



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

Lucas da Silva Alves

**AVALIAÇÃO DE RISCO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO
DISTRIBUÍDA NUM SETOR CONFINADO DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO
ANTIGA DE CIMENTO AMIANTO**

CAMPINA GRANDE – PB

2014

Lucas da Silva Alves

Avaliação de risco da qualidade da água de abastecimento distribuída num setor confinado de uma rede de distribuição antiga de cimento amianto

Dissertação na área de Engenharia Sanitária, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Rui de Oliveira

CAMPINA GRANDE – PB

2014

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

A474a Alves, Lucas da Silva.
Avaliação de risco da qualidade da água de abastecimento distribuída num setor confinado de uma rede de distribuição antiga de cimento amianto [manuscrito] / Lucas da Silva Alves. - 2014.
68 p. : il. color.

Digitado.
Dissertação (Mestrado Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2014.
"Orientação: Prof. Dr. Rui de Oliveira, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa".

1. Qualidade da água. 2. Avaliação de risco. 3. Metodologia FMEA. I. Título.

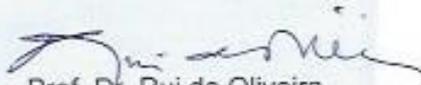
21. ed. CDD 631.7

Lucas da Silva Alves

**AVALIAÇÃO DE RISCO DA QUALIDADE DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO
DISTRIBUÍDA NUM SETOR CONFINADO DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO ANTIGA DE
CIMENTO AMIANTO**

Aprovada em 28 de maio de 2014

BANCA EXAMINADORA



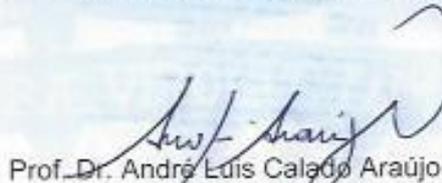
Prof. Dr. Rui de Oliveira

(Orientador - Universidade Estadual da Paraíba – UEPB)



Prof. Dr. Mônica de Amorim Coura

(Examinador Externo - Universidade Federal de Campina Grande – UFCG)



Prof. Dr. André Luis Calado Araújo

(Examinador Externo-IFRN)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu orientador e amigo Professor Dr. Rui de Oliveira pelo apoio e por sempre ter acreditado em meu potencial.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter permitido mais essa conquista.

Agradecimento à minha família pelo apoio.

À Professora Dra. Celeide Maria Belmont Sabino Meira pela dedicação, e paciência em me orientar desde o início deste trabalho.

A todas as pessoas que permitiram nossa entrada nos locais de análise, no bairro do São José: Arnaldo, Betânia, Kristovão, Maria José, Nilson, Major Lucas e Lidiane. E, às inúmeras pessoas que trabalham ou moram nesses locais que sempre estavam dispostas a nos ajudar.

À Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA, pelo suporte concedido, em especial a Alba, pela sua contribuição.

Aos amigos Arthur, Isabella, Renan, Italo, Alesca e Cássio, pelo apoio nas análises, em especial a Igor por toda a ajuda.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo apoio financeiro concedido ao longo do Mestrado.

Às colegas de mestrado, em especial, Vanessa Rebeca, por todos os conselhos e amizade.

E a todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Em todo o mundo as demandas por água em quantidade e qualidade satisfatórias estão cada vez mais difíceis de serem atendidas às populações consumidoras. Devido às características da água nos mananciais existe a necessidade da sua potabilização, porém, muitas vezes a água tem sua qualidade comprometida em outras partes do sistema de abastecimento de água após as ETA's. Com o propósito de conhecer e avaliar os riscos da qualidade da água de um setor confinado da rede de distribuição de água de Campina Grande (PB), o presente trabalho analisa os dados de monitoração de indicadores sentinelas, auxiliares e microbiológicos em pontos distribuídos na área e quantifica os perigos associados à qualidade da água através da aplicação de uma metodologia de avaliação de risco. Foram estabelecidos 9 pontos de amostragem, onde foram analisados os indicadores cloro residual livre (CRL), cloro residual combinado (CRC), turbidez, pH, bactérias heterotróficas e coliformes totais no período de março a dezembro de 2013. Foi então aplicado o método Análise do Modo e Efeito de Falhas (FMEA) para avaliar os riscos do sistema de abastecimento do setor e classificá-los com relação à sua importância. O risco total de cada ponto de amostragem foi estimado com base nas médias dos indicadores analisados e na importância dos riscos listados. Todos os pontos analisados do setor foram classificados como de risco alto. Os perigos que exerceram maior influência no risco total foram baixa concentração de CRL, alta concentração de bactérias heterotróficas e presença de coliformes totais.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação de risco. Metodologia FMEA. Vigilância da qualidade da água.

ABSTRACT

Demands for drinking water with both large quantity and good quality have been increasingly difficult to attend satisfactorily throughout the world. Due to its characteristics raw water has to be treated in order to attend potability standards, but quality of treated water tends to deteriorate as it is piped and distributed to consumers. This work aimed evaluating the risks associated with the water from a confined sector of the water distribution network of Campina Grande City, Paraíba state, northeast Brazil. Sentinel indicators (free residual chlorine and turbidity), combined residual chlorine, heterotrophic bacteria, pH and total coliform were analyzed in grab sample collected from nine monitoring points between March and December 2013. Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) methodology was applied for drinking water risk evaluation which based the construction of a risk hierarchization scale. Estimation of total risk in each monitoring point was based on water quality indicator mean values and also on the hierarchical importance of evaluated risks. All points analyzed in the confined sector were classified as high risk being low free residual chlorine , high concentration of heterotrophic bacteria and the presence of total coliform the most influential hazards for such a classification.

