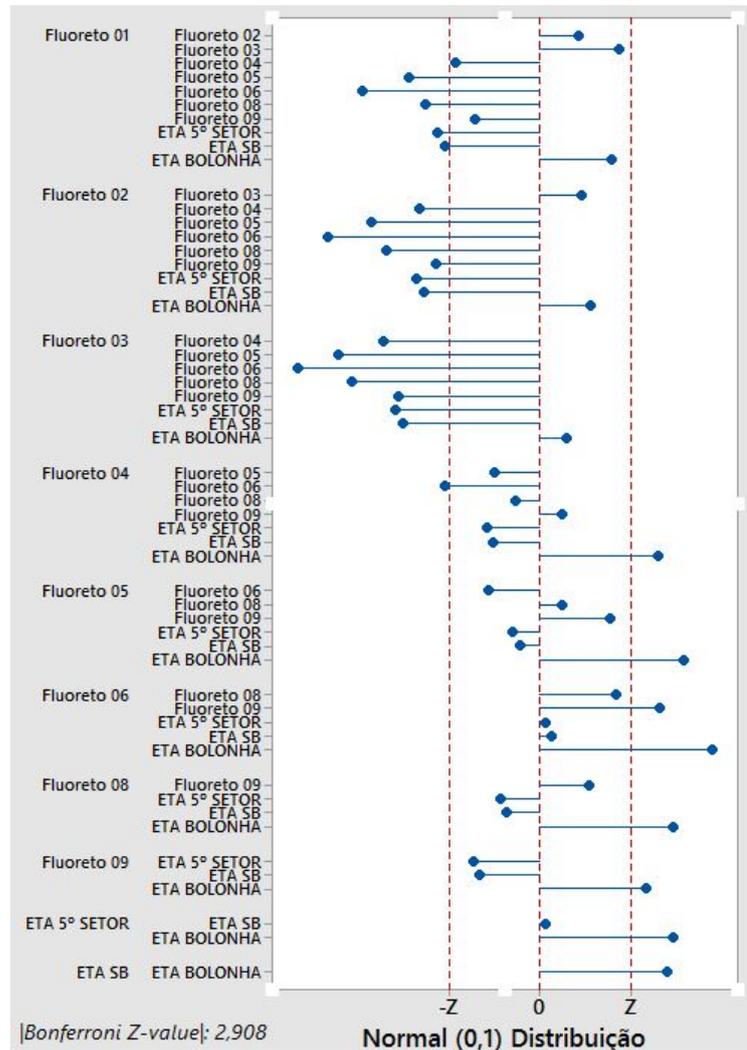
Figura 19: Comparações múltiplas entre dados de CRL



Fonte: elaborado pelo autor

Assim como o CRL, o fluoreto apresentou diversos casos de diferença significativa entre os setores e suas ETA's. Este comportamento, possivelmente, deve-se ao fato de que a rede dos setores são interligadas, fazendo com que ocorra misturas de diferentes concentrações do íon fluoreto no decorrer da mesma, além disso, nem todas as ETA's realizam a fluoretação da água, sendo esta realizada apenas na ETA Bolonha.

Figura 20: Comparações múltiplas entre dados de fluoreto



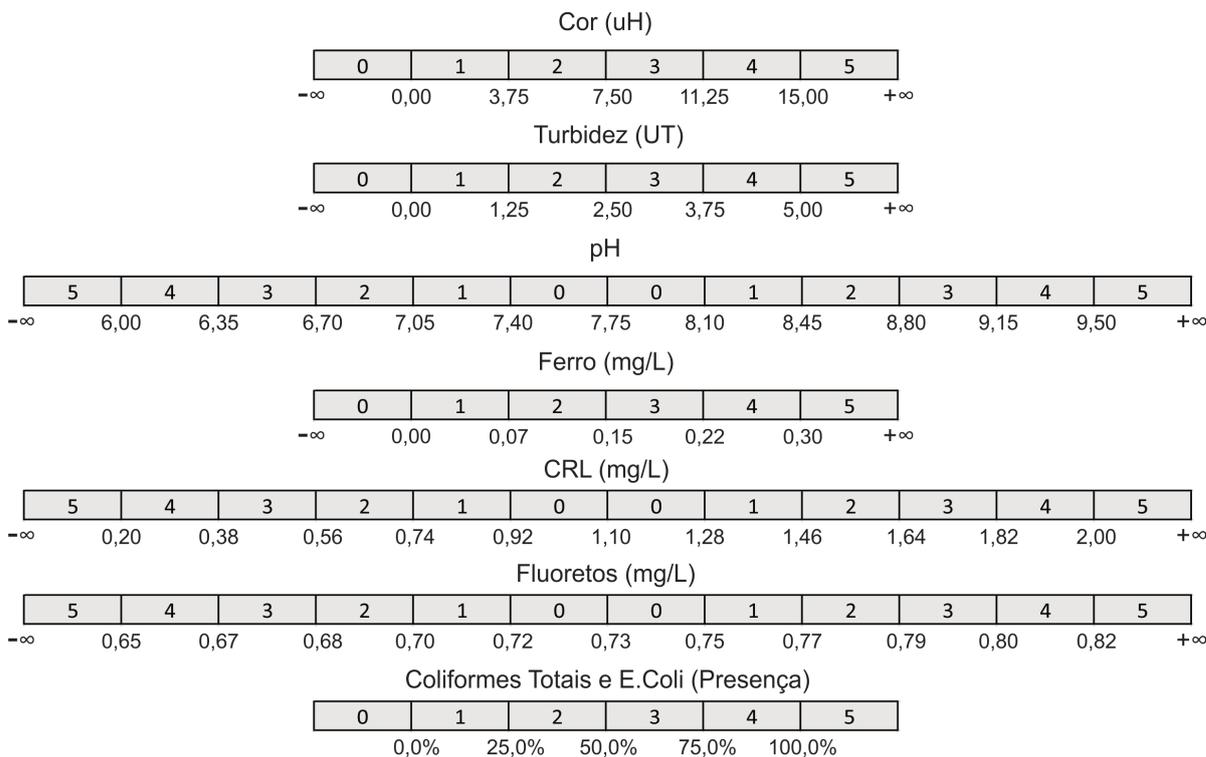
Fonte: elaborado pelo autor

5.2 Aplicação da FMEA

Para aplicação da FMEA foi necessária a criação de classificações baseadas nos VMP da Portaria 2914 (BRASIL, 2011). Foram criadas escalas de risco para diversos indicadores, conforme Figura 21.

Para indicadores que possuem padrões máximos e mínimos (pH, CRL e fluoretos) foi feita a média entre os padrões, para a definição dos intervalos identificados por valores de 0 à 5, onde quanto maior o valor, maior o risco.

Figura 21: Escala de classificação dos indicadores



Fonte: elaborado pelo autor

Foi decidido em reunião com a equipe FMEA que os dados fossem divididos em 3 grupos, um grupo que representa os pontos da rede de abastecimento (REDE), outro para as descidas dos reservatórios do setores (DRS), e o terceiro para as estações de tratamento de água (ETA's). A divisão foi realizada visando não negligenciar possíveis comportamentos característicos de cada grupo. O grupo REDE possui 36 pontos, enquanto o DRS possui 7 pontos, e 3 do grupo ETA's, totalizando 46 pontos.

Ainda na reunião FMEA, foi realizado o preenchimento do formulário para os grupos citados, no entanto, para isso foi realizada a criação de tabelas de escores. Foram considerados quatro aspectos: Severidade (S), Ocorrência (O), Detecção (D) e Abrangência (A), com escores variando de 1 à 3, dependendo da intensidade do perigo.

As tabelas de escores utilizadas foram as utilizadas por Vieira (2012), conforme Tabelas 18, 19, 20, e 21. As tabelas de ocorrência, detecção, e abrangência foram adaptadas, uma vez que se fez necessário para aplicação diante da realidade desta pesquisa. Por exemplo, Vieira (2012) utilizou a tabela de escores para ocorrência relacionando a número de casos de perigo detectado com seu respectivo escore, porém, para esta pesquisa, a ocorrência foi posta em porcentagem, devido ao maior número de variáveis utilizadas.

Para a tabela de escores de detecção Vieira (2012) considerou que quanto mais fácil a detecção (perceptível a olho nú), maior o risco (escore), porém, no entendimento da equipe FMEA, quanto mais fácil a detecção, menor será o risco, uma vez que o perigo

pode ser facilmente identificado e corrigido.

A abrangência foi adaptada para a realidade de um sistema de abastecimento de grande porte, diferentemente do porte do sistema estudado por Vieira (2012).

Tabela 18: Tabela de escore para Severidade (S)

Escore para Severidade		
Severidade	Descrição	Classificação
Alta	Substâncias muito danosas ao meio ambiente causam efeitos graves a saúde humana, apresentam características de corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.	3
Moderada	Substâncias danosas ao meio ambiente causam efeitos leves à saúde humana (irritações ou alergias), com longo tempo de decomposição.	2
Baixa	Substâncias pouco danosas ao meio ambiente causam efeitos negativos à saúde humana e possuem curto tempo de decomposição.	1

Fonte: (VIEIRA, 2012)

Tabela 19: Tabela de escore para Ocorrência (O)

Escore para Ocorrência		
Ocorrência	Descrição	Classificação
Alta	O impacto ambiental é muito provável que ocorra de 75% a 100%	3
Moderada	O impacto ambiental é provável que ocorra a partir de 30% até 75%	2
Baixa	O impacto ambiental é provável que ocorra até 30%	1

Fonte: Adaptado de Vieira (2012)

Tabela 20: Tabela de escore para Detecção (D)

Escore para Detecção		
Detecção	Descrição	Classificação
Baixa	Para detectar a não-conformidade é necessária a utilização de tecnologias sofisticadas e custosas (financeiramente e temporalmente).	3
Moderada	A não-conformidade é percebida com a utilização de medições simples (titulações, pHmetros, turbidímetros, entre outros).	2
Alta	A não-conformidade pode ser percebida a olho nú.	1

Fonte: Adaptado de Vieira (2012)

Tabela 21: Tabela de escore para Abrangência (A)

Escore para Abrangência		
Abrangência	Descrição	Classificação
Alta	A não conformidade tem capacidade de afetar pontos distantes.	3
Moderada	A não conformidade tem capacidade de afetar pontos próximos	2
Baixa	A não conformidade tem efeito pontual no local onde foi identificada	1

Fonte: Adaptado de Vieira (2012)

Vale ressaltar que ao final do preenchimento dos formulários FMEA, apesar de serem grupos distintos, os grupos REDE e DRS obtiveram os mesmos escores para todos os perigos. Dessa forma, no item a seguir, são apresentados os cálculos dos riscos relacionados a estes grupos, assim como o formulário FMEA preenchido.

5.2.1 Cálculo do Risco para o Grupo REDE e DRS

Para o formulário referente ao grupo REDE e DRS (Tabela 22) o perigo de baixo pH teve a severidade definida como moderada, pois causa corrosão das tubulações e conexões com consequentes vazamentos. A ocorrência teve escore 1, devido a apenas 9 (2,52%) não conformidades com a Portaria 2914 (BRASIL, 2011), de 357 amostras. O escore de detecção foi 2 por ser necessária a utilização de equipamento para detectar o perigo, o pHmetro. A abrangência teve escore 3 por ter a capacidade de afetar pontos distantes. O RPN foi de 12.

O alto pH teve a severidade moderada, pois causa incrustações nas tubulações e conexões e acelera o processo de transformação do cloro livre em cloro combinado, podendo interferir na desinfecção. A ocorrência teve escore 1, pois não houve não conformidades. A detecção e abrangência receberam o escore 2 pelos motivos referentes ao baixo pH. O RPN calculado teve como resultado 12.

O perigo da alta turbidez apresentou alta severidade, pois a sua presença está relacionada com a interferência na desinfecção, que pode ocasionar em presença de patógenos à saúde humana. A ocorrência foi baixa, apenas 7 (1,97%) não conformidades, de um total de 356 amostras. A detecção obteve escore de 1, pois, apesar de ser necessária a utilização de equipamentos (turbidímetro), há a facilidade de detectar a presença de turbidez a olho nú, principalmente quando esta apresenta valores elevados. A abrangência foi considerada alta, pois a alta turbidez tem a capacidade de interferir na desinfecção e afetar pontos distantes. O RPN calculado foi de 9.

Tabela 22: Formulário FMEA para grupo REDE e DRS (43 pontos)

Perigo	Efeito	Causa	S	O	D	A	RPN	Medidas mitigadoras
Baixo pH	Corrosão na tubulação	Falha nos processos e operações unitárias da ETA	2	1	2	3	12	Utilização de substância tampão para correção do pH
Alto pH	Incrustações na tubulação, acelera o processo de transformação da forma do cloro de livre para combinado	Falha nos processos e operações unitárias da ETA	2	1	2	3	12	Utilização de substância tampão para correção do pH
Alta turbidez	Aspecto desagradável e interferência na desinfecção	Falha na coagulação, floculação, decantação ou filtração	3	1	1	3	9	Melhorias no processo de remoção de turbidez
Alta cor	Aspecto desagradável; presença de odor e sabor e maior potencial na formação de trihalometanos	Falha nos processos e operações unitárias da ETA	3	1	1	3	9	Inserção de processos ou operações unitárias que agreguem alta remoção de cor
Baixa Concentração de CRL	Presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, distância do ponto de cloração, presença de substâncias redutoras ou ausência de manutenção na rede	3	1	2	3	18	Aumento da dose de desinfetante, instalação de pontos de recloração ou manutenção da rede
Alta Concentração de CRL	Intoxicação (diarreia, alteração da flora intestinal) e irritação das mucosas	Falha na desinfecção	3	1	1	2	6	Utilização de doses ótimas de desinfetante
Alta Concentração de Fluoreto	Fluorose dental em crianças, fluorose esquelética em adultos	Falha na fluoretação	3	1	3	3	27	Melhoria no processo de fluoretação
Baixa Concentração de Fluoreto	Aumento da ocorrência de cáries	Falha na fluoretação	1	3	3	3	27	Melhoria no processo de fluoretação
Presença de Coliformes Totais	Possível presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, falta de manutenção na rede, grande quantidade de matéria orgânica na água ou estagnação na rede	3	1	3	3	27	Melhoria no processo de desinfecção
Presença de E.coli	Presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, falta de manutenção na rede, grande quantidade de matéria orgânica na água ou estagnação na rede	3	1	3	3	27	Melhoria no processo de desinfecção
Alta Concentração de Ferro total	Falha na desinfecção, entupimento ou diminuição da sessão de tubulação, rejeição pelo consumidor por questões estéticas	Falha no tratamento, ausência de unidade de desferrização	2	1	1	3	6	Melhoria ou adoção de estação de desferrização

A alta cor aparente, assim como a alta turbidez, apresentou escore 3 para severidade, devido a possibilidade da ocorrência de odor e sabor característicos, assim como a possível presença de matéria orgânica em águas com elevada cor aparente. A ocorrência foi baixa, com apenas 15 casos, cerca de 4,20% do total (357) de amostras. A detecção, assim como a detecção da alta turbidez, recebeu escore 1 por ser possível observar a olho nú águas que apresentam cores elevadas. A abrangência recebeu escore 3, pois o perigo tem a capacidade de chegar à pontos distantes, uma vez que não é comum a redução da cor aparente na rede de abastecimento. O RPN obtido foi 9.