KEY WORDS: Risk assessment. FMEA methodology. Surveillance of water quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Efeito do pH na distribuição do ácido hipocloroso e do íon hipoclorito na água.	24
Figura 2: Resumo dos objetivos do Plano de Segurança da Água - PSA.	32
Figura 3 – Imagem do bairro do São José em Campina Grande – PB e a localização dos 8 pontos de coleta.	34
Figura 4: Unidades operacionais do sistema de abastecimento de Campina Grande (PB) e reservatório R-2 em destaque.	35
Figura 5 – Coleta da água no Reservatório R2 (a) e aparelho colorímetro de leitura direta modelo Aquacolor Cloro (b).	37
Figura 6- Estojo para medição de cloro total pelo método da Orto-tolidina.	38
Figura 7 – Imagem do bairro São José em Campina Grande - PB e a localização dos 4 pontos de coleta selecionados.	39
Figura 8: Medidor de cloro residual livre e total.	40
Figura 9: Turbidímetro de bancada utilizado nas análises.	41
Figura 10: pH-metro utilizado nas análises.	42
Figura 11: Representação GT-2 para CRL (a), turbidez (b), CRC (c) e pH (d).	48
Figura 12 : Classificação para os parâmetros CRL (padrão mínimo), CRL (padrão máximo), Turbidez, CRC, pH (padrão mínimo), pH (padrão máximo) e Bactérias Heterotróficas.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Definições de perigo e risco.....	28
Tabela 2: Materiais e extensões das tubulações.....	35
Tabela 3: Localização dos pontos de coleta das amostras de água de abastecimento.....	36
Tabela 4: Classificação do risco total.....	47
Tabela 5: Divisão do risco total máximo em faixas.....	47
Tabela 6: Estatística descritiva e frequência de conformidades e não-conformidades de indicadores sentinelas da qualidade da água nos pontos P1, P2, P3, P5, e P6.....	50
Tabela 7: Estatística descritiva e frequência de conformidades e não-conformidades de indicadores sentinelas da qualidade da água nos pontos P7, P8, P9 e P11.	51
Tabela 8: Resumo das medidas de tendência central e classificação dos parâmetros para os pontos P1, P2, P3, P5, P6, P7, P8, P9 e P11.	52
Tabela 9: Formulário FMEA preenchido.....	55
Tabela 10: Resultado da ponderação dos riscos individuais no risco total.....	57
Tabela 11: Risco total para todos os indicadores.....	58

LISTA DE SIGLAS E ABREVEATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA – Análise de variância
APHA – Associação Americana de Saúde Pública
AR – Avaliação de risco
A.C – Antes de Cristo
BBM – Batalhão de bombeiro militar
CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CesRei – Centro de Educação Superior Reinaldo Ramos
CL – Cloro
CRL – Cloro residual livre
CRC – Cloro residual combinado
DPD – N,N, dietil-p-fenilenodiamina
E.E.E.F – Escola Estadual de Ensino Fundamental
ETA – Estação de tratamento
EUA – Estados Unidos da América
FMEA – Análise do Modo e Efeito de Falhas
FUNASA – Fundação Nacional de Saúde
GPS – Sistema de Posicionamento Global
HU – Hospital Universitário
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MS – Ministério da Saúde
NBR – Norma brasileira
OMS – Organização Mundial da Saúde
PCA – Ágar para contagem em placa
pH – Potencial hidrogeniônico
Prosab – Programa de pesquisa em saneamento
PSA – Plano de segurança da água
PVC – Policloreto de vinila
R-2 – Reservatório 2

R-5 – Reservatório 5

UFC – Unidades formadoras de colônia

USEPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

UV– Ultravioleta

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivos.....	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 Sistema de abastecimento de água.....	17
2.2 Tubulações de cimento amianto.....	18
2.3 Desinfecção da água.....	19
2.4 Vigilância da qualidade da água.....	20
2.4.1 Indicadores sentinelas	21
2.4.1.1 Cloro Residual Livre (CRL).....	21
2.4.1.2 Turbidez.....	22
2.4.2 Indicadores auxiliares	23
2.4.2.1 Cloro Residual Combinado (CRC)	23
2.4.2.2 pH	24
2.4.2.3 Temperatura.....	24
2.4.3 Indicadores microbiológicos.....	25
2.4.3.1 Bactérias heterotróficas.....	25
2.4.3.2 Coliformes totais.....	26
2.5 Análise de risco.....	27
2.5.1 Perigo e risco	27
2.5.2 Avaliação de risco	29
2.5.3 Gerenciamento de risco	30
2.5.4 Comunicação de risco	30
2.5.5 Método FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)	30
2.6 Plano de segurança da água.....	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1 Levantamento de dados	33
3.1.1 Descrição da área de estudo.....	33
3.2 Primeira etapa da pesquisa.....	36
3.2.1 Pontos de coleta	36
3.2.2 Análises físico-químicas	36
3.3 Segunda etapa da pesquisa	38
3.3.1 Análises microbiológicas	38

3.4 Métodos analíticos.....	40
3.4.1 Cloro residual livre e combinado (CRL e CRC).....	40
3.4.2 Turbidez.....	41
3.4.3 Potencial hidrogeniônico (pH).....	41
3.4.4 Bactérias heterotróficas.....	42
3.4.5 Coliformes totais.....	42
3.5 Análise estatística dos dados.....	43
3.6 Avaliação de risco.....	43
3.6.1 Análise das falhas em potencial (construção do formulário FMEA e tabela de escores).....	44
3.6.2 Soma ponderada dos riscos.....	45
3.6.3 Cálculo do risco total.....	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
4.1 Formulário FMEA.....	53
4.2 Importância de cada risco para o setor em estudo.....	57
4.3 Resultado do risco total em cada ponto.....	58
5 CONCLUSÕES.....	60
6 REFERÊNCIAS.....	62
APÊNDICE A – Formulário FMEA.....	66
APÊNDICE B – Tabela de escore.....	68

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais existe grande demanda por água de boa qualidade para consumo humano em todo o mundo, no entanto essa qualidade só pode ser conseguida através do processo de potabilização da água. No Brasil a Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade o qual é definido como “o conjunto de valores permitidos como parâmetro da qualidade da água para consumo humano”. Referida Portaria também define água potável como aquela que “atenda ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde”.

Porém, muitas vezes essa água sofre degradação de sua qualidade no próprio sistema de abastecimento, como é enfatizado por Clark & Haught (2005) que mostram que um dos aspectos mais sérios de saúde pública com relação à deterioração da qualidade da água na rede de distribuição é a perda de desinfetante residual, ocasionando, conseqüentemente, um enfraquecimento na barreira contra organismos patogênicos. Um fator importante que contribui para as perdas de desinfetante residual no sistema de distribuição relatado no mesmo estudo de Clark e Haught (2005) é referente à corrosão dos materiais dos condutos que passam a constituir substratos mais efetivos para biofilmes. Clark e Haught (2005), com base em dados da literatura citam que a corrosão tem uma série de efeitos negativos sobre a qualidade da água em sistemas de distribuição de água potável podendo consumir oxidantes e desinfetantes na água bruta; criar incrustações que aumentam a perda de carga nos condutos demandando assim, mais energia para o fornecimento de água, além de dar suporte ao crescimento de biofilmes e criar suspensões de partículas de ferro que alteram esteticamente a água.

O sistema de abastecimento da cidade de Campina Grande é dividido em quatro zonas de pressão: A, B, C e D. Alguns trabalhos (SANTOS, 2011; GUIMARÃES, 2010 e OGATA, 2011) avaliaram a qualidade da água nestas zonas de pressão, tendo sido estabelecidos vários pontos para monitoração dos indicadores sentinelas e auxiliares. O sistema demonstrou em vários pontos sua fragilidade com relação à qualidade da água, do ponto vista microbiológico e físico-químico. A zona de pressão D demonstrou predominância de cloro residual

combinado, que possui poder desinfetante cerca de 200 vezes menor que o cloro residual livre (CRL), de acordo com (USEPA, 1999). Pesquisas em unidades escolares espalhadas pelas diferentes zonas de pressão também comprovaram em muitas amostras concentrações de CRL abaixo do recomendado pela legislação vigente. Nessas pesquisas foi constatado que o ponto situado na unidade escolar E. E. F. M. Clementino Procópio, Bairro do São José, demonstrava em todas as análises concentrações de cloro residual livre nulas ou quase nulas, em total desacordo com a legislação anterior, a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde e com a atual portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde. Januário (2013), em sua pesquisa utilizando dados do projeto de pesquisa Levantamento de indicadores sentinelas para a vigilância da qualidade da água, classificou o mesmo ponto como de alto risco para a população, tendo 94,8% das amostras demonstrado concentrações de CRL inferiores a 0,2 mg/L. A má qualidade da água nesse ponto foi atribuída às canalizações antigas de cimento amianto, que podem contribuir para a deterioração da qualidade da água, e também ao fato do setor ser caracterizado como uma ponta de rede do sistema de distribuição, ou seja o setor é estagnado onde a água que entra não circula para outros setores, mas tem que ser consumida no próprio setor.

Com este estudo, baseado em análises dos indicadores sentinelas cloro residual livre e turbidez, dos indicadores auxiliares pH e temperatura e dos indicadores microbiológicos bactérias heterotróficas e coliformes totais foram avaliados os riscos à saúde que a população do setor em estudo está exposta. Para avaliação dos riscos da exposição dos consumidores aos riscos associados ao processo de degradação da qualidade da água foi aplicada a Análise de Modos e Efeitos de Falhas (Failure Mode and Effects Analysis - FMEA). Foram selecionados 9 pontos, dos quais a maioria está inserida no Bairro do São José, abastecidos pelo reservatório R-2 da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA.

1.1 Objetivos

O objetivo geral foi avaliar o risco associado à qualidade da água de abastecimento distribuída por um setor isolado de uma rede de distribuição antiga, de cimento amianto, com base em indicadores sentinelas, microbiológicos e auxiliares.