O perigo da baixa concentração de CRL recebeu escore 3 para severidade, uma vez que isso reflete a incapacidade da desinfecção da água, facilitando a ocorrência de organismos patogênicos, que causam em efeitos nocivos à saúde humana. A ocorrência foi baixa, com 80 não conformidades, no universo de 358 amostras, representando 22,35%. A detecção teve escore 2, pois é necessário a utilização de equipamentos (clorímetros), ou a realização de titulações químicas para mensurar a concentração do CRL na água. A abrangência recebeu escore 3, porque o perigo afeta pontos distantes. O RPN calculado foi de 18.

A alta concentração de CRL teve severidade alta, pois, apesar de ser importante para a desinfecção, em altas concentrações na rede de abastecimento o cloro pode ser tóxico aos seres humanos, além de reagirem com matéria orgânica ou compostos amoniacais e formarem trihalometanos e cloraminas, assim como há formação de outros subprodutos que podem ser nocivos à saúde humana. A detecção recebeu escore 1. A ocorrência recebeu o escore 1, pois não houve casos de alta concentração de CRL. A abrangência foi moderada, pois a tendência é que o CRL reaja e sua concentração diminua no decorrer da rede. O RPN obtido foi de 6.

A alta concentração de fluoreto recebeu severidade 3, pois, assim como CRL, em altas concentrações ele se torna nocivo à saúde humana. A detecção obteve escore 3, por ser necessária a utilização de equipamentos e reagentes para determinação da concentração do íon fluoreto. A ocorrência foi baixa, escore 1, pois não houve casos de alta concentração de fluoreto na rede. A abrangência recebeu escore 3, pois o mesmo tem a capacidade de afetar pontos distantes na rede. o RPN obtido pelo cálculo foi de 27.

A baixa concentração de fluoreto recebeu severidade 1, pois a ausência do flúor não é nociva à saúde humana, e a sua ausência pode ser suprida por outras fontes, como cremes dentais fluorados e o bochechos fluoretados para prevenir cáries em crianças. A ocorrência recebeu escore 3, pois em 100% das amostras foi identificada a não conformidade, de acordo com a faixa recomendada para a cidade de Belém (0,65 - 0,82 mg/L). A detecção recebeu escore 3, pelo mesmo motivo da alta concentração de fluoreto. A abrangência obteve escore 3, pois a concentração não tende a aumentar. O RPN calculado foi de 27.

A severidade para presença de coliformes totais recebeu escore máximo, por se tratar

de um indicador direto de contaminação da água, podendo haver organismos patogênicos à saúde humana. A ocorrência foi baixa, escore 1, com 100 casos de não conformidade, representando 27,78% do total de amostras. A detecção apresentou escore 3, pois somente com a utilização de equipamentos e reagentes é possível determinar a presença de coliformes totais na amostra. A abrangência também recebeu escore 3, pois a contaminação possui a capacidade de afetar pontos distantes. O RPN calculado foi de 27.

De forma análoga, a presença de E.coli também recebeu escore máximo para severidade, detecção e abrangência. A ocorrência foi baixa, com apenas 7 (1,94%) casos, num universo amostral de 360. O RPN obtido foi de 27.

A Tabela 23 apresenta o cálculo da soma ponderada baseada no formulário FMEA da Tabela 22. O RPN total obtido foi de 180.

Tabela 23: Ponderação dos riscos do grupo REDE e DRS para todos os indicadores utilizados

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

Na Tabela 22 os riscos mais significativos foram, empatados com contribuição de 15%, alta concentração de fluoreto, baixa concentração de fluoreto, presença de coliformes totais, e presença de E.coli. Os riscos relacionados à concentração do fluoreto ganharam relevância devido à dificuldade de detecção, e a abrangência. A presença de coliformes e E.coli ganharam destaque pela relação direta com a saúde humana.

Para realizar o cálculo do risco máximo foi utilizada a classificação máxima (5) para todos os indicadores, respeitando os riscos excludentes, por exemplo, alto ou baixo pH, alta e baixa concentração de CRL ou fluoretos. Foram excluídos os riscos excludentes que não obtiveram nenhuma ocorrência, resultando na Tabela 24.

Tabela 24: Classificação do risco máximo para o grupo REDE e DRS

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

A partir do risco máximo calculado, o risco foi estratificado em 4 intervalos, variando de 'desprezível' até o 'crítico'. A partir dessa classificação foi possível consolidar o risco para todos os pontos do grupo REDE, conforme Tabela 25.

Tabela 25: Categorização consolidada para o grupo REDE

Pto P1.1	Mediana	Classif.	Risco		Pto P1.2	Mediana	Classif.	Risco	
			%	Total				%	Total
Cor ap.	8,00	3	5,00	15,00%	Cor ap.	11,00	3	5,00	15,00%
Turb	2,37	2	5,00	10,00%	Turb	2,48	2	5,00	10,00%
pH	6,53	3	6,67	20,01%	pH	6,74	2	6,67	13,34%
Fer	0,04	1	3,33	3,33%	Fer	0,03	1	3,33	3,33%
CRL	0,40	3	10,00	30,00%	CRL	0,45	3	10,00	30,00%
FLT	0,11	5	15,00	75,00%	FLT	0,02	5	15,00	75,00%
COL.T*	0,00%	0	15,00	0,00%	COL.T*	10,00%	1	15,00	15,00%
E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%	E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%
Moderado				1,53	Moderado				1,62
Pto P1.3	Mediana	Classif.	Risco		Pto P1.4	Mediana	Classif.	Risco	
			%	Total				%	Total
Cor ap.	13,00	4	5,00	20,00%	Cor ap.	6,00	2	5,00	10,00%
Turb	3,00	3	5,00	15,00%	Turb	2,03	2	5,00	10,00%
pH	6,55	3	6,67	20,01%	pH	6,35	4	6,67	26,68%
Fer	0,03	1	3,33	3,33%	Fer	0,03	1	3,33	3,33%
CRL	0,57	2	10,00	20,00%	CRL	0,29	4	10,00	40,00%
FLT	0,13	5	15,00	75,00%	FLT	0,14	5	15,00	75,00%
COL.T*	20,00%	1	15,00	15,00%	COL.T*	50,00%	2	15,00	30,00%
E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%	E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%
Moderado				1,68	Alto				1,95
Pto P1.5	Mediana	Classif.	Risco		Pto P2.1	Mediana	Classif.	Risco	
			%	Total				%	Total
Cor ap.	11,00	3	5,00	15,00%	Cor ap.	11,00	3	5,00	15,00%
Turb	2,47	2	5,00	10,00%	Turb	2,26	2	5,00	10,00%

Continua na próxima página...

pH	6,25	4	6,67	26,68%	pH	6,65	3	6,67	20,01%
Fer	0,04	1	3,33	3,33%	Fer	0,06	1	3,33	3,33%
CRL	0,51	3	10,00	30,00%	CRL	0,70	2	10,00	20,00%
FLT	0,06	5	15,00	75,00%	FLT	0,12	5	15,00	75,00%
COL.T*	30,00%	2	15,00	30,00%	COL.T*	0,00%	0	15,00	0,00%
E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%	E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%
Alto				1,90	Moderado				1,43
Pto P2.2	Mediana	Classif.	Risco		Pto P2.3	Mediana	Classif.	Risco	
			%	Total				%	Total
Cor ap.	11,50	4	5,00	20,00%	Cor ap.	6,00	2	5,00	10,00%
Turb	2,90	3	5,00	15,00%	Turb	2,20	2	5,00	10,00%
pH	6,53	3	6,67	20,01%	pH	6,46	3	6,67	20,01%
Fer	0,03	1	3,33	3,33%	Fer	0,04	1	3,33	3,33%
CRL	0,33	4	10,00	40,00%	CRL	0,25	4	10,00	40,00%
FLT	0,15	5	15,00	75,00%	FLT	0,11	5	15,00	75,00%
COL.T*	60,00%	3	15,00	45,00%	COL.T*	20,00%	1	15,00	15,00%
E.coli*	40,00%	2	15,00	30,00%	E.coli*	10,00%	1	15,00	15,00%
Alto				2,48	Alto				1,88
Pto P2.4	Mediana	Classif.	Risco		Pto P2.5	Mediana	Classif.	Risco	
			%	Total				%	Total
Cor ap.	6,00	2	5,00	10,00%	Cor ap.	7,00	2	5,00	10,00%
Turb	2,75	3	5,00	15,00%	Turb	2,24	2	5,00	10,00%
pH	6,79	2	6,67	13,34%	pH	6,89	2	6,67	13,34%
Fer	0,06	1	3,33	3,33%	Fer	0,06	1	3,33	3,33%
CRL	0,22	4	10,00	40,00%	CRL	0,15	5	10,00	50,00%
FLT	0,21	5	15,00	75,00%	FLT	0,04	5	15,00	75,00%
COL.T*	60,00%	3	15,00	45,00%	COL.T*	50,00%	2	15,00	30,00%
E.coli*	10,00%	1	15,00	15,00%	E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%
Alto				2,17	Alto				1,92
Pto P3.1	Mediana	Classif.	Risco		Pto P3.2	Mediana	Classif.	Risco	
			%	Total				%	Total
Cor ap.	13,50	4	5,00	20,00%	Cor ap.	9,00	3	5,00	15,00%
Turb	2,44	2	5,00	10,00%	Turb	2,27	2	5,00	10,00%
pH	6,87	2	6,67	13,34%	pH	6,98	2	6,67	13,34%
Fer	0,18	3	3,33	9,99%	Fer	0,07	1	3,33	3,33%
CRL	0,25	4	10,00	40,00%	CRL	0,33	4	10,00	40,00%
FLT	0,09	5	15,00	75,00%	FLT	0,02	5	15,00	75,00%
COL.T*	40,00%	2	15,00	30,00%	COL.T*	40,00%	2	15,00	30,00%
E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%	E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%
Alto				1,98	Moderado				1,87
Pto P3.3	Mediana	Classif.	Risco		Pto P3.4	Mediana	Classif.	Risco	
			%	Total				%	Total
Cor ap.	11,00	3	5,00	15,00%	Cor ap.	9,00	3	5,00	15,00%
Turb	2,21	2	5,00	10,00%	Turb	2,10	2	5,00	10,00%
pH	6,95	2	6,67	13,34%	pH	7,00	2	6,67	13,34%
Fer	0,05	1	3,33	3,33%	Fer	0,05	1	3,33	3,33%

Continua na próxima página. . .

CRL	0,22	4	10,00	40,00%	CRL	0,24	4	10,00	40,00%
FLT	0,12	5	15,00	75,00%	FLT	0,11	5	15,00	75,00%
COL.T*	60,00%	3	15,00	45,00%	COL.T*	50,00%	2	15,00	30,00%
E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%	E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%
Alto				2,02	Moderado				1,87
Pto P4.1	Mediana	Classif.	Risco		Pto P4.2	Mediana	Classif.	Risco	
			%	Total				%	Total
Cor ap.	11,00	3	5,00	15,00%	Cor ap.	10,00	3	5,00	15,00%
Turb	2,71	3	5,00	15,00%	Turb	2,29	2	5,00	10,00%
pH	6,92	2	6,67	13,34%	pH	6,75	2	6,67	13,34%
Fer	0,13	2	3,33	6,66%	Fer	0,06	1	3,33	3,33%
CRL	0,08	5	10,00	50,00%	CRL	0,58	2	10,00	20,00%
FLT	0,03	5	15,00	75,00%	FLT	0,06	5	15,00	75,00%
COL.T*	30,00%	2	15,00	30,00%	COL.T*	20,00%	1	15,00	15,00%
E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%	E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%
Alto				2,05	Moderado				1,52
Pto P4.3	Mediana	Classif.	Risco		Pto P4.4	Mediana	Classif.	Risco	
			%	Total				%	Total
Cor ap.	10,50	3	5,00	15,00%	Cor ap.	12,00	4	5,00	20,00%
Turb	2,63	3	5,00	15,00%	Turb	2,96	3	5,00	15,00%
pH	6,86	2	6,67	13,34%	pH	6,66	3	6,67	20,01%
Fer	0,05	1	3,33	3,33%	Fer	0,18	3	3,33	9,99%
CRL	0,30	4	10,00	40,00%	CRL	0,41	3	10,00	30,00%
FLT	0,02	5	15,00	75,00%	FLT	0,03	5	15,00	75,00%
COL.T*	0,00%	0	15,00	0,00%	COL.T*	0,00%	0	15,00	0,00%
E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%	E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%
Moderado				1,62	Moderado				1,70
Pto P5.1	Mediana	Classif.	Risco		Pto P5.2	Mediana	Classif.	Risco	
			%	Total				%	Total
Cor ap.	12,00	4	5,00	20,00%	Cor ap.	10,00	3	5,00	15,00%
Turb	2,97	3	5,00	15,00%	Turb	2,42	2	5,00	10,00%
pH	6,98	2	6,67	13,34%	pH	6,65	3	6,67	20,01%
Fer	0,06	1	3,33	3,33%	Fer	0,16	3	3,33	9,99%
CRL	0,28	4	10,00	40,00%	CRL	0,14	5	10,00	50,00%
FLT	0,02	5	15,00	75,00%	FLT	0,02	5	15,00	75,00%
COL.T*	0,00%	0	15,00	0,00%	COL.T*	20,00%	1	15,00	15,00%
E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%	E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%
Moderado				1,67	Alto				1,95
Pto P5.3	Mediana	Classif.	Risco		Pto P5.4	Mediana	Classif.	Risco	
			%	Total				%	Total
Cor ap.	13,00	4	5,00	20,00%	Cor ap.	13,00	4	5,00	20,00%
Turb	3,63	3	5,00	15,00%	Turb	2,83	3	5,00	15,00%
pH	6,84	2	6,67	13,34%	pH	6,95	2	6,67	13,34%
Fer	0,18	3	3,33	9,99%	Fer	0,14	2	3,33	6,66%
CRL	0,21	4	10,00	40,00%	CRL	0,20	5	10,00	50,00%
FLT	0,02	5	15,00	75,00%	FLT	0,02	5	15,00	75,00%

Continua na próxima página. . .