Os objetivos específicos foram:

- Analisar a qualidade da água de abastecimento do setor com base nos indicadores sentinelas, auxiliares e microbiológicos;
- Definir o grau de conformidade da água analisada com o padrão de potabilidade, de acordo com os indicadores sentinelas, auxiliares e microbiológicos;
- Descrever o sistema físico do setor em estudo;
- Avaliar o risco da qualidade da água através da metodologia (FMEA – Failure Mode Effect Analysis).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com a Organização Mundial da Saúde - OMS (WHO, 2006), a água é essencial para sustentar a vida e um suprimento satisfatório (adequado, seguro e acessível) deve estar disponível para todos. Melhorar o acesso à água potável pode resultar em benefícios concretos para a saúde. No país, segundo Brasil (2011) 17,6% da população não tem acesso a água potável ou é abastecida por soluções alternativas, o que pode gerar altos índices de doenças de veiculação hídrica devido o consumo de água de outras fontes sem tratamento algum. Além da falta de acesso à água de boa qualidade existem fatores que podem deteriorar a qualidade da água no próprio sistema de distribuição, como a falta de limpeza nos reservatórios, canalizações antigas que possibilitam a ocorrência de incrustações e formação de biofilmes que, por sua vez, consomem o agente desinfetante, períodos de intermitência no fornecimento de água que provocam pressões negativas na rede podendo trazer águas poluídas e, até mesmo, residuárias para dentro das canalizações. Conforme DDTHA e CVE (2009), a falta de manutenção e acidentes nos sistemas de abastecimento de água, podem provocar doenças na população.

2.1 Sistema de abastecimento de água

A definição de sistema de abastecimento de água para consumo humano é contemplada na Portaria 2914/2011, do Ministério da Saúde, como: “instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição”.

Um sistema de abastecimento de água é constituído, de forma geral, das seguintes unidades: manancial, captação, adutoras de água bruta e tratada, estações elevatórias, estações de tratamento (ETA), reservatórios de água bruta e tratada e a rede de distribuição.

Os reservatórios são utilizados para regularização das vazões em períodos em que as demandas por água são maiores.

A rede de distribuição é definida pela Portaria (MS) 2914/2011 como: “parte do sistema de abastecimento formada por tubulações e seus acessórios, destinados a distribuir água potável, até as ligações prediais”. De forma semelhante, a NBR 12218 (ABNT, 1994) que fixa as condições exigíveis na elaboração de projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público, define a mesma como: “Parte do sistema de abastecimento formada de tubulações e órgãos acessórios, destinada a colocar água potável à disposição dos consumidores, de forma contínua, em quantidade e pressão recomendadas”.

2.2 Tubulações de cimento amianto

O uso do amianto vem diminuindo em todo o mundo e isso se deve à descoberta da natureza carcinogênica desse material. Suas pequenas fibras, ao entrarem no organismo através do ar se acumulam nos pulmões podendo provocar uma doença chamada asbestose. De acordo com (WHO, 2003) a inalação do pó de amianto no ambiente de trabalho traz, além do risco da asbestose, o risco de desenvolvimento de cânceres do trato gastrointestinal e da laringe. O amianto é utilizado em vários produtos por possuir características como incombustibilidade, resistência à elevada força de tração, dentre outras. Porém, como relatado por Highway (1994), muitos produtos que contêm amianto têm tido sua fabricação interrompida devido a preocupações com relação à liberação de fibras de amianto transportadas pelo ar durante o manuseio.

Segundo Wang et al. (2011) esse material foi largamente utilizado na fabricação de canalizações de cimento amianto no início do século XX para sistemas de distribuição de água potável nos Estados Unidos e Oeste do Canadá sendo feito com uma mistura de fibras de amianto e cimento, com ou sem sílica; a pasta com a mistura do material é prensada por rolos de ferro formando um material forte e denso.

Existem problemas relacionados às canalizações de cimento amianto como relatado por Wang e Cullimore (2010), tendo sido observado que canalizações

desse material eram degradadas como resultado da ação de vários tipos de bactérias no sistema de distribuição de água. As reações provocadas pela água nos condutos diminuem o pH da superfície do material favorecendo o crescimento e adesão das bactérias que, ao consumirem nutrientes presentes na água, passam a formar biofilmes nas paredes dos condutos. A ação de certos grupos de bactérias como as aeróbicas heterotróficas, as produtoras de ácido e as capazes de metabolizar ferro provocarão corrosão nas canalizações ao longo do tempo.

2.3 Desinfecção da água

A utilização do cloro como desinfetante em sistemas de abastecimento de água vem despontando desde 1850 como citado por Sawyer et al. (2003); após evidências definitivas de que doenças eram transmitidas pela água, começou a ser usado comumente na forma de hipoclorito em períodos de epidemias. O uso do cloro proporcionou a redução da prevalência de muitas doenças infecciosas nos EUA, a exemplo das febres tifoide e paratifoide no período de 1900 a 1935. Como citado por Madigan et al. (2010), importantes melhorias na Saúde Pública nos Estados Unidos, a partir do início do século XX, foram decorrentes, em grande parte, da implantação dos novos procedimentos de tratamento da água utilizados em estações públicas de tratamento em larga escala de águas residuárias e de água potável.

De acordo com Daniel (2001), o desinfetante químico mais usado no mundo na potabilização de águas é o cloro líquido ou gasoso. Configura-se em um poderoso bactericida e tem permitido a melhoria da qualidade de vida das populações, diminuindo a mortalidade infantil por doenças entéricas. Existem desinfetantes considerados alternativos ao cloro, como o ozônio (O₃), a radiação UV entre outros.

Ainda segundo Daniel (2001), existem três principais mecanismos de inativação de organismos patogênicos por agentes químicos:

- Destruição ou desarranjo estrutural da organização celular por ataque aos principais constituintes da célula, por exemplo, destruindo a parede celular ou modificando as funções de semipermeabilidade das membranas;
- Interferência no metabolismo energético, tornando as enzimas não funcionais;
- Interferência na biossíntese e no crescimento, pelo prejuízo à síntese de proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas ou parede celular.

2.4 Vigilância da qualidade da água

A saúde da população está diretamente relacionada à qualidade da água consumida. A importância da qualidade da água torna-se cada vez mais reconhecida pelas autoridades de saúde e agências de apoio externo, tornando mais comuns programas especiais de avaliação da qualidade da água (SANTOS, 2011).

Em seus artigos 3º e 4º, respectivamente, a Portaria 2914/2011 orienta que toda água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, deve ser objeto de controle e vigilância de sua qualidade. E que toda água destinada ao consumo humano proveniente de solução alternativa individual de abastecimento de água, independentemente da forma de acesso da população, está sujeita à vigilância da qualidade da água. A Portaria do Ministério da Saúde (MS) 2914/2011 define vigilância da qualidade da água para consumo humano como: “conjunto de ações adotadas regularmente pela autoridade de saúde pública para verificar o atendimento a esta Portaria, considerados os aspectos socioambientais e a realidade local, para avaliar se a água consumida pela população apresenta risco à saúde humana”.

A vigilância relacionada à qualidade da água para consumo humano é uma atividade investigativa, sendo realizada e dirigida para identificar os fatores de risco à saúde humana associados à água. Também, é uma atividade tanto preventiva como corretiva e com o objetivo de assegurar a confiabilidade e segurança da água

para consumo humano. A vigilância é preventiva porque permite detectar oportunamente os fatores de risco de modo que resulte na tomada de ações antes mesmo que se apresente o problema à saúde pública e é corretiva porque é capaz de identificar os focos de doenças relacionados com a água permitindo uma intervenção sobre os meios de transmissão, a fim de controlar a propagação da doença.

2.4.1 Indicadores sentinelas

Os indicadores sentinelas da qualidade da água são cloro residual livre e turbidez (BRASIL, 2006), os quais podem ser usados para dar início ao monitoramento da qualidade da água sendo destacado que a turbidez assume a função de indicador sanitário e não simplesmente estético. A referência supracitada determina, ainda, em suas diretrizes gerais, que para a implantação do plano de amostragem, os indicadores sentinelas (Cloro residual livre e Turbidez) devem ser adotados por todos os municípios.

O termo “sentinela” é utilizado em analogia às chamadas fontes sentinelas e aos Sistemas de Vigilância Sentinela bastante utilizados na Epidemiologia. Segundo a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2006), 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. Os indicadores sentinelas são, portanto, instrumentos de identificação precoce de situações de risco 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.

2.4.1.1 Cloro Residual Livre (CRL)

Em contato com a água, o cloro é hidrolisado, formando os íons hidrogênio, cloreto e o ácido hipocloroso. Este ácido dissocia-se gerando íons hidrogênio e hipoclorito, conforme as reações mostradas na equação 1 e 2:



O cloro residual livre é considerado um indicador sentinela porque sua concentração vai sendo diminuída, devido à reação com várias substâncias orgânicas e inorgânicas encontradas nas tubulações; conseqüentemente se houver uma queda na concentração desse indicador a água pode ficar desprotegida e, com isso, sofrer uma nova contaminação, colocando em risco a saúde da população. Segundo Sawyer et al. (2003) o íon hipoclorito e o ácido hipocloroso reagem com uma grande variedade de substâncias, inclusive amônia e materiais húmicos. Devido a essa grande capacidade de reagir com uma infinidade de substâncias Helbling e Van Briesen (2007), propuseram o cloro como um indicador de contaminação por organismos patogênicos, pois uma grande quantidade de microrganismos ao entrarem no sistema de distribuição de água proporcionaria quedas bruscas na concentração de cloro residual livre que podem ser detectadas por sensores de cloro posicionados em lugares estratégicos do sistema.

2.4.1.2 Turbidez

A turbidez pode ser definida como uma medida do grau de interferência à passagem da luz através do líquido. A alteração à penetração da luz na água decorre da presença de material em suspensão, sendo expressa por meio de unidades de turbidez (unidade jackson ou nefelométrica). Segundo Brasil (2006), a turbidez dos corpos d'água é particularmente alta em regiões com solos erodíveis, onde a precipitação pluviométrica pode carrear partículas de argila, silte, areia, fragmentos de rocha e óxidos metálicos do solo. A origem desses materiais pode ser o solo (quando não há mata ciliar); a mineração (como a retirada de areia ou a exploração de argila); as indústrias; ou o esgoto doméstico, lançado no manancial, sem tratamento.

Valores elevados de turbidez podem vir a prejudicar o processo de desinfecção no tratamento da água, em razão da maior demanda de cloro e

proteção aos microrganismos patogênicos, dificultando o seu contato com o desinfetante aplicado. A remoção da turbidez mediante filtração indica a remoção de partículas em suspensão, incluindo cistos e oocistos de protozoários.

A Portaria nº 2914/2011, do Ministério da Saúde (MS), estabelece que o valor máximo permitido seja de 0,5 UT para água filtrada, através de filtros rápidos, após tratamento completo ou filtração direta. Para água resultante de filtração lenta o valor máximo permitido é 1,0 UT. O valor de 5,0 UT é adotado como padrão de aceitação para consumo humano, ao longo da rede de distribuição de água.