COL.T*	0,00%	0	15,00	0,00%	COL.T*	20,00%	1	15,00	15,00%
E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%	E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%
Moderado				1,73		Alto			1,95
Pto P5.5	Mediana	Classif.	Risco		Pto P6.2	Mediana	Classif.	Risco	
			%	Total				%	Total
Cor ap.	14,00	4	5,00	20,00%	Cor ap.	13,00	4	5,00	20,00%
Turb	6,29	5	5,00	25,00%	Turb	2,97	3	5,00	15,00%
pH	6,76	2	6,67	13,34%	pH	6,45	3	6,67	20,01%
Fer	0,18	3	3,33	9,99%	Fer	0,03	1	3,33	3,33%
CRL	0,17	5	10,00	50,00%	CRL	0,46	3	10,00	30,00%
FLT	0,06	5	15,00	75,00%	FLT	0,02	5	15,00	75,00%
COL.T*	0,00%	0	15,00	0,00%	COL.T*	0,00%	0	15,00	0,00%
E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%	E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%
Alto				1,93		Moderado			1,63
Pto P6.3	Mediana	Classif.	Risco		Pto P6.4	Mediana	Classif.	Risco	
			%	Total				%	Total
Cor ap.	10,50	3	5,00	15,00%	Cor ap.	9,50	3	5,00	15,00%
Turb	3,07	3	5,00	15,00%	Turb	2,91	3	5,00	15,00%
pH	6,57	3	6,67	20,01%	pH	6,53	3	6,67	20,01%
Fer	0,03	1	3,33	3,33%	Fer	0,03	1	3,33	3,33%
CRL	0,41	3	10,00	30,00%	CRL	0,38	4	10,00	40,00%
FLT	0,02	5	15,00	75,00%	FLT	0,02	5	15,00	75,00%
COL.T*	20,00%	1	15,00	15,00%	COL.T*	0,00%	0	15,00	0,00%
E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%	E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%
Moderado				1,73		Moderado			1,68
Pto P8.1	Mediana	Classif.	Risco		Pto P8.2	Mediana	Classif.	Risco	
			%	Total				%	Total
Cor ap.	11,00	3	5,00	15,00%	Cor ap.	11,00	3	5,00	15,00%
Turb	2,91	3	5,00	15,00%	Turb	3,12	3	5,00	15,00%
pH	6,33	4	6,67	26,68%	pH	6,49	3	6,67	20,01%
Fer	0,03	1	3,33	3,33%	Fer	0,11	2	3,33	6,66%
CRL	0,30	4	10,00	40,00%	CRL	0,49	3	10,00	30,00%
FLT	0,02	5	15,00	75,00%	FLT	0,05	5	15,00	75,00%
COL.T*	40,00%	2	15,00	30,00%	COL.T*	60,00%	3	15,00	45,00%
E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%	E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%
Alto				2,05		Alto			2,07
Pto P8.3	Mediana	Classif.	Risco		Pto P8.4	Mediana	Classif.	Risco	
			%	Total				%	Total
Cor ap.	13,50	4	5,00	20,00%	Cor ap.	11,00	3	5,00	15,00%
Turb	3,22	3	5,00	15,00%	Turb	2,76	3	5,00	15,00%
pH	6,44	3	6,67	20,01%	pH	6,36	3	6,67	20,01%
Fer	0,14	2	3,33	6,66%	Fer	0,14	2	3,33	6,66%
CRL	0,26	4	10,00	40,00%	CRL	0,36	4	10,00	40,00%
FLT	0,02	5	15,00	75,00%	FLT	0,02	5	15,00	75,00%
COL.T*	20,00%	1	15,00	15,00%	COL.T*	20,00%	1	15,00	15,00%
E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%	E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%

Continua na próxima página. . .

Alto					Moderado				
1,92					1,87				
Pto P8.5	Mediana	Classif.	Risco		Pto P9.1	Mediana	Classif.	Risco	
			%	Total				%	Total
Cor ap.	10,00	3	5,00	15,00%	Cor ap.	7,00	2	5,00	10,00%
Turb	2,47	2	5,00	10,00%	Turb	2,13	2	5,00	10,00%
pH	6,53	3	6,67	20,01%	pH	6,62	3	6,67	20,01%
Fer	0,03	1	3,33	3,33%	Fer	0,03	1	3,33	3,33%
CRL	0,38	4	10,00	40,00%	CRL	1,03	0	10,00	0,00%
FLT	0,02	5	15,00	75,00%	FLT	0,09	5	15,00	75,00%
COL.T*	10,00%	1	15,00	15,00%	COL.T*	40,00%	2	15,00	30,00%
E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%	E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%
Moderado					Moderado				
1,78					1,48				
Pto P9.2	Mediana	Classif.	Risco		Pto P9.3	Mediana	Classif.	Risco	
			%	Total				%	Total
Cor ap.	14,00	4	5,00	20,00%	Cor ap.	8,00	3	5,00	15,00%
Turb	2,52	3	5,00	15,00%	Turb	2,45	2	5,00	10,00%
pH	6,58	3	6,67	20,01%	pH	6,31	4	6,67	26,68%
Fer	0,18	3	3,33	9,99%	Fer	0,14	2	3,33	6,66%
CRL	0,32	4	10,00	40,00%	CRL	1,04	0	10,00	0,00%
FLT	0,07	5	15,00	75,00%	FLT	0,10	5	15,00	75,00%
COL.T*	40,00%	2	15,00	30,00%	COL.T*	60,00%	3	15,00	45,00%
E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%	E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%
Alto					Moderado				
2,10					1,78				
Pto P9.4	Mediana	Classif.	Risco		Pto P9.5	Mediana	Classif.	Risco	
			%	Total				%	Total
Cor ap.	7,50	2	5,00	10,00%	Cor ap.	10,00	3	5,00	15,00%
Turb	1,84	2	5,00	10,00%	Turb	2,02	2	5,00	10,00%
pH	6,14	4	6,67	26,68%	pH	6,59	3	6,67	20,01%
Fer	0,03	1	3,33	3,33%	Fer	0,03	1	3,33	3,33%
CRL	0,24	4	10,00	40,00%	CRL	0,33	4	10,00	40,00%
FLT	0,02	5	15,00	75,00%	FLT	0,04	5	15,00	75,00%
COL.T*	60,00%	3	15,00	45,00%	COL.T*	50,00%	2	15,00	30,00%
E.coli*	10,00%	1	15,00	15,00%	E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%
Alto					Alto				
2,25					1,93				

Cor ap= Cor aparente, Turb= Turbidez, Fer= Ferro Total, CRL= Cloro residual livre, FLT= Fluoreto, COL.T=Coliformes Totais. * Considerado porcentagem de não conformidade

Na Tabela 26 são apresentadas, de forma resumida, os resultados obtidos na Tabela 25, com a quantificação do risco e a sua respectiva categoria (desprezível, moderado, alto, e crítico).

Tabela 26: Tabela resumo dos riscos do grupo REDE

Ponto	Risco		Ponto	Risco		Ponto	Risco	
P1.1	1,53	Moderado	P3.3	2,02	Alto	P6.3	1,73	Moderado
P1.2	1,62	Moderado	P3.4	1,87	Moderado	P6.4	1,68	Moderado
P1.3	1,68	Moderado	P4.1	2,05	Alto	P8.1	2,05	Alto
P1.4	1,95	Alto	P4.2	1,52	Moderado	P8.2	2,07	Alto
P1.5	1,90	Alto	P4.3	1,62	Moderado	P8.3	1,92	Alto
P2.1	1,43	Moderado	P4.4	1,70	Moderado	P8.4	1,87	Moderado
P2.2	2,48	Alto	P5.1	1,67	Moderado	P8.5	1,78	Moderado
P2.3	1,88	Alto	P5.2	1,95	Alto	P9.1	1,48	Moderado
P2.4	2,17	Alto	P5.3	1,73	Moderado	P9.2	2,10	Alto
P2.5	1,92	Alto	P5.4	1,95	Alto	P9.3	1,78	Moderado
P3.1	1,98	Alto	P5.5	1,93	Alto	P9.4	2,25	Alto
P3.2	1,87	Moderado	P6.2	1,63	Moderado	P9.5	1,93	Alto

Foram detectados 18 pontos de risco moderado e 18 pontos de risco alto para o grupo REDE, o que mostra que o grupo demanda atenção por parte da companhia prestadora de serviço de abastecimento, uma vez que a grande ocorrência de risco alto sugere que há problemas nesta unidade do sistema.

Na Tabela 27 é apresentada a categorização consolidada para os pontos de descida dos reservatórios dos setores (grupo DRS).

Tabela 27: Categorização consolidada para o grupo DRS

Pto P1.0	Mediana	Classif.	Risco Total		Pto P2.0	Mediana	Classif.	Risco Total	
			%	%				%	%
Cor ap.	9,00	3	5,00	15,00%	Cor ap.	7,00	2	5,00	10,00%
Turb	2,18	2	5,00	10,00%	Turb	2,01	2	5,00	10,00%
pH	6,39	3	6,67	20,01%	pH	6,72	2	6,67	13,34%
Fer	0,03	1	3,33	3,33%	Fer	0,03	1	3,33	3,33%
CRL	0,32	4	10,00	40,00%	CRL	0,09	5	10,00	50,00%
FLT	0,07	5	15,00	75,00%	FLT	0,05	5	15,00	75,00%
COL.T*	10,00%	1	15,00	15,00%	COL.T*	10,00%	1	15,00	15,00%
E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%	E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%
	Moderado			1,78		Moderado			1,77

Pto P3.0	Mediana	Classif.	Risco Total		Pto P4.0	Mediana	Classif.	Risco Total	
			%	%				%	%
Cor ap.	9,00	3	5,00	15,00%	Cor ap.	8,00	3	5,00	15,00%
Turb	2,09	2	5,00	10,00%	Turb	1,94	2	5,00	10,00%
pH	7,06	1	6,67	6,67%	pH	6,75	2	6,67	13,34%
Fer	0,05	1	3,33	3,33%	Fer	0,03	1	3,33	3,33%
CRL	0,31	4	10,00	40,00%	CRL	0,32	4	10,00	40,00%
FLT	0,23	5	15,00	75,00%	FLT	0,02	5	15,00	75,00%
COL.T*	10,00%	1	15,00	15,00%	COL.T*	0,00%	0	15,00	0,00%
E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%	E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%
	Moderado			1,65		Moderado			1,57

Pto P6.0	Mediana	Classif.	Risco Total		Pto P8.0	Mediana	Classif.	Risco Total	
			%	%				%	%
Cor ap.	10,00	3	5,00	15,00%	Cor ap.	13,00	4	5,00	20,00%
Turb	2,32	2	5,00	10,00%	Turb	2,70	3	5,00	15,00%
pH	6,70	3	6,67	20,01%	pH	6,38	3	6,67	20,01%
Fer	0,03	1	3,33	3,33%	Fer	0,06	1	3,33	3,33%
CRL	0,61	2	10,00	20,00%	CRL	0,51	3	10,00	30,00%
FLT	0,02	5	15,00	75,00%	FLT	0,02	5	15,00	75,00%
COL.T*	0,00%	0	15,00	0,00%	COL.T*	0,00%	0	15,00	0,00%
E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%	E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%
	Moderado			1,43		Moderado			1,63

Pto P9.0	Mediana	Classif.	Risco Total	
			%	%
Cor ap.	9,00	3	5,00	15,00%
Turb	2,44	2	5,00	10,00%
pH	6,34	4	6,67	26,68%
Fer	0,03	1	3,33	3,33%
CRL	1,03	0	10,00	0,00%
FLT	0,02	5	15,00	75,00%
COL.T*	10,00%	1	15,00	15,00%
E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%
	Moderado			1,45

Cor ap= Cor aparente, Turb= Turbidez, Fer= Ferro Total, CRL= Cloro residual livre, FLT= Fluoreto, COL.T=Coliformes Totais. * Considerado porcentagem de não conformidade

Todos os pontos do grupo DRS apresentaram risco moderado, o que indica que a qualidade da água neste grupo ainda pode melhorar, porém não possui alto risco. A não conformidade relacionada à concentração de fluoreto contribuiu para o cálculo do risco, uma vez que 100% dos pontos apresentaram baixa concentração deste.

Outro fator que contribuiu para o risco moderado foi a presença de coliformes totais nos pontos do 1º setor, 2º setor, 3º setor e 9º setor. Embora tenha ocorrido apenas um caso em cada setor durante as 10 campanhas.

5.2.2 Cálculo do Risco para o Grupo ETA's

O grupo ETA's é constituído por 3 pontos de coleta, um para cada estação de tratamento de água, durante as 10 campanhas, totalizando 30 amostras. A análise da Tabela 28 permite verificar as seguintes diferenças em relação a Tabela 22 dos grupos REDE e DRS:

A alta concentração de CRL recebeu escore moderado, diferentemente dos outros grupos, que receberam escore máximo, pois a concentração na saída das ETA's deve ser maior uma vez que o cloro vai reagindo no decorrer da rede, isso visa tentar garantir a eficiência da desinfecção em todo o sistema de abastecimento, no entanto a superdosagem ainda é nociva à saúde humana.

Todos os escores de ocorrências para o grupo ETA's foram baixos, exceto para baixa concentração de fluoreto, onde recebeu escore máximo por possuir 100% de não conformidades. Quanto à alta cor aparente foram 3,45% de ocorrências, 3,33% para baixa concentração de CRL, 1,69% para presença de coliformes totais e nenhuma ocorrência para alta turbidez, baixo ou alto pH, alta concentração de ferro, e presença de E.coli.

Da mesma forma que foi realizado para os grupos REDE e DRS, os riscos foram ponderados de acordo com seus pesos em relação ao risco total, conforme Tabela 29. Os riscos mais relevantes, empatados com o mesmo peso (15,17%) foram a alta e baixa concentração de fluoreto, presença de coliformes totais e E.coli. Em segundo lugar ficou a baixa concentração de CRL.