2.4.2 Indicadores auxiliares

2.4.2.1 Cloro Residual Combinado (CRC)

Quando houver presença de amônia na água ocorrerá formação dos subprodutos do cloro:

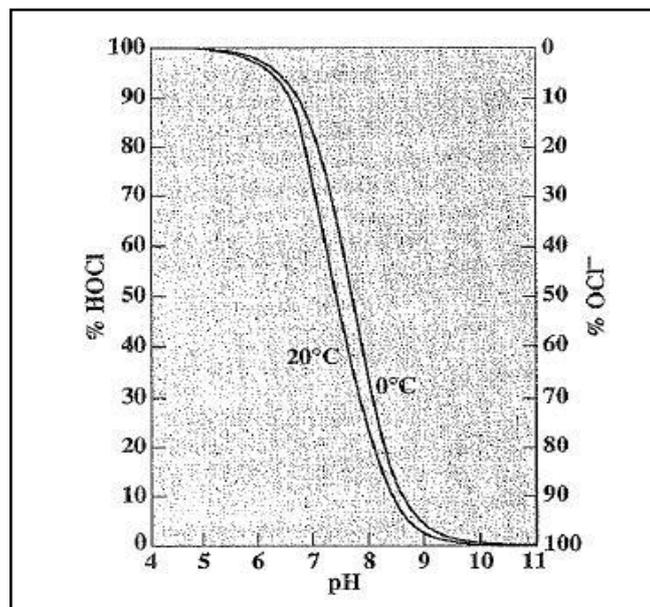


De acordo com Brasil (2006), a formação dessas cloraminas na água enfraquece o poder desinfetante do cloro, sendo necessário aumentar sua concentração para uma desinfecção eficaz. O cloro é adicionado à água de forma a oxidar todos os compostos amoniacais e substâncias passíveis de oxidação, à partir desse processo, que é chamado de cloração ao “breakpoint”, o cloro adicionado converte-se em cloro residual livre. No entanto, segundo Quirós (2005), embora o poder desinfetante das cloraminas seja menor do que o do cloro, são mais estáveis e persistentes na rede de abastecimento, reagindo menos com matéria orgânica presente na rede, diminuindo assim a formação de trihalometanos.

2.4.2.2 pH

Como um indicador auxiliar, o pH influencia diretamente na química da cloração de água. O pH é um termo que expressa a intensidade da condição ácida ($\text{pH} < 7,0$) ou básica ($\text{pH} > 7,0$) de um determinado meio, sendo uma medida da atividade dos íons hidrogênio. A Portaria MS 2914/2011 recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5. O efeito do pH sobre os residuais de cloro é ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Efeito do pH na distribuição do ácido hipocloroso e do íon hipoclorito na água.



Fonte: Sawyer et al. (2003).

Na Figura 1 observa-se que quanto menor o pH maiores serão as concentrações de ácido hipocloroso (HOCl) presentes na água, o que significa uma melhor eficácia da desinfecção.

2.4.2.3 Temperatura

A temperatura é uma característica física da água que indica a energia cinética do movimento aleatório das moléculas e sintetiza o fenômeno de

transferência de calor à massa líquida, além de estar diretamente relacionada à velocidade das reações químicas, à solubilidade das substâncias e ao metabolismo dos organismos presentes no ambiente aquático (LIBÂNIO, 2008).

Por outro lado, em menor grau, a temperatura também influencia nas frações de ácido hipocloroso (HOCl) e consequente formação do íon hipoclorito (OCl⁻). Segundo Brasil (2006) a temperatura da água talvez seja o mais importante fator para o crescimento de biofilmes, por ser determinante para o aumento das taxas de crescimento microbiano. De acordo com LeChevallier (2003), em climas onde as temperaturas da água são altas o crescimento bacteriano pode ser muito rápido, no entanto, em sistemas onde as águas são mais frias também apresentaram aumento na ocorrência de coliformes, mostrando que as cepas destas bactérias podem estar melhor adaptadas para crescerem em temperaturas mais baixas.

2.4.3 Indicadores microbiológicos

2.4.3.1 Bactérias heterotróficas

O termo “bactérias heterotróficas” inclui todas as bactérias que usam os nutrientes orgânicos para seu crescimento. Estas bactérias estão universalmente presentes em todos os tipos de água, alimentos, solo, vegetação e ar (ALLEN et al., 2004).

Sua presença na água de abastecimento indica contaminação por material orgânico, representando risco para a saúde da população. Segundo a Portaria 2914/2011 (MS), a determinação de bactérias heterotróficas deve ser realizada como um dos parâmetros para avaliar a integridade do sistema de distribuição (reservatório e rede). Determina ainda que alterações bruscas ou acima do usual na contagem de bactérias heterotróficas devem ser investigadas para identificação de irregularidades e providências devem ser adotadas para o restabelecimento da integridade do sistema de distribuição (reservatório e rede), recomendando-se que não se ultrapasse o limite de 500 UFC/mL.

A contagem de bactérias heterotróficas, genericamente definidas como microrganismos que metabolizam carbono orgânico, fornece informações sobre a qualidade bacteriológica da água de uma forma ampla (DOMINGUES et al., 2007).

De acordo com LeChevallier (2003), alguns estudos demonstraram que a ocorrência de coliformes e bactérias heterotróficas pode estar relacionada com os seguintes fatores: filtração, temperatura, tipo de desinfetante e residual, nível de carbono orgânico assimilável, controle de corrosão e seleção de materiais de tubulação.

2.4.3.2 Coliformes totais

Devido à dificuldade, ou mesmo a impossibilidade de se analisar cada possível agente patogênico na água, é necessária a utilização de microrganismos indicadores específicos, como é o caso do grupo coliforme, que podem revelar uma potencial contaminação. Por isso são largamente utilizados para a análise de suprimentos de água.