Tabela 28: Formulário FMEA para grupo ETA's (3 pontos)

Perigo	Efeito	Causa	S	O	D	A	RPN	Medidas mitigadoras
Baixo pH	Corrosão na tubulação	Falha nos processos e operações unitárias da ETA	2	1	2	3	12	Utilização de substância tampão para correção do pH
Alto pH	Incrustações na tubulação, acelera o processo de transformação da forma do cloro de livre para combinado	Falha nos processos e operações unitárias da ETA	2	1	2	3	12	Utilização de substância tampão para correção do pH
Alta turbidez	Aspecto desagradável e interferência na desinfecção	Falha na coagulação, floculação, decantação ou filtração	3	1	1	3	9	Melhorias no processo de remoção de turbidez
Alta cor	Aspecto desagradável; presença de odor e sabor e maior potencial na formação de trihalometanos	Falha nos processos e operações unitárias da ETA	3	1	1	3	9	Inserção de processos ou operações unitárias que agreguem alta remoção de cor
Baixa Concentração de CRL	Presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, distância do ponto de cloração, presença de substâncias redutoras ou ausência de manutenção na rede	3	1	2	3	18	Aumento da dose de desinfetante, instalação de pontos de recloração ou manutenção da rede
Alta Concentração de CRL	Intoxicação (diarreia, alteração da flora intestinal) e irritação das mucosas	Falha na desinfecção	2	1	1	2	6	Utilização de doses ótimas de desinfetante
Alta Concentração de Fluoreto	Fluorose dental em crianças, fluorose esquelética em adultos	Falha na fluoretação	3	1	3	3	27	Melhoria no processo de fluoretação
Baixa Concentração de Fluoreto	Aumento da ocorrência de cáries	Falha na fluoretação	1	3	3	3	27	Melhoria no processo de fluoretação
Presença de Coliformes Totais	Possível presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, falta de manutenção na rede, grande quantidade de matéria orgânica na água ou estagnação na rede	3	1	3	3	27	Melhoria no processo de desinfecção
Presença de E.coli	Presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, falta de manutenção na rede, grande quantidade de matéria orgânica na água ou estagnação na rede	3	1	3	3	27	Melhoria no processo de desinfecção
Alta Concentração de Ferro total	Falha na desinfecção, entupimento ou diminuição da sessão de tubulação, rejeição pelo consumidor por questões estéticas	Falha no tratamento, ausência de unidade de desferriização	2	1	1	3	6	Melhoria ou adoção de estação de desferriização

Tabela 29: Ponderação dos riscos do grupo ETA's para todos os indicadores utilizados

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

O cálculo do risco máximo, considerando sempre a classificação máxima (5) para todos os indicadores, respeitando os riscos excludentes, gerou a Tabela 30.

Tabela 30: Classificação do risco máximo para o grupo ETA's

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

A partir da classificação do risco máximo e as definições dos intervalos de 'Desprezível' até 'Crítico', foi realizada a consolidação dos riscos para os pontos do grupo ETA's, conforme Tabela 31.

Tabela 31: Categorização consolidada para o grupo ETA's

Pto ETA SB	Mediana	Classif.	Risco		Pto ETA-B	Mediana	Classif.	Risco	
			%	Total				%	Total
Cor ap.	10,00	3	5,00	15,00%	Cor ap.	7,00	2	5,00	10,00%
Turb	2,63	3	5,00	15,00%	Turb	2,86	3	5,00	15,00%
pH	7,05	2	6,67	13,34%	pH	7,03	2	6,67	13,34%
Fer	0,03	1	3,33	3,33%	Fer	0,03	1	3,33	3,33%
CRL	0,69	2	10,00	20,00%	CRL	1,16	0	10,00	0,00%
FLT	0,02	5	15,00	75,00%	FLT	0,17	5	15,00	75,00%
COL.T*	0,00%	0	15,00	0,00%	COL.T*	0,00%	0	15,00	0,00%
E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%	E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%
	Moderado			1,42		Moderado			1,17

Pto ETA 5°S	Mediana	Classif.	Risco	
			%	Total
Cor ap.	12,00	4	5,00	20,00%
Turb	3,80	4	5,00	20,00%
pH	7,01	2	6,67	13,34%
Fer	0,09	2	3,33	6,66%
CRL	0,75	1	10,00	10,00%
FLT	0,02	5	15,00	75,00%
COL.T*	0,00%	0	15,00	0,00%
E.coli*	0,00%	0	15,00	0,00%
	Moderado			1,45

Cor ap= Cor aparente, Turb= Turbidez, Fer= Ferro Total, CRL= Cloro residual livre, FLT= Fluoreto, COL.T=Coliformes Totais, ETA SB = ETA São Brás, ETA-B = ETA Bolonha, ETA 5°S = ETA 5° Setor
* Considerado percentagem de não conformidade

Nas três ETA's o risco foi considerado moderado, no entanto, a categorização do risco se deu principalmente pela baixa concentração de fluoreto, de forma que, se esta fosse corrigida, o risco para as três estações seria desprezível. Considerando apenas as outras variáveis, a qualidade da água nas ETA's é satisfatória.

5.3 Mapa de Risco

A partir dos dados de risco obtidos nas etapas anteriores foi possível realizar a construção do mapa de risco da zona central do sistema de abastecimento de água de Belém. O mapa foi gerado através do software Surfer [®]11.0.

O software foi programado para gerar mapa de isolinhas de risco (Figura 23) para a área desejada, para isso o mesmo realizou a interpolação entre os pontos. Tal procedimento foi importante para que com um determinado número de amostras, neste caso 46, fosse possível estimar o risco para toda a área de estudo.

Além do mapa de isolinhas foi gerado o gráfico de pontos Figura 22, onde foi possível observar a categoria do risco para cada ponto do estudo.

A elaboração de mapas de risco possibilitou verificar visualmente as regiões com maior ou menor risco, aliado à interpolação dos pontos (mapa de isolinhas), o mapa

permite estimar o risco para áreas onde não houve coletas, ou seja, a abrangência de informações passa a ser maior não necessitando de coletas nestes pontos, e em algum grau, reduz o custo com análises.

O mapa de isolinhas apresentou maior abrangência de informações frente ao mapa de pontos, de tal forma que o primeiro se mostrou uma poderosa ferramenta de gestão do sistema.

De acordo com o mapas de isolinhas, foi possível observar que o 2º setor foi o que apresentou maior risco. Seguido do 2º setor, os setores que apresentaram maior risco foram o 8º setor, e 3º setor, ambos vizinhos do 2º setor. O maior risco nesses setores se deu principalmente pela ocorrência de coliformes totais e E.coli. Para o 2º setor foram 10 ocorrências de coliformes totais e 4 de E.coli, enquanto que no 3º setor e 8º setor foram 10 e 8 ocorrências de coliformes totais respectivamente, e nenhuma de E.coli.

Figura 22 - Mapa de pontos de risco do SAA de Belém

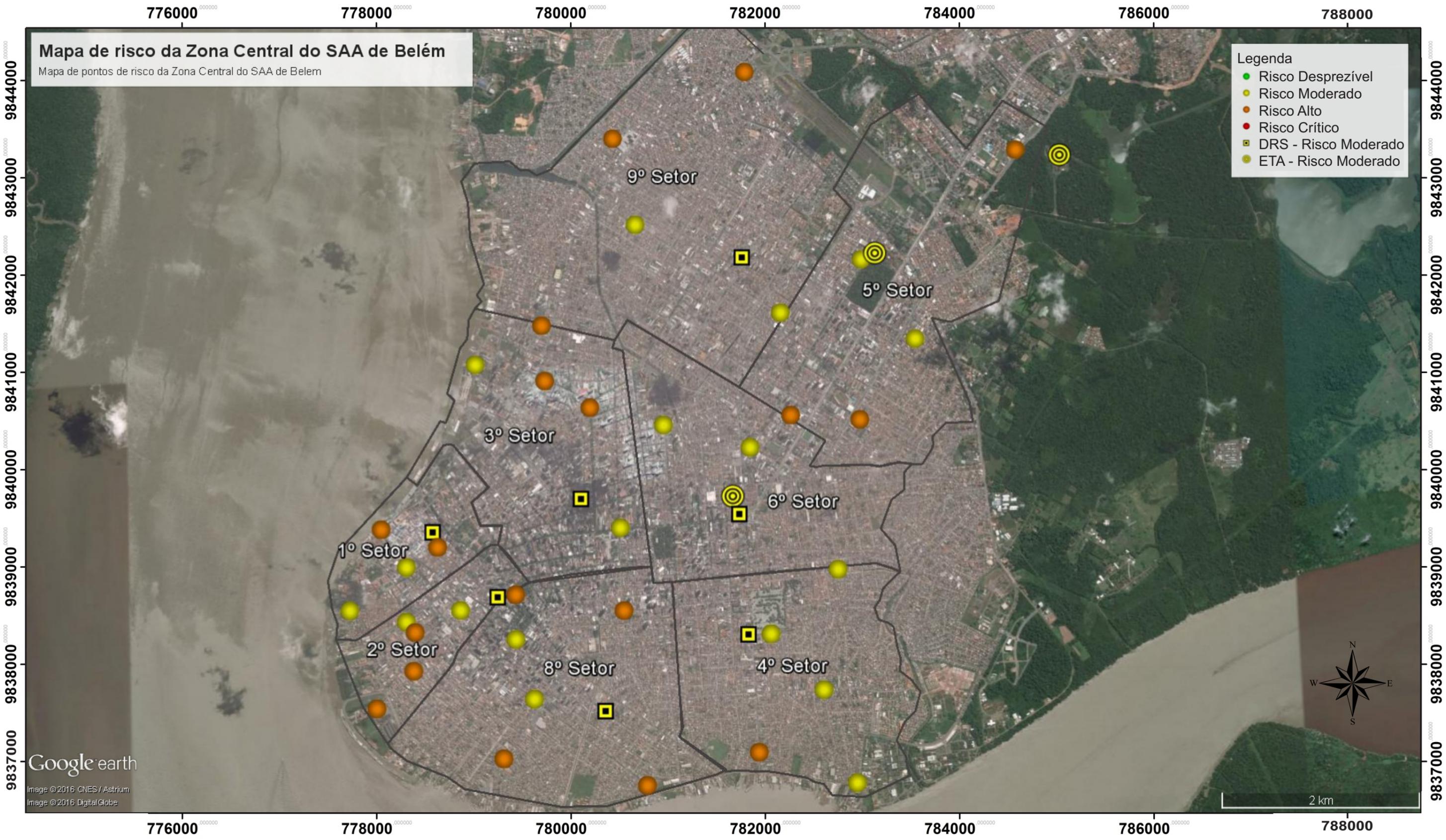
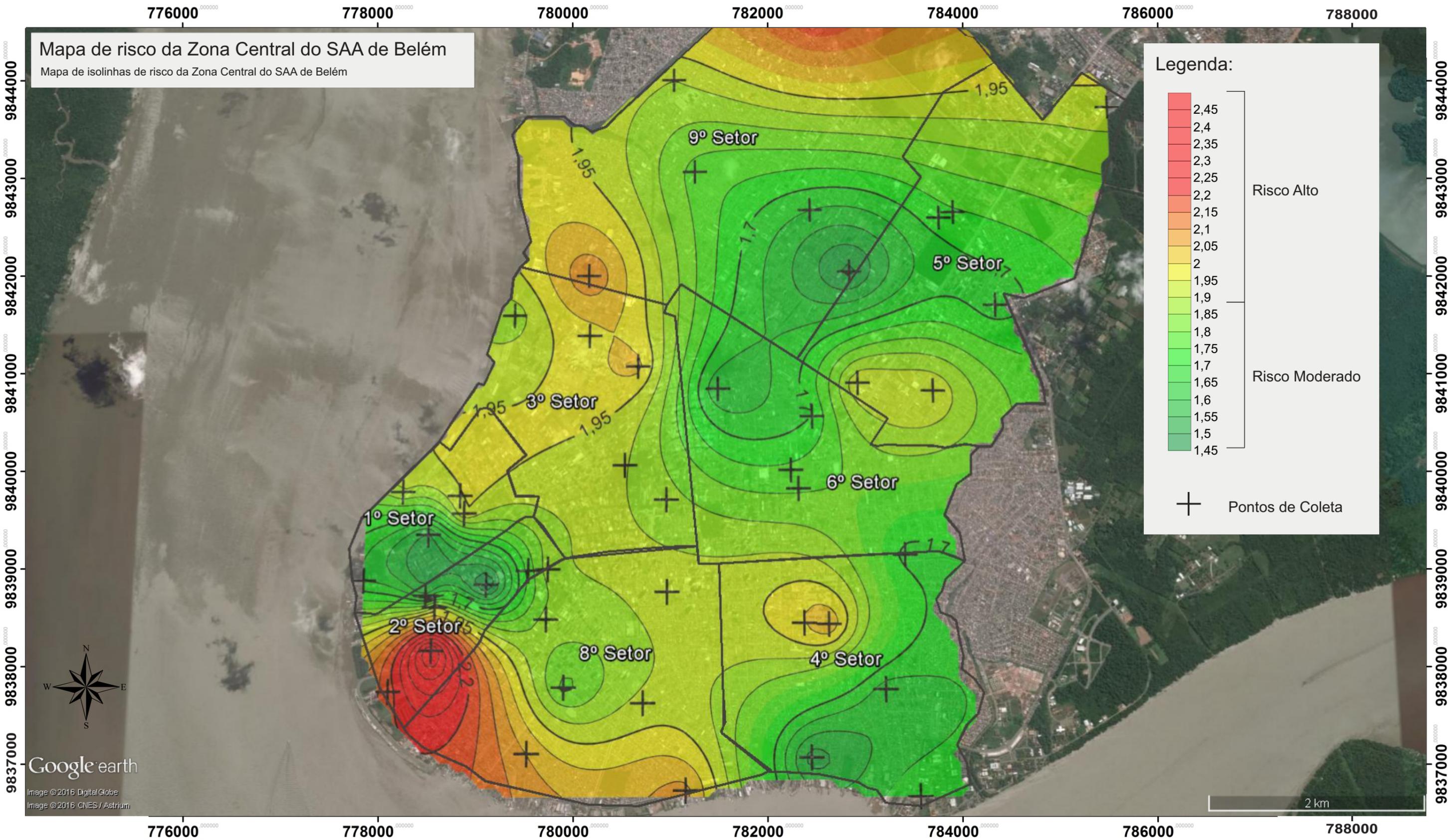


Figura 23 - Mapa de isolinhas de risco do SAA de Belém



Ao comparar com o mapa de pontos, este não deixa claro qual setor apresentou maior risco, pois, apesar de outros setores apresentarem a mesma quantidade de pontos com risco alto, o mapa não considera o valor numérico do risco de cada ponto, apenas sua categoria (desprezível, moderado, alto ou crítico), dessa forma, informações importantes se tornam imperceptíveis neste tipo de mapa. Por exemplo, o 2º setor apresentou 3 pontos de risco alto, assim como o 3º setor e 5º setor, porém, pelo mapa de isolinhas é possível perceber que o 2º setor apresentou maior risco que os demais.