Segundo a Portaria MS 518 de 2004, anterior à Portaria do MS 2914 de 2011, coliformes totais são: “bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a $35,0 \pm 0,5$ °C em 24 - 48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima β -galactosidase.”

No entanto os coliformes totais designam todos os grupos de coliformes que podem ser de origem fecal ou não. A *Escherichia coli* é uma bactéria de origem exclusivamente fecal. De acordo com Brasil (2006) a análise de coliformes totais é útil para a avaliação da qualidade da água tratada, pois sua presença pode indicar falhas no tratamento, uma possível contaminação após o tratamento ou ainda a presença de nutrientes em excesso, por exemplo, nos reservatórios ou nas redes de distribuição. De acordo com a Portaria 2914 (MS) de 2011, em pelo menos 95% das amostras na rede, para populações acima de 20.000 habitantes, as análises devem apresentar resultados ausentes para coliformes totais.

2.5 Análise de risco

De acordo com Molak (1996), a análise de risco pode ser definida como: “corpo de conhecimentos ou metodologia que avalia e estima a probabilidade de um efeito adverso de um agente (químico, físico ou outro), processo industrial, tecnologia ou processo natural”. Ainda segundo o mesmo autor a análise de risco não se trata de um tema novo na atualidade, pois esse tipo de análise já era posto em prática a cerca de 3200 a. C., nos Vales dos Rios Tigre e Eufrates quando um grupo de consultores chamado Asipu fazia análise de riscos, incertezas ou decisões difíceis para o povo, tendo sido utilizado posteriormente por gregos e romanos no estabelecimento das relações causais entre exposição e doença.

A literatura caracteriza a existência de três componentes da análise de risco: a avaliação, o gerenciamento e a comunicação do risco.

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 e adaptada a situações diversas, considerando, inclusive, vários possíveis desfechos/eventos os quais se quer prevenir ou controlar (BASTOS et al., 2009). A análise de risco, segundo Guilherme (2005), é usada para avaliar os dados científicos, comparar e selecionar as políticas de ação disponíveis e comunicar toda a informação obtida no intuito de prevenir ou controlar riscos não desejados.

2.5.1 Perigo e risco

Em se tratando deste tema, faz-se necessário entender a distinção entre os conceitos de perigo e risco. Perigo é uma situação que prenuncia um mal para alguém ou para alguma coisa. Segundo Razzolini e Nardocci (2006), perigo é uma propriedade, uma característica qualitativa. O risco por sua vez é uma grandeza mensurável relacionada a um perigo que tem possibilidade de acontecer, causando uma redução de segurança. O risco é uma grandeza quantitativa.

De acordo com a Norma ISO ABNT (2009), risco é efeito da incerteza sobre os objetivos. Na Tabela 1 estão expostas algumas definições de perigo e risco.

Tabela 1: Definições de perigo e risco.

Risco	Perigo	Referências
“Risco é a probabilidade ou chance de lesão ou morte”.	“Perigo é uma condição ou um conjunto de circunstâncias que têm o potencial de causar ou contribuir para uma lesão ou morte”.	(SANDERS e McCORMICK, 1993).
Risco “(...) é uma função da natureza do perigo, acessibilidade (potencial de exposição), características da população exposta(receptores), a probabilidade de ocorrência e a magnitude da exposição e das consequências (...)”.	“Um perigo é um agente químico, biológico ou físico (incluindo-se a radiação eletromagnética) ou um conjunto de condições que apresentam uma fonte de risco mas não o risco em si”	(KOLLURU, 1996).
“Risco é um resultado medido do efeito potencial do perigo”.	“Perigo é a situação que contém “uma fonte de energia ou de fatores fisiológicos e de comportamento/conduita que, quando não controlados, conduzem a eventos/ocorrências prejudiciais/nocivas”.	(SHINAR,GURION e FLASCHER, 1991). (SHINAR, GURION e FLASCHER, 1991 <i>apud</i> GRIMALDI, SIMONDS, 1984).
“Possibilidade de perigo, incertos mas previsíveis, que ameaça de dano a pessoa ou coisa”.	“1. Situação que prenuncia um mal para alguém ou para alguma coisa. 2. Risco, inconveniente”.	(MICHAELIS,2002)

Fonte: Adaptado de Ficher e Guimarães (2002).

2.5.2 Avaliação de risco

A avaliação de risco, segundo Molak (1996), pode ser definida como o processo de estimativa de probabilidade de ocorrência de um determinado acontecimento e a provável magnitude de efeitos adversos (em termos de segurança, saúde, ecologia, ou economia) durante um determinado período de tempo. Metodologias de análise de risco tem sido empregadas em diversas áreas, inclusive para o abastecimento de água para consumo humano como destaca Bastos et al. (2009) que diz que o emprego deste tipo de metodologia encontra nesta área um terreno promissor, em que o evento exposição considerado nesse contexto é o consumo de água.

O processo de avaliação de risco aplicada ao abastecimento de água, segundo Brasil (2006), inclui as etapas:

- Identificação do perigo: Etapa que visa à identificação dos perigos ou fatores de risco que podem comprometer a qualidade da água. Identificar possíveis agentes e os efeitos de situações adversas;
- Relação dose-resposta: É a etapa na qual vai ser identificada a quantidade do agente capaz de gerar um efeito adverso. Para alguns agentes é necessário estabelecer as doses que causam efeitos adversos em animais, e em outros casos faz-se uso de estudos epidemiológicos.
- Avaliação de exposição: Nesta etapa é feita a caracterização da quantidade do agente na água e a caracterização da população.
- Caracterização do risco: Compreende a última etapa da avaliação em que os dados obtidos nas etapas anteriores servirão de base para gerar informações qualitativas e quantitativas do risco.