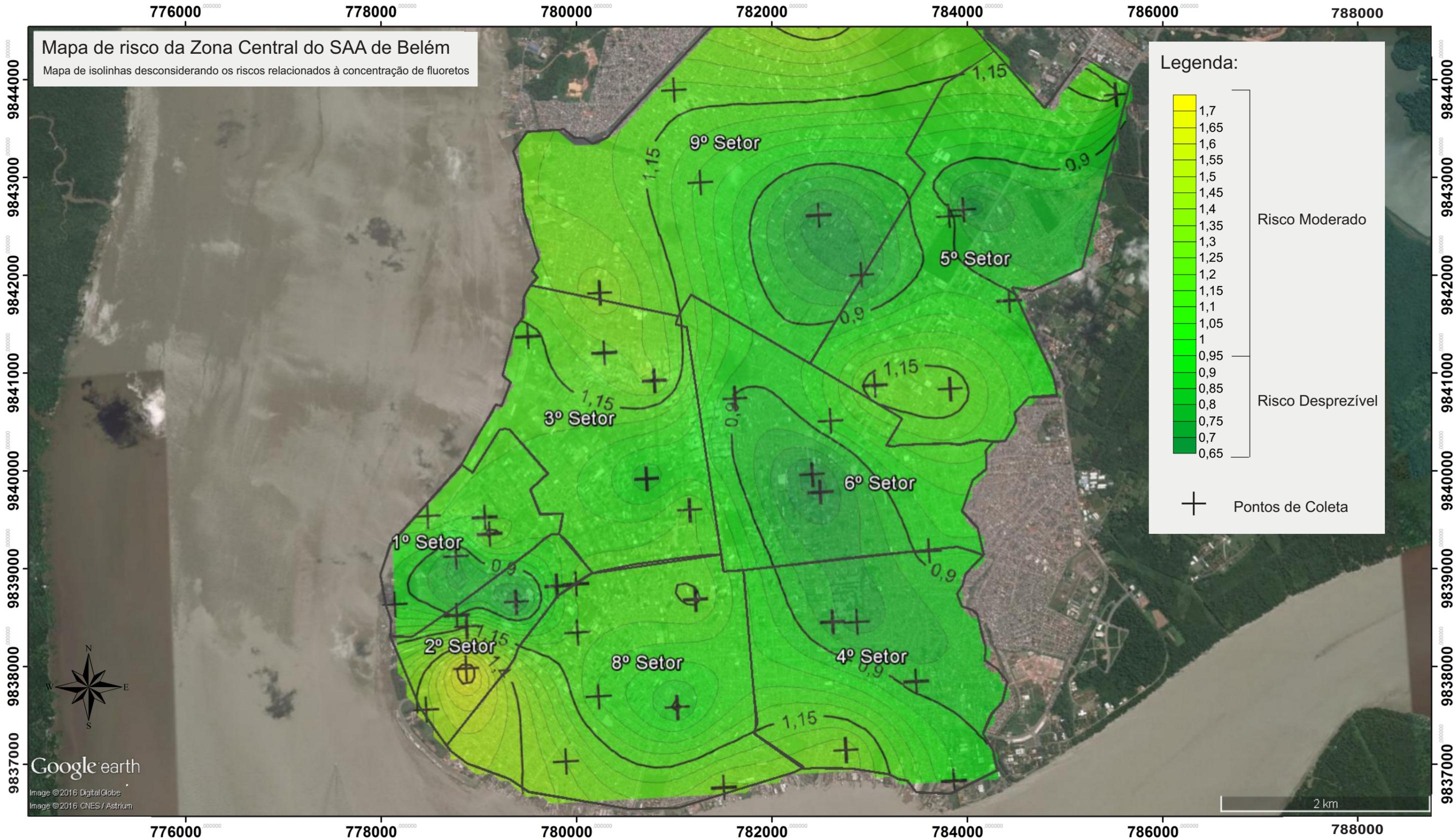
Apesar das vantagens do mapa de isolinhas, é importante ressaltar que mesmo a interpolação sendo um instrumento muito útil para estimar os riscos em pontos sem coletas, a mesma deve seguir critérios para que o mapa tenha relevância. Por exemplo, é necessário que haja boa distribuição espacial dos pontos, pois regiões com grandes lacunas podem gerar informações imprecisas.

Devido à alta influência da concentração do íon fluoreto na qualificação dos riscos, foi gerado um terceiro mapa (Figura 24) onde este fator foi desconsiderado, simulando então a hipótese de correção das concentrações. Tal simulação é importante uma vez que não há consenso na literatura sobre a discussão dos malefícios das baixas concentrações do fluoreto. Frazão, Peres e Cury (2011), por exemplo, apontam os riscos da alta concentração do fluoreto, enquanto que sua baixa concentração não apresenta malefícios à saúde, pois o mesmo é utilizado como instrumento de prevenção de cáries. Ainda segundo Frazão, Peres e Cury (2011), a inserção do flúor no organismo humano pode ser realizada de formas alternativas como a utilização de pastas dentais fluoradas, não necessitando portanto da fluoretação das águas de abastecimento.

O mapa que desconsiderou a concentração do íon fluoreto (Figura 24) mostrou diferente configuração na qualificação dos riscos, com 18 pontos de risco desprezível, e 28 de risco moderado. Tal simulação desconsidera o preconizado pela portaria 635 (BRASIL, 1975), porém é importante devido à grande discussão em relação ao assunto, e simula a correção das concentrações do fluoreto, mostrando o seu grau de relevância nesta pesquisa.

Para este novo cenário, o 2º setor também se destacou em relação aos demais apresentando maior risco. A área mais antiga da cidade esta presente neste setor, o que contribuiu para este cenário, uma vez que em redes antigas e sem manutenção adequada há a maior possibilidade de ocorrência de coliformes totais e E.coli.

Figura 24 - Mapa de isolinhas de risco do SAA de Belém desconsiderando o fluoreto



5.4 Avaliação do risco como instrumento de Controle e Segurança da Qualidade da Água

A metodologia aplicada permitiu, de forma qualitativa, classificar os riscos no sistema estudado, de tal forma que, a partir dos resultados e dados gerados foi possível a visualização dos riscos e identificação do local onde os mesmos ocorrem.

Tradicionalmente o monitoramento da qualidade da água era avaliada através de diversos indicadores físico-químicos e microbiológicos, mas, a partir de 2006, o Ministério da Saúde, definiu as diretrizes para vigilância e controle da qualidade da água (BRASIL, 2006c). O documento recomendou a utilização dos indicadores sentinelas CRL e turbidez em vista da sua capacidade de indicar precocemente perigos associados à ingestão da água.

A *"Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano"* (BRASIL, 2006c) apresenta a metodologia de monitoramento da vigilância da qualidade da água para consumo humano, a mesma metodologia é utilizada como instrumento de controle e segurança da qualidade da água por estados, municípios e companhias de saneamento.

Realizando a comparação entre a metodologia utilizada nesta pesquisa e a metodologia recomendada pelo Ministério da Saúde é possível verificar os seguintes aspectos:

As duas metodologias utilizam os parâmetros CRL, turbidez, fluoreto, coliformes totais e E.coli como indicadores.

A metodologia do Ministério da Saúde requer número mínimo de amostragem de acordo com a população atendida, no caso de Belém a metodologia solicita 53 amostras de CRL e turbidez, 54 para fluoreto e 40 para Coliformes totais. Valores próximos aos utilizados nesta pesquisa, onde foi estabelecido 46 amostras para todos os indicadores, já indicando a redução de custos frente à metodologia tradicional.

Uma das grandes vantagens da FMEA é a transformação de dados em informações, pois o modelo atual faz com que se crie um enorme banco de dados, quando corretamente executado, porém ele se limita a verificar conformidades ou não com a portaria 2914 (BRASIL, 2011), enquanto a FMEA consegue quantificar riscos e categoriza-los, e mapeá-los, e facilitando a gestão.

A utilização de mapas de risco possibilita a maior abrangência das informações, de forma que torna-se uma grande vantagem frente a metodologia tradicional do ministério da saúde, de tal maneira que o gestor consegue, através de estabelecimento de metas, e da implantação do ciclo continuo de melhoramento - características da análise de risco - atacar exatamente nas áreas críticas, nos riscos e as suas causas, podendo assim, diminuir-los gradativamente e conseqüentemente fornecer água de melhor qualidade para a população.

A FMEA é uma metodologia robusta, muito utilizada em diversas áreas do conhecimento, de tal forma que seria possível até a substituição do modelo existente de vigilância e controle da qualidade da água, porém, com os dados já existentes dos municípios e/ou companhias de saneamento, a mesma pode ser implantada a baixo custo, de forma a complementar o sistema atual e auxiliar nas tomadas de decisões.

A FMEA pode ser utilizada tanto como instrumento de vigilância, pelos municípios, quanto como instrumento de controle interno das companhias de abastecimento.

6 Conclusões e Recomendações

Do total de 3680 determinações, 706 apresentaram não conformidades com a portaria 2914 (BRASIL, 2011).

Os pontos do grupo REDE foram os que mais apresentaram não conformidades com a portaria 2914 (BRASIL, 2011), sendo 582, representando 82,4% de todas as não conformidades detectadas.

O grupo DRS apresentou 92 não conformidades com a portaria 2914 (BRASIL, 2011), representando 13,0% do total de não conformidades.

O grupo ETA's apresentou 32 não conformidades com a portaria 2914 (BRASIL, 2011), representando 4,5% do total de não conformidades.

O maior número de não conformidades para todos os parâmetros foi constatado na rede de abastecimento, destacando a baixa concentração de fluoreto (355 casos), presença de coliformes totais (100 casos) e CRL (80 casos).

O grupo REDE apresentou presença de coliformes totais em 27,78% das amostras, o que não ocorreu no grupo ETA's, e ocorreu em menor escala no grupo DRS (5,71%), ou seja, a fonte de contaminação está localizada na própria rede de abastecimento.

Foi alcançado o objetivo da pesquisa de avaliar a aplicação da metodologia FMEA no sistema de abastecimento de água de Belém.

Foi possível avaliar a qualidade da água do sistema, e constatou-se que as estações de tratamento fornecem água com qualidade satisfatória, exceto no que diz respeito a concentração de fluoretos, e a degradação ocorre no decorrer da rede.

O sistema possui deficiência para fluoretação da água de forma geral.

A metodologia FMEA foi eficiente para categorização de risco em todos os pontos estudados.

A FMEA pode ser utilizada de forma complementar com a metodologia existente de controle e vigilância da qualidade da água.

O mapa de risco mostrou-se como um forte instrumento de gestão de controle e qualidade da água.

O risco para a zona central de abastecimento de Belém, foi considerado moderado pela metodologia, com 28 pontos de risco moderados, 18 pontos de riscos altos, e nenhum ponto de risco desprezível ou baixo.

O fluoreto contribuiu para a elevação dos riscos em todos os pontos. Vale ressaltar

que há grande discussão sobre os efeitos adversos causados pelo íon fluoreto, não havendo um consenso na comunidade científica. Diante disso, foi realizada a simulação onde o íon fluoreto não contribuiu para o cálculo dos riscos nos pontos, de tal forma que houve o rebaixamento dos riscos, resultado em 28 pontos de risco moderados e 18 pontos de risco desprezível.

Diante dos resultados e conclusões, são apontados as seguintes recomendações:

- Verificação e correção da dosagem de fluoretos na rede de abastecimento;
- Verificação e correção, quando necessário, da dosagem de cloro na rede de abastecimento;
- Verificação, e manutenção quando necessário, da rede de abastecimento objetivando diminuir a presença de coliformes totais, e;
- Utilização do banco de dados existente, por parte da companhia de saneamento ou prefeitura, para a adoção da metodologia FMEA como instrumento complementar de gestão do sistema de abastecimento de água.

Recomenda-se também, para trabalhos futuros ou por parte de iniciativa das companhias de saneamento e/ou prefeituras, a elaboração de software para aplicação da metodologia FMEA, em que o mesmo faça o cálculo dos riscos, a classificação, e geração de mapas de risco (isolinhas e pontos), criando assim uma ferramenta computacional que servirá como importante instrumento de gestão e suporte à decisões.

Referências

- ALVES, N. C.; ORELHA, E. S.; RECHE, N. S. G.; PELLI, M. P. S. Prevalência da fluorose dentária na dentição decídua em crianças participantes do programa de prevenção e promoção de saúde no município de marília - sp. *Rev. Fac. Odontol. Bauru*, v. 10, n. 3, p. 156–162, 2002.
- AMERICAN WATER WORK ASSOCIATION. *Calidad y Tratamiento del Agua. Manual de Suministros de Agua Comunitaria*. 5. ed. [S.l.]: Mc Graw Hill, 2002.
- ANDERSON, T. W.; DARLING, D. A. Asymptotic theory of certain "goodness of fit" criteria based on stochastic processes. *The annals of mathematical statistics*, JSTOR, p. 193–212, 1952.
- ARAÚJO, M. C. S. P. de. *Indicadores de vigilância da qualidade da água de abastecimento da cidade de Areia (PB)*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.
- AVEN, T. The concept of antifragility and its implications for the practice of risk analysis. *Risk Analysis*, Wiley Online Library, v. 35, n. 3, p. 476–483, 2015a.
- AVEN, T. Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, 2015b.
- AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDEZ, M. F.; ARAUJO, R. de; ITO, A. E. *Manual de Hidráulica*. 8. ed. São Paulo: Blucher, 1998.
- BAHRAMI, M.; BAZZAZ, D. H.; SAJJADI, S. M. Innovation and improvements in project implementation and management; using {FMEA} technique. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 41, p. 418 – 425, 2012. ISSN 1877-0428. The First International Conference on Leadership, Technology and Innovation Management. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812009305>>.
- BARENDT, D.; OLDENHOF, M.; VREDENBREGT, M.; NAUTA, M. Risk analysis of analytical validations by probabilistic modification of fmea. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, Elsevier, v. 64, p. 82–86, 2012.
- BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; MIERZWA, J. C. Análise de risco aplicada ao abastecimento de Água para consumo humano. In: *Remoção de Microrganismos Emergentes e Microcontaminantes Orgânicos no Tratamento de Água para Consumo Humano*. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 328–362.
- BRAGLIA, M. Mafma: multi-attribute failure mode analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, n. 17, p. 1017–1033, 2000.
- BRASIL. *Ministério da Saúde. Portaria Nº 635 de 26 de dezembro de 1975*. Brasília, DF, 1975.
- BRASIL. *Fundação Nacional da Saúde. Guia de vigilância epidemiológica*. 5. ed. Brasília, DF, 2002.

- BRASIL. *Ministério da Saúde. Portaria Nº 518 de 25 de março de 2004*. Brasília, DF, 2004.
- BRASIL. *Ministério da Saúde. Inspeção Sanitária em Abastecimento de Água*. Brasília-DF, 2006a.
- BRASIL. *Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de Saneamento*. 3. ed. Brasília-DF, 2006b.
- BRASIL. *Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano*. Brasília-DF, 2006c.
- BRASIL. *Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Diretriz nacional do plano de amostragem da vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano*. Brasília, DF, 2006d.
- BRASIL. *Ministério da Saúde. Portaria Nº 2914 de 12 de dezembro de 2011*. Brasília, DF, 2011.
- BROWN, A. E. P. Análise de risco. *Boletim Técnico do GSI/NUTAU/USP*, 1998.
- BUDIYONO; GINANDJAR, P.; SARASWATI, L. D.; PANGESTUTI, D. R.; MARTINI; JATI, S. P.; RAHFILUDIN, Z. Risk assessment of drinking water supply system in the tidal inundation area of semarang - indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, v. 23, p. 93–98, 2015.
- CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. da F.; CAMARGO, R. de A.; NETO, R. F. M. Estudo de indicadores de saúde ambiental e de saneamento em cidade do norte do brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 14, n. 1, 2009.
- CARMIGNANI, G. An integrated structural framework to cost-based fmecca: The priority-cost fmecca. *Reliability Engineering & System Safety*, Elsevier, v. 94, n. 4, p. 861–871, 2009.
- CHIN, K. S.; WANG, Y. M.; POON, G. K. K.; YANG, J. B. Failure mode and effects analysis by data envelopment analysis. *Decision Support Systems*, n. 48, p. 246–256, 2009.
- CHIN, K. S.; WANG, Y. M.; POON, G. K. K.; YANG, J. B. Failure mode and effects analysis using a group-based evidential reasoning approach. *Computers & Operations Research*, n. 36, p. 1768–1779, 2009b.
- COSANPA. Companhia de Saneamento do Pará. *Plano Diretor Sistema de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de Belém*. Belém, 2006.
- COVELLO, V.; MERKHOFFER, M. *Risk assessment methods. Approaches for assessing health and environmental risks*. New York: Plenum Press, 1993.
- CUBILLO, F.; PÉREZ, P. Water distribution system risk assessment method. *Procedia Engineering*, v. 89, p. 355–362, 2014.
- DI BERNARDO, L.; PAZ, L. P. S. *Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água*. São Carlos: LDIBE LTDA, 2008. v. 1.

- DOMINGUES, V. O.; TAVARES, G. D.; STUKER, F.; MICHELOT, T. M.; REETZ, L. G. B.; BERTONCHELI, C. de M.; HORNER, R. Contagem de bactérias heterotróficas na água para consumo humano: comparação entre duas metodologias. *Saúde, Santa Maria*, v. 16, n. 5, p. 15–19, 2007.
- DUIJNE, F. H. van; AKEN, D.; SCHOUTEN, E. G. Considerations in developing complete and quantified methods for risk assessment. *Safety Science*, n. 46, p. 245–254, 2008.
- DUNN, O. J. Multiple comparisons using rank sums. *Technometrics*, v. 3, n. 6, p. 241–252, 1964.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Methodology for Deriving Ambient Water Quality Criteria for the Protection of Human Health*. Washington. USA, 2000.
- ESREY, S. A.; POTASH, J. B.; ROBERTS, L.; SHIFF, C. Effects of improved water supply and sanitation on ascariasis, diarrhoea, dracunculiasis, hookworm infection, schistosomiasis, and trachoma. *Bulletin of the World Health Organization*, v. 59, n. 5, p. 609–621, 1991.
- FRAZÃO, P.; PERES, M. A.; CURY, J. A. Qualidade da água para consumo humano e concentração de fluoreto. *Rev Saúde Pública*, v. 45, n. 5, 2011.
- FULLWOOD, R. R. *Probabilistic risk assessment in chemical and nuclear industries*. Woburn: Woburn, 2000. PMCID:1186920.
- GARCIA, P. A. de A. Uma abordagem via análise envoltória de dados para o estabelecimento de melhorias em segurança baseadas na fmea. *Gest. Prod.*, v. 20, n. 1, p. 87–97, 2013.
- HAIMES, Y. Y. Risk modelling, assessment, and management. *A John Wiley and Sons Inc. Publication*, n. 3, 2009.
- HELLER, L.; PÁDUA, V. L. de. *Abastecimento de água para consumo humano*. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.
- HOJ, N. P.; KROGER, W. Risk analyses of transportation on road and railway from a european perspective. *Safety Science*, n. 46, p. 5–6, 2002.
- HOLANDA, P. da S.; BLANCO, C. J. C.; CRUZ, D. O. de A.; LOPES, D. F.; BARP, A. R. B.; SECRETAN, Y. Hydrodynamic modeling and morphological analysis of lake Água preta: One of the water sources of belém-pa-brazil. *J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng.*, XXXIII, n. 2, p. 117–124, 2011.
- IBGE. *Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais*. [S.l.], 2015.
- IBNET. *The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities Database*. [S.l.], 2011.
- INFILCO DEGREMONT INCORPORATION. *Accelerator Clarifier/Softener*. USA, 2013. Disponível em: <http://www.degremont-technologies.com/cms_medias/pdf/ACCELERATOR_US_Infilco.pdf>.

INMET. *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP*. [S.l.], 2016. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>.

LIU, H.-C.; LIU, L.; LIU, N. Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert Systems with Applications*, n. 40, p. 828–838, 2013.

LIU, H. C.; LIU, L.; LIU, N.; MAO, L. X. Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended vikor method under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, n. 39, p. 12926–12934, 2012.

LOLLI, F.; ISHIZAKA, A.; GAMBERINI, R.; RIMINI, B.; MESSORI, M. Flowsort-gdss—a novel group multi-criteria decision support system for sorting problems with application to fmea. *Expert Systems with Applications*, Elsevier, v. 42, n. 17, p. 6342–6349, 2015.

MANDAL, S.; MAITI, J. Risk analysis using fmea: Fuzzy similarity value and possibility theory based approach. *Expert Systems with Applications*, Elsevier, v. 41, n. 7, p. 3527–3537, 2014.

MARHAVILAS, P. K.; KOULOURIOTIS, D.; GEMENI, V. Comparing safety analysis techniques. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, n. 24, p. 477–523, 2011.

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

NIKOLAOU, A. D.; LEKKAS, T. D. The role of natural organic matter during formation of chlorination by-products: A review. *Hydrochim. hydrobiol.*, v. 29, n. 2-3, p. 63–77, September 2001.

NUGRAHA, A. L.; SANTOSA, P. B.; ADITYA, T. Dissemination of tidal flood risk map using online map in semarang. *Procedia Environmental Sciences*, n. 23, p. 64–71, 2015.

OLUKA, S.; STEIGEN, A. L.; RANDHIR, T. O. Managing coliform contamination and chlorine by-products in urban water supply system in uganda. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, v. 1-2, p. 59–67, December 2013.

Organização Mundial da Saúde. *Guidelines for Drinking-water Quality*. 4. ed. Geneva, SW, 2011.

RICHTER, C. A. *Água: Métodos e tecnologia de tratamento*. São Paulo: Blucher, 2009.

ROUVROYE, J. L.; BLIEK, E. G. van den. Comparing safety analysis techniques. *Reliability Engineering and System Safety*, n. 75, p. 289–294, 2002.

SALAH, B.; JANEH, O.; BRUCKMANN, T.; NOCHE, B. Improving the performance of a new storage and retrieval machine based on a parallel manipulator using fmea analysis. *IFAC-PapersOnLine*, Elsevier, v. 48, n. 3, p. 1658–1663, 2015.

SARNEY FILHO, J. Instrumentos políticos e riscos ambientais urbanos. *Revista Eco 21*, v. 8, n. 81, 2003.

SHARMA, R. K.; KUMAR, D.; KUMAR, P. Systematic failure mode effect analysis (fmea) using fuzzy linguistic modelling. *International Journal of Quality & Reliability Management*, n. 22, p. 986–1004, 2005.

- SILVA, M. M.; GUSMÃO, A. P. H. de; POLETO, T.; SILVA, L. C. e; COSTA, A. P. C. S. A multidimensional approach to information security risk management using fmea and fuzzy theory. *International Journal of Information Management*, Elsevier, v. 34, n. 6, p. 733–740, 2014.
- SIMES, R. J. An improved bonferroni procedure for multiple tests of significance. *Biometrika*, Biometrika Trust, v. 73, n. 3, p. 751–754, 1986.
- SOKAL, R. R.; ROHLF, F. S. *Biometry*. 4. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 1995.
- STAMATIS, D. H. *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*. [S.l.]: ASQ Quality Press, 2003.
- UNITED NATIONS UNIVERSITY. *Water Security and the Global Water Agenda. A UN-Water Analytical Brief*. Hamilton, Canada, 2013.
- VELOSO, T. P. *Avaliação de Perdas de Água do Sistema de Abastecimento de Água da COSANPA, na Região Metropolitana de Belém-PA*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.
- VIEIRA, B. G. A. *Análise de risco aplicada à qualidade da água do sistema de abastecimento de Campina Grande (PB)*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.
- WOODRUFF, M. J. Consequence and likelihood in risk estimation: a matter of balance in uk health and safety risk assessment practice. *Safety Science*, n. 46, p. 5–6, 2005.
- ZAMBRANO, T. F.; MARTINS, M. F. Utilização do método fmea para avaliação do risco ambiental. *Gest. Prod.*, v. 14, n. 2, p. 295–309, maio-ago 2007.
- ZAMMORI, F.; GABBRIELLI, R. Anp/rpn: a multi criteria evaluation of the risk priority number. *Quality and Reliability Engineering International*, Wiley Online Library, v. 28, n. 1, p. 85–104, 2012.

ANEXO A – Valores para o Teste de Grubbs

Values of Grubbs Statistic (G)						
Number of Observations n	Confidence Level (%)					
	99.9	99.5	99	97.5	95	90
3	1.155	1.155	1.155	1.155	1.153	1.148
4	1.499	1.496	1.492	1.481	1.463	1.425
5	1.780	1.764	1.749	1.715	1.672	1.602
6	2.011	1.973	1.944	1.887	1.822	1.729
7	2.201	2.139	2.097	2.020	1.938	1.828
8	2.358	2.274	2.221	2.126	2.032	1.909
9	2.492	2.387	2.323	2.215	2.110	1.977
10	2.606	2.482	2.410	2.290	2.176	2.036
11	2.705	2.564	2.485	2.355	2.234	2.088
12	2.791	2.636	2.550	2.412	2.285	2.134
13	2.867	2.699	2.607	2.462	2.331	2.175
14	2.935	2.755	2.659	2.507	2.371	2.213
15	2.997	2.806	2.705	2.549	2.409	2.247
16	3.052	2.852	2.747	2.585	2.443	2.279
17	3.103	2.894	2.785	2.620	2.475	2.309
18	3.149	2.932	2.821	2.651	2.504	2.335
19	3.191	2.968	2.854	2.681	2.532	2.361
20	3.230	3.001	2.884	2.709	2.557	2.385
30	3.507	3.236	3.103	2.908	2.745	2.563
40	3.673	3.381	3.240	3.036	2.866	2.682
50	3.789	3.483	3.336	3.128	2.956	2.768
60	3.874	3.560	3.411	3.199	3.025	2.837
70	3.942	3.622	3.471	3.257	3.082	2.893
80	3.998	3.673	3.521	3.305	3.130	2.940
90	4.044	3.716	3.563	3.347	3.171	2.981
100	4.084	3.754	3.600	3.383	3.207	3.017

ANEXO B – Estatística descritiva, conformidades e não conformidades dos pontos

Ponto	Variável	Média	Mediana	Desvio Padrão	Conformidade		Não Conformidade	
					N	%	N	%
P1.0	Cor ap.	9,40	9,00	1,26	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,17	2,18	0,09	10	100,00	0	0,00
	pH	6,39	6,39	0,07	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,05	0,03	0,04	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,31	0,32	0,06	10	100,00	0	0,00
	Fluoreto	0,07	0,07	0,02	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	9	90,00	1	10,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P1.1	Cor ap.	7,90	8,00	1,29	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,52	2,37	0,39	9	100,00	0	0,00
	pH	6,53	6,53	0,22	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,04	0,04	0,03	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,41	0,40	0,16	9	90,00	1	10,00
	Fluoreto	0,09	0,11	0,08	0	0,00	9	100,00
	Col. Totais	-	-	-	10	100,00	0	0,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P1.2	Cor ap.	11,40	11,00	2,37	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,47	2,48	0,31	10	100,00	0	0,00
	pH	6,74	6,74	0,12	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,04	0,03	0,02	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,45	0,45	0,04	10	100,00	0	0,00
	Fluoreto	0,03	0,02	0,02	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	9	90,00	1	10,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P1.3	Cor ap.	13,10	13,00	1,79	9	90,00	1	10,00
	Turbidez	3,00	3,00	0,39	10	100,00	0	0,00
	pH	6,55	6,55	0,10	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,04	0,03	0,02	9	100,00	0	0,00
	CRL	0,57	0,57	0,06	10	100,00	0	0,00

Continua na próxima página...

Ponto	Variável	Média	Mediana	Desvio Padrão	Conformidade		Não Conformidade	
					N	%	N	%
	Fluoreto	0,11	0,13	0,06	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	8	80,00	2	20,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P1.4	Cor ap.	6,20	6,00	0,79	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,02	2,03	0,07	10	100,00	0	0,00
	pH	6,36	6,35	0,12	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,05	0,03	0,04	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,28	0,29	0,17	8	80,00	2	20,00
	Fluoreto	0,13	0,14	0,04	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	5	50,00	5	50,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P1.5	Cor ap.	11,30	11,00	1,16	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,47	2,47	0,32	10	100,00	0	0,00
	pH	6,25	6,25	0,03	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,04	0,04	0,03	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,51	0,51	0,02	10	100,00	0	0,00
	Fluoreto	0,05	0,06	0,03	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	7	70,00	3	30,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P2.0	Cor ap.	7,10	7,00	2,08	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,03	2,01	0,14	10	100,00	0	0,00
	pH	6,72	6,72	0,14	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,05	0,03	0,03	9	100,00	0	0,00
	CRL	0,11	0,09	0,07	2	20,00	8	80,00
	Fluoreto	0,04	0,05	0,02	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	9	90,00	1	10,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P2.1	Cor ap.	11,20	11,00	2,25	9	90,00	1	10,00
	Turbidez	2,25	2,26	0,31	10	100,00	0	0,00
	pH	6,66	6,65	0,32	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,06	0,06	0,03	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,69	0,70	0,05	10	100,00	0	0,00
	Fluoreto	0,13	0,12	0,09	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	10	100,00	0	0,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P2.2	Cor ap.	11,50	11,50	0,85	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,88	2,90	0,19	10	100,00	0	0,00
	pH	6,53	6,53	0,10	10	100,00	0	0,00

Continua na próxima página...

Ponto	Variável	Média	Mediana	Desvio Padrão	Conformidade		Não Conformidade	
					N	%	N	%
	Ferro total	0,04	0,03	0,02	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,33	0,33	0,16	8	80,00	2	20,00
	Fluoreto	0,14	0,15	0,07	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	4	40,00	6	60,00
	E.coli	-	-	-	6	60,00	4	40,00
P2.3	Cor ap.	5,90	6,00	1,79	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,38	2,20	0,37	9	100,00	0	0,00
	pH	6,45	6,46	0,13	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,05	0,04	0,03	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,26	0,25	0,20	8	80,00	2	20,00
	Fluoreto	0,10	0,11	0,06	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	8	80,00	2	20,00
P2.4	E.coli	-	-	-	9	90,00	1	10,00
	Cor ap.	6,20	6,00	1,03	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,76	2,75	0,35	10	100,00	0	0,00
	pH	6,79	6,79	0,27	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,07	0,06	0,06	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,22	0,22	0,10	8	80,00	2	20,00
	Fluoreto	0,19	0,21	0,05	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	4	40,00	6	60,00
P2.5	E.coli	-	-	-	9	90,00	1	10,00
	Cor ap.	6,90	7,00	0,88	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,24	2,24	0,20	10	100,00	0	0,00
	pH	6,89	6,89	0,23	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,06	0,06	0,02	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,16	0,15	0,09	2	20,00	8	80,00
	Fluoreto	0,04	0,04	0,03	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	5	50,00	5	50,00
P3.0	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
	Cor ap.	8,20	9,00	2,10	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,09	2,09	0,69	10	100,00	0	0,00
	pH	7,05	7,06	0,24	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,06	0,05	0,03	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,26	0,31	0,12	6	66,67	3	33,33
	Fluoreto	0,23	0,23	0,06	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	9	90,00	1	10,00
P3.1	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
	Cor ap.	12,40	13,50	3,50	10	100,00	0	0,00

Continua na próxima página...

Ponto	Variável	Média	Mediana	Desvio Padrão	Conformidade		Não Conformidade	
					N	%	N	%
	Turbidez	2,46	2,44	0,31	10	100,00	0	0,00
	pH	6,87	6,87	0,16	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,17	0,18	0,04	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,24	0,25	0,12	8	80,00	2	20,00
	Fluoreto	0,11	0,09	0,07	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	6	60,00	4	40,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P3.2	Cor ap.	8,80	9,00	2,62	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,27	2,27	0,39	10	100,00	0	0,00
	pH	7,00	6,98	0,27	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,06	0,07	0,02	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,33	0,33	0,10	9	90,00	1	10,00
	Fluoreto	0,10	0,02	0,11	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	6	60,00	4	40,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P3.3	Cor ap.	11,30	11,00	1,77	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,22	2,21	0,58	10	100,00	0	0,00
	pH	7,01	6,95	0,15	9	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,05	0,05	0,01	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,23	0,22	0,19	6	60,00	4	40,00
	Fluoreto	0,13	0,12	0,08	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	4	40,00	6	60,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P3.4	Cor ap.	9,10	9,00	3,45	9	90,00	1	10,00
	Turbidez	2,10	2,10	0,59	10	100,00	0	0,00
	pH	6,96	7,00	0,27	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,06	0,05	0,04	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,28	0,24	0,20	8	80,00	2	20,00
	Fluoreto	0,12	0,11	0,07	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	5	50,00	5	50,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P4.0	Cor ap.	8,30	8,00	2,67	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	1,89	1,94	0,48	10	100,00	0	0,00
	pH	6,75	6,75	0,25	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,06	0,03	0,06	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,23	0,32	0,13	6	66,67	3	33,33
	Fluoreto	0,08	0,02	0,08	0	0,00	9	100,00
	Col. Totais	-	-	-	10	100,00	0	0,00

Continua na próxima página...

Ponto	Variável	Média	Mediana	Desvio Padrão	Conformidade		Não Conformidade	
					N	%	N	%
P4.1	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
	Cor ap.	10,30	11,00	3,27	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,71	2,71	0,55	10	100,00	0	0,00
	pH	6,91	6,92	0,44	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,17	0,13	0,22	9	90,00	1	10,00
	CRL	0,12	0,08	0,13	3	30,00	7	70,00
	Fluoreto	0,05	0,03	0,05	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	7	70,00	3	30,00
P4.2	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
	Cor ap.	9,70	10,00	3,40	9	90,00	1	10,00
	Turbidez	2,27	2,29	0,41	10	100,00	0	0,00
	pH	6,75	6,75	0,33	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,08	0,06	0,07	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,56	0,58	0,30	9	90,00	1	10,00
	Fluoreto	0,09	0,06	0,09	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	8	80,00	2	20,00
P4.3	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
	Cor ap.	10,20	10,50	1,32	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,58	2,63	0,24	10	100,00	0	0,00
	pH	6,86	6,86	0,11	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,05	0,05	0,03	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,30	0,30	0,11	9	90,00	1	10,00
	Fluoreto	0,02	0,02	0,00	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P4.4	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
	Cor ap.	11,22	12,00	3,53	8	88,89	1	11,11
	Turbidez	2,95	2,96	0,34	10	100,00	0	0,00
	pH	6,66	6,66	0,19	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,15	0,18	0,08	9	100,00	0	0,00
	CRL	0,38	0,41	0,18	8	80,00	2	20,00
	Fluoreto	0,05	0,03	0,04	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P5.0 ETA 5° SETOR	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
	Cor ap.	11,90	12,00	2,13	9	90,00	1	10,00
	Turbidez	3,80	3,80	0,58	10	100,00	0	0,00
	pH	7,00	7,01	0,05	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,08	0,09	0,04	9	100,00	0	0,00
CRL	0,75	0,75	0,13	10	100,00	0	0,00	

Continua na próxima página...

Ponto	Variável	Média	Mediana	Desvio Padrão	Conformidade		Não Conformidade	
					N	%	N	%
	Fluoreto	0,03	0,02	0,02	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	10	100,00	0	0,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P5.1	Cor ap.	11,40	12,00	2,55	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,96	2,97	0,51	10	100,00	0	0,00
	pH	6,97	6,98	0,13	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,06	0,06	0,02	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,29	0,28	0,19	7	70,00	3	30,00
	Fluoreto	0,02	0,02	0,00	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	10	100,00	0	0,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P5.2	Cor ap.	10,40	10,00	1,96	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,43	2,42	0,65	10	100,00	0	0,00
	pH	6,72	6,65	0,15	9	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,17	0,16	0,10	9	90,00	1	10,00
	CRL	0,16	0,14	0,08	4	40,00	6	60,00
	Fluoreto	0,04	0,02	0,03	0	0,00	9	100,00
	Col. Totais	-	-	-	8	80,00	2	20,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P5.3	Cor ap.	13,40	13,00	5,56	8	80,00	2	20,00
	Turbidez	3,62	3,63	0,99	10	100,00	0	0,00
	pH	6,88	6,84	0,19	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,17	0,18	0,08	9	90,00	1	10,00
	CRL	0,19	0,21	0,08	6	60,00	4	40,00
	Fluoreto	0,05	0,02	0,05	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	10	100,00	0	0,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P5.4	Cor ap.	12,60	13,00	5,89	9	90,00	1	10,00
	Turbidez	2,83	2,83	0,46	10	100,00	0	0,00
	pH	6,95	6,95	0,26	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,15	0,14	0,13	9	90,00	1	10,00
	CRL	0,16	0,20	0,07	5	55,56	4	44,44
	Fluoreto	0,02	0,02	0,00	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	8	80,00	2	20,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P5.5	Cor ap.	12,44	14,00	4,95	8	88,89	1	11,11
	Turbidez	5,22	6,29	1,96	3	33,33	6	66,67
	pH	6,77	6,76	0,13	10	100,00	0	0,00

Continua na próxima página...

Ponto	Variável	Média	Mediana	Desvio Padrão	Conformidade		Não Conformidade	
					N	%	N	%
	Ferro total	0,22	0,18	0,21	6	66,67	3	33,33
	CRL	0,17	0,17	0,06	4	40,00	6	60,00
	Fluoreto	0,05	0,06	0,03	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	10	100,00	0	0,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P6.0	Cor ap.	10,20	10,00	3,01	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,40	2,32	0,30	9	100,00	0	0,00
	pH	6,70	6,70	0,15	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,03	0,03	0,00	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,61	0,61	0,25	9	90,00	1	10,00
	Fluoreto	0,02	0,02	0,00	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	10	100,00	0	0,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P6.1	Cor ap.	9,80	10,00	1,55	10	100,00	0	0,00
ETA SB	Turbidez	2,55	2,63	0,40	10	100,00	0	0,00
	pH	7,06	7,05	0,46	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,03	0,03	0,00	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,69	0,69	0,27	9	90,00	1	10,00
	Fluoreto	0,02	0,02	0,01	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	10	100,00	0	0,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P6.2	Cor ap.	13,00	13,00	0,00	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,97	2,97	0,06	10	100,00	0	0,00
	pH	6,51	6,45	0,24	9	90,00	1	10,00
	Ferro total	0,03	0,03	0,00	9	100,00	0	0,00
	CRL	0,45	0,46	0,18	9	90,00	1	10,00
	Fluoreto	0,03	0,02	0,02	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	10	100,00	0	0,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P6.3	Cor ap.	10,40	10,50	2,59	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	3,07	3,07	0,17	10	100,00	0	0,00
	pH	6,57	6,57	0,19	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,03	0,03	0,00	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,41	0,41	0,13	9	90,00	1	10,00
	Fluoreto	0,03	0,02	0,02	0	0,00	9	100,00
	Col. Totais	-	-	-	8	80,00	2	20,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P6.4	Cor ap.	9,50	9,50	2,64	10	100,00	0	0,00

Continua na próxima página...

Ponto	Variável	Média	Mediana	Desvio Padrão	Conformidade		Não Conformidade	
					N	%	N	%
	Turbidez	2,78	2,91	0,52	10	100,00	0	0,00
	pH	6,53	6,53	0,25	9	90,00	1	10,00
	Ferro total	0,03	0,03	0,01	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,37	0,38	0,14	9	90,00	1	10,00
	Fluoreto	0,02	0,02	0,00	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	10	100,00	0	0,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P8.0	Cor ap.	13,30	13,00	4,06	8	80,00	2	20,00
	Turbidez	2,72	2,70	0,47	10	100,00	0	0,00
	pH	6,37	6,38	0,27	9	90,00	1	10,00
	Ferro total	0,09	0,06	0,07	9	100,00	0	0,00
	CRL	0,51	0,51	0,40	8	80,00	2	20,00
	Fluoreto	0,03	0,02	0,03	0	0,00	9	100,00
	Col. Totais	-	-	-	10	100,00	0	0,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P8.1	Cor ap.	11,30	11,00	4,88	9	90,00	1	10,00
	Turbidez	2,93	2,91	1,18	9	90,00	1	10,00
	pH	6,33	6,33	0,36	8	80,00	2	20,00
	Ferro total	0,07	0,03	0,07	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,30	0,30	0,18	8	80,00	2	20,00
	Fluoreto	0,06	0,02	0,05	0	0,00	9	100,00
	Col. Totais	-	-	-	6	60,00	4	40,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P8.2	Cor ap.	11,60	11,00	3,47	8	80,00	2	20,00
	Turbidez	3,13	3,12	0,64	10	100,00	0	0,00
	pH	6,46	6,49	0,26	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,11	0,11	0,05	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,38	0,49	0,23	7	77,78	2	22,22
	Fluoreto	0,08	0,05	0,07	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	4	40,00	6	60,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P8.3	Cor ap.	13,90	13,50	4,38	8	80,00	2	20,00
	Turbidez	3,21	3,22	0,79	10	100,00	0	0,00
	pH	6,50	6,44	0,39	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,13	0,14	0,06	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,26	0,26	0,15	8	80,00	2	20,00
	Fluoreto	0,03	0,02	0,02	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	8	80,00	2	20,00

Continua na próxima página...

Ponto	Variável	Média	Mediana	Desvio Padrão	Conformidade		Não Conformidade	
					N	%	N	%
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P8.4	Cor ap.	11,20	11,00	2,20	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,78	2,76	0,74	10	100,00	0	0,00
	pH	6,27	6,36	0,18	8	88,89	1	11,11
	Ferro total	0,13	0,14	0,06	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,36	0,36	0,31	7	70,00	3	30,00
	Fluoreto	0,06	0,02	0,05	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	8	80,00	2	20,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P8.5	Cor ap.	10,00	10,00	2,67	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,50	2,47	0,58	10	100,00	0	0,00
	pH	6,55	6,53	0,31	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,07	0,03	0,06	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,39	0,38	0,36	7	70,00	3	30,00
	Fluoreto	0,04	0,02	0,06	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	9	90,00	1	10,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P9.0	Cor ap.	9,20	9,00	1,23	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,50	2,44	0,47	10	100,00	0	0,00
	pH	6,42	6,34	0,22	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,05	0,03	0,04	10	100,00	0	0,00
	CRL	1,06	1,03	0,20	10	100,00	0	0,00
	Fluoreto	0,04	0,02	0,05	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	9	90,00	1	10,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P9.1	Cor ap.	7,30	7,00	1,57	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,12	2,13	0,30	10	100,00	0	0,00
	pH	6,65	6,62	0,20	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,06	0,03	0,04	10	100,00	0	0,00
	CRL	1,02	1,03	0,19	10	100,00	0	0,00
	Fluoreto	0,07	0,09	0,04	0	0,00	9	100,00
	Col. Totais	-	-	-	6	60,00	4	40,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P9.2	Cor ap.	14,00	14,00	1,41	8	88,89	1	11,11
	Turbidez	2,51	2,52	0,56	10	100,00	0	0,00
	pH	6,59	6,58	0,18	10	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,18	0,18	0,09	9	90,00	1	10,00
	CRL	0,33	0,32	0,17	9	90,00	1	10,00

Continua na próxima página...

Ponto	Variável	Média	Mediana	Desvio Padrão	Conformidade		Não Conformidade	
					N	%	N	%
	Fluoreto	0,07	0,07	0,05	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	6	60,00	4	40,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P9.3	Cor ap.	8,20	8,00	1,87	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,44	2,45	0,35	10	100,00	0	0,00
	pH	6,31	6,31	0,18	9	90,00	1	10,00
	Ferro total	0,15	0,14	0,07	9	90,00	1	10,00
	CRL	1,03	1,04	0,19	10	100,00	0	0,00
	Fluoreto	0,09	0,10	0,05	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	4	40,00	6	60,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
P9.4	Cor ap.	7,10	7,50	2,02	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	1,99	1,84	0,67	9	100,00	0	0,00
	pH	6,15	6,14	0,22	8	80,00	2	20,00
	Ferro total	0,04	0,03	0,03	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,24	0,24	0,19	8	80,00	2	20,00
	Fluoreto	0,04	0,02	0,03	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	4	40,00	6	60,00
	E.coli	-	-	-	9	90,00	1	10,00
P9.5	Cor ap.	9,40	10,00	1,71	10	100,00	0	0,00
	Turbidez	2,02	2,02	0,46	10	100,00	0	0,00
	pH	6,56	6,59	0,23	9	90,00	1	10,00
	Ferro total	0,04	0,03	0,02	10	100,00	0	0,00
	CRL	0,33	0,33	0,17	8	80,00	2	20,00
	Fluoreto	0,05	0,04	0,03	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	5	50,00	5	50,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00
ETA	Cor ap.	7,56	7,00	1,51	9	100,00	0	0,00
BOLONHA	Turbidez	3,02	2,86	0,73	10	100,00	0	0,00
	pH	6,93	7,03	0,25	9	100,00	0	0,00
	Ferro total	0,03	0,03	0,00	10	100,00	0	0,00
	CRL	1,15	1,16	0,37	10	100,00	0	0,00
	Fluoreto	0,19	0,17	0,10	0	0,00	10	100,00
	Col. Totais	-	-	-	10	100,00	0	0,00
	E.coli	-	-	-	10	100,00	0	0,00

ANEXO C – Comparação múltipla: grupos significativamente diferentes

Comparação Múltipla: Cor aparente		
Grupos estatisticamente diferentes	Z vs. Valor Crítico	P-valor
Cor 02 vs. Cor 05	6,06935 \geq 2,908	0
Cor 02 vs. Cor 08	6,02320 \geq 2,908	0
Cor 02 vs. Cor 06	4,67737 \geq 2,908	0
Cor 05 vs. Cor 09	4,67615 \geq 2,908	0
Cor 08 vs. Cor 09	4,55339 \geq 2,908	0
Cor 05 vs. ETA BOLONHA	3,90481 \geq 2,908	0,0001
Cor 02 vs. ETA 5 SETOR	3,77804 \geq 2,908	0,0002
Cor 08 vs. ETA BOLONHA	3,76865 \geq 2,908	0,0002
Cor 06 vs. Cor 09	3,35881 \geq 2,908	0,0008
ETA 5 SETOR vs. ETA BOLONHA	3,34714 \geq 2,908	0,0008
Cor 06 vs. ETA BOLONHA	3,24693 \geq 2,908	0,0012
Cor 01 vs. Cor 05	3,13701 \geq 2,908	0,0017
Cor 02 vs. Cor 03	3,12210 \geq 2,908	0,0018
Cor 01 vs. Cor 02	3,09254 \geq 2,908	0,002
Cor 02 vs. Cor 04	3,06352 \geq 2,908	0,0022
Cor 09 vs. ETA 5 SETOR	2,99905 \geq 2,908	0,0027
Cor 01 vs. Cor 08	2,93067 \geq 2,908	0,0034
Comparação Múltipla: Turbidez		
Grupos estatisticamente diferentes	Z vs. Valor Crítico	P-valor
Turbidez 03 vs. Turbidez 05	6,12279 \geq 2,908	0
Turbidez 05 vs. Turbidez 09	5,99998 \geq 2,908	0
Turbidez 03 vs. ETA 5º Setor	5,66302 \geq 2,908	0
Turbidez 09 vs. ETA 5º Setor	5,52846 \geq 2,908	0
Turbidez 03 vs. Turbidez 06	5,46848 \geq 2,908	0
Turbidez 06 vs. Turbidez 09	5,31638 \geq 2,908	0
Turbidez 03 vs. Turbidez 08	5,30721 \geq 2,908	0
Turbidez 08 vs. Turbidez 09	5,15496 \geq 2,908	0
Turbidez 02 vs. ETA 5º Setor	4,89276 \geq 2,908	0
Turbidez 02 vs. Turbidez 05	4,87520 \geq 2,908	0
Turbidez 01 vs. ETA 5º Setor	4,82133 \geq 2,908	0
Turbidez 01 vs. Turbidez 05	4,74882 \geq 2,908	0
Turbidez 02 vs. Turbidez 06	4,26296 \geq 2,908	0
Turbidez 04 vs. ETA 5º Setor	4,24122 \geq 2,908	0

Continua na próxima página...

Turbidez 01 vs. Turbidez 06	4,14460 \geq 2,908	0
Turbidez 02 vs. Turbidez 08	3,96924 \geq 2,908	0,0001
Turbidez 01 vs. Turbidez 08	3,83601 \geq 2,908	0,0001
Turbidez 04 vs. Turbidez 05	3,67264 \geq 2,908	0,0002
Turbidez 03 vs. ETA BOLONHA	3,33910 \geq 2,908	0,0008
Turbidez 09 vs. ETA BOLONHA	3,17443 \geq 2,908	0,0015
Turbidez 04 vs. Turbidez 06	3,16307 \geq 2,908	0,0016

Comparação Múltipla: pH

Grupos estatisticamente diferentes	Z vs. Valor Crítico	P-valor
pH 03 vs. pH 08	9,19276 \geq 2,908	0
pH 01 vs. pH 03	8,83624 \geq 2,908	0
pH 03 vs. pH 09	8,82772 \geq 2,908	0
pH 05 vs. pH 08	7,24094 \geq 2,908	0
pH 01 vs. pH 05	6,87700 \geq 2,908	0
pH 05 vs. pH 09	6,86848 \geq 2,908	0
pH 03 vs. pH 06	6,12263 \geq 2,908	0
pH 04 vs. pH 08	5,90938 \geq 2,908	0
pH 08 vs. ETA 5° SETOR	5,83228 \geq 2,908	0
pH 01 vs. ETA 5° SETOR	5,61865 \geq 2,908	0
pH 09 vs. ETA 5° SETOR	5,61385 \geq 2,908	0
pH 01 vs. pH 04	5,53845 \geq 2,908	0
pH 04 vs. pH 09	5,52988 \geq 2,908	0
pH 08 vs. ETA SB	5,38165 \geq 2,908	0
pH 02 vs. pH 03	5,27825 \geq 2,908	0
pH 01 vs. ETA SB	5,16748 \geq 2,908	0
pH 09 vs. ETA SB	5,16267 \geq 2,908	0
pH 05 vs. pH 06	4,35227 \geq 2,908	0
pH 06 vs. ETA 5° SETOR	4,30604 \geq 2,908	0
pH 02 vs. pH 08	4,14769 \geq 2,908	0
pH 08 vs. ETA BOLONHA	4,02865 \geq 2,908	0,0001
pH 06 vs. ETA SB	3,87016 \geq 2,908	0,0001
pH 01 vs. ETA BOLONHA	3,81284 \geq 2,908	0,0001
pH 09 vs. ETA BOLONHA	3,80803 \geq 2,908	0,0001
pH 01 vs. pH 02	3,75237 \geq 2,908	0,0002
pH 02 vs. pH 09	3,74338 \geq 2,908	0,0002
pH 02 vs. ETA 5° SETOR	3,61293 \geq 2,908	0,0003
pH 02 vs. pH 05	3,31900 \geq 2,908	0,0009
pH 03 vs. pH 04	3,18813 \geq 2,908	0,0014
pH 02 vs. ETA SB	3,16175 \geq 2,908	0,0016
pH 04 vs. pH 06	3,12924 \geq 2,908	0,0018

Comparação Múltipla: Ferro total

Continua na próxima página...

Grupos estatisticamente diferentes	Z vs. Valor Crítico	P-valor
Ferro 05 vs. Ferro 06	7,70282 \geq 2,908	0
Ferro 01 vs. Ferro 05	6,58875 \geq 2,908	0
Ferro 06 vs. Ferro 08	6,03843 \geq 2,908	0
Ferro 05 vs. ETA BOLONHA	5,47111 \geq 2,908	0
Ferro 05 vs. ETA SB	5,25267 \geq 2,908	0
Ferro 02 vs. Ferro 05	4,79647 \geq 2,908	0
Ferro 01 vs. Ferro 08	4,70736 \geq 2,908	0
Ferro 03 vs. Ferro 06	4,70302 \geq 2,908	0
Ferro 04 vs. Ferro 06	4,66545 \geq 2,908	0
Ferro 08 vs. ETA BOLONHA	4,36194 \geq 2,908	0
Ferro 06 vs. Ferro 09	4,25582 \geq 2,908	0
Ferro 08 vs. ETA SB	4,14029 \geq 2,908	0
Ferro 05 vs. Ferro 09	4,03837 \geq 2,908	0,0001
Ferro 03 vs. ETA BOLONHA	3,60918 \geq 2,908	0,0003
Ferro 04 vs. ETA BOLONHA	3,59274 \geq 2,908	0,0003
Ferro 02 vs. Ferro 06	3,54616 \geq 2,908	0,0004
Ferro 03 vs. ETA SB	3,39037 \geq 2,908	0,0007
Ferro 04 vs. ETA SB	3,37430 \geq 2,908	0,0007
Ferro 09 vs. ETA BOLONHA	3,28162 \geq 2,908	0,001
Ferro 01 vs. Ferro 03	3,25282 \geq 2,908	0,0011
Ferro 04 vs. Ferro 05	3,22621 \geq 2,908	0,0013
Ferro 03 vs. Ferro 05	3,22465 \geq 2,908	0,0013
Ferro 01 vs. Ferro 04	3,21649 \geq 2,908	0,0013
Ferro 06 vs. ETA 5º SETOR	3,20864 \geq 2,908	0,0013
ETA 5º SETOR vs. ETA BOLONHA	3,09214 \geq 2,908	0,002
Ferro 09 vs. ETA SB	3,05970 \geq 2,908	0,0022
ETA 5º SETOR vs. ETA SB	2,92265 \geq 2,908	0,0035

Comparação Múltipla: CRL

Grupos estatisticamente diferentes	Z vs. Valor Crítico	P-valor
CRL 05 vs. CRL 09	7,67544 \geq 2,908	0
CRL 05 vs. ETA BOLONHA	6,85984 \geq 2,908	0
CRL 05 vs. ETA 5º SETOR	6,17410 \geq 2,908	0
CRL 05 vs. CRL 06	6,05479 \geq 2,908	0
CRL 01 vs. CRL 05	6,04151 \geq 2,908	0
CRL 03 vs. ETA BOLONHA	5,67777 \geq 2,908	0
CRL 02 vs. ETA BOLONHA	5,65705 \geq 2,908	0
CRL 02 vs. CRL 09	5,64037 \geq 2,908	0
CRL 03 vs. CRL 09	5,54519 \geq 2,908	0
CRL 05 vs. ETA SB	5,31010 \geq 2,908	0

Continua na próxima página...

CRL 04 vs. ETA BOLONHA	5,08473 \geq 2,908	0
CRL 03 vs. ETA 5° SETOR	4,99204 \geq 2,908	0
CRL 02 vs. ETA 5° SETOR	4,96040 \geq 2,908	0
CRL 08 vs. ETA BOLONHA	4,68272 \geq 2,908	0
CRL 04 vs. CRL 09	4,47645 \geq 2,908	0
CRL 04 vs. ETA 5° SETOR	4,39899 \geq 2,908	0
CRL 03 vs. CRL 06	4,12992 \geq 2,908	0
CRL 03 vs. ETA SB	4,12803 \geq 2,908	0
CRL 02 vs. CRL 06	4,12553 \geq 2,908	0
CRL 02 vs. ETA SB	4,08265 \geq 2,908	0
CRL 05 vs. CRL 08	4,03024 \geq 2,908	0,0001
CRL 08 vs. ETA 5° SETOR	3,98692 \geq 2,908	0,0001
CRL 01 vs. CRL 02	3,91719 \geq 2,908	0,0001
CRL 01 vs. CRL 03	3,91127 \geq 2,908	0,0001
CRL 08 vs. CRL 09	3,81206 \geq 2,908	0,0001
CRL 01 vs. ETA BOLONHA	3,56322 \geq 2,908	0,0004
CRL 04 vs. ETA SB	3,53499 \geq 2,908	0,0004
CRL 04 vs. CRL 06	3,16421 \geq 2,908	0,0016
CRL 08 vs. ETA SB	3,11023 \geq 2,908	0,0019
CRL 06 vs. ETA BOLONHA	3,08335 \geq 2,908	0,002
CRL 04 vs. CRL 05	3,04884 \geq 2,908	0,0023

Comparação Múltipla: Fluoreto

Grupos estatisticamente diferentes	Z vs. Valor Crítico	P-valor
Fluoreto 03 vs. Fluoreto 06	7,77807 \geq 2,908	0
Fluoreto 02 vs. Fluoreto 06	6,82155 \geq 2,908	0
Fluoreto 03 vs. Fluoreto 05	6,48137 \geq 2,908	0
Fluoreto 03 vs. Fluoreto 08	6,02069 \geq 2,908	0
Fluoreto 01 vs. Fluoreto 06	5,69385 \geq 2,908	0
Fluoreto 06 vs. ETA BOLONHA	5,53319 \geq 2,908	0
Fluoreto 02 vs. Fluoreto 05	5,42356 \geq 2,908	0
Fluoreto 03 vs. Fluoreto 04	5,00700 \geq 2,908	0
Fluoreto 02 vs. Fluoreto 08	4,90548 \geq 2,908	0
Fluoreto 03 vs. ETA 5° SETOR	4,62844 \geq 2,908	0
Fluoreto 05 vs. ETA BOLONHA	4,61808 \geq 2,908	0
Fluoreto 03 vs. Fluoreto 09	4,52620 \geq 2,908	0
Fluoreto 03 vs. ETA SB	4,41612 \geq 2,908	0
Fluoreto 08 vs. ETA BOLONHA	4,26826 \geq 2,908	0
ETA 5° SETOR vs. ETA BOLONHA	4,25510 \geq 2,908	0
Fluoreto 01 vs. Fluoreto 05	4,22312 \geq 2,908	0
ETA SB vs. ETA BOLONHA	4,09063 \geq 2,908	0
Fluoreto 02 vs. ETA 5° SETOR	3,93707 \geq 2,908	0,0001

Continua na próxima página...

Fluoreto 02 vs. Fluoreto 04	$3,88434 \geq 2,908$	0,0001
Fluoreto 06 vs. Fluoreto 09	$3,83601 \geq 2,908$	0,0001
Fluoreto 04 vs. ETA BOLONHA	$3,76398 \geq 2,908$	0,0002
Fluoreto 02 vs. ETA SB	$3,72173 \geq 2,908$	0,0002
Fluoreto 01 vs. Fluoreto 08	$3,65184 \geq 2,908$	0,0003
Fluoreto 09 vs. ETA BOLONHA	$3,42020 \geq 2,908$	0,0006
Fluoreto 02 vs. Fluoreto 09	$3,33500 \geq 2,908$	0,0009
Fluoreto 01 vs. ETA 5° SETOR	$3,26545 \geq 2,908$	0,0011
Fluoreto 04 vs. Fluoreto 06	$3,05321 \geq 2,908$	0,0023
Fluoreto 01 vs. ETA SB	$3,05038 \geq 2,908$	0,0023