Segundo Bastos et al. (2009), a avaliação de risco (AR) tem se apresentado como uma ferramenta importante e possível de ser utilizada para auxiliar e orientar o processo decisório para o controle e a prevenção da exposição de populações e indivíduos a diversos agentes ou situações perigosas à saúde. É o que corrobora WHO (2006) que diz que: “O recurso das ferramentas de avaliação e gerenciamento

de risco, aplicadas de forma abrangente e integrada, desde a captação até o consumo, é a forma mais efetiva de garantir a segurança da qualidade da água para consumo humano”.

2.5.3 Gerenciamento de risco

Pode ser definido como a elaboração e implantação de procedimentos técnicos e administrativos com o objetivo de manter os riscos dentro dos limites aceitáveis e garantir a operação adequada dos processos, respeitando padrões de segurança considerados e criando rotinas de otimização de processos.

2.5.4 Comunicação de risco

Abrange a etapa de comunicação do risco entre as partes interessadas. De acordo com Brasil (2012), no caso do abastecimento de água, a comunicação de risco eficaz direcionada à comunidade aumenta a consciência e o conhecimento sobre questões relacionadas à água.

2.5.5 Método FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)

A análise dos modos e efeitos de falha é definida pela NBR 5462 (ABNT, 1994) como um método qualitativo de análise de confiabilidade que mostra o estudo dos modos de falha que podem ocorrer em cada item e os efeitos dos modos de falha sobre o conjunto. Porém, além da função qualitativa o método também possui função quantitativa, na medida em que pode quantificar o risco envolvido. É uma metodologia que pode ser aplicada, segundo Toledo e Amaral (2006), a um produto (ou projeto) analisando suas falhas decorrentes do projeto e a um processo

analisando as falhas no planejamento e execução que ocasionam ou podem ocasionar problemas no produto. O FMEA foi aplicado, no presente estudo, a um produto, a água tratada que provém de uma ETA convencional localizada a um pouco mais de 20 km de distância, por onde passa por dois estágios de armazenamento e é distribuída através de um setor confinado de uma rede antiga de cimento amianto, o que contribui para a sua contínua degradação.

De acordo com Ogata (2011) os modos de falhas são as maneiras com que as falhas ou erros ocorrem e como eles se desenvolvem para gerar a falha. Já o efeito seria a manifestação ou como o perigo é percebido pelo sistema.

A análise do modo e efeito de falhas (FMEA) é, segundo Stamatis (2003), uma metodologia de avaliação de risco muito aplicada devido à sua simplicidade e flexibilidade que, de acordo com Toledo e Amaral (2006), deve ser realizada por equipe multidisciplinar com, no máximo, seis (6) especialistas; a equipe discute os riscos associados a um determinado processo e preenche um formulário contendo os efeitos, as causas, as medidas mitigadoras e a quantificação desses riscos. A quantificação é baseada em quatro critérios, a severidade, a ocorrência, a detecção e a abrangência, e, por fim, os valores desses critérios são multiplicados gerando um resultado que caracteriza o risco total do processo avaliado. A severidade indica o quão problemático pode ser o risco caso ele ocorra, a ocorrência é a frequência de acontecimento do risco, a detecção é a dificuldade em se detectar o risco, e a abrangência significa o quanto esse risco se difunde em função da área.

2.6 Plano de segurança da água

O PSA (Plano de Segurança da Água) é uma ferramenta de avaliação e de gerenciamento de risco que abrange o sistema de abastecimento de água como um todo, desde a captação até o consumidor. É caracterizado por um conjunto de recomendações elaboradas pela OMS (WHO, 2006) para assegurar a qualidade da água.

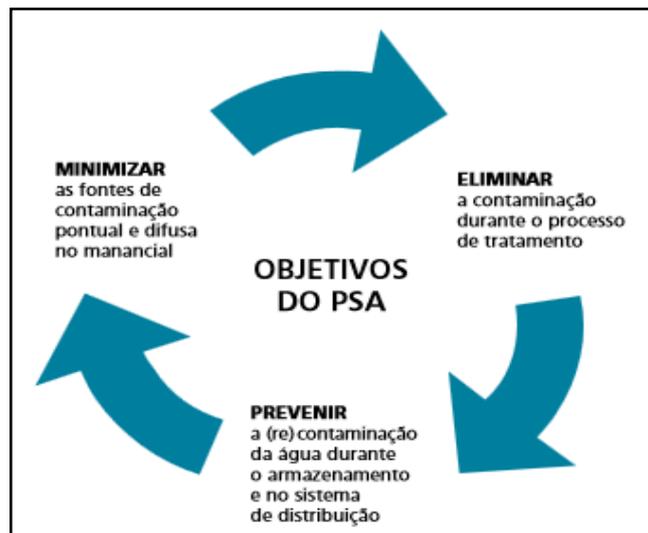
De acordo com Brasil (2012), o PSA é um importante instrumento para identificação de possíveis deficiências no sistema de abastecimento de água,

organizando e estruturando o sistema para minimizar a chance de incidentes. Sua elaboração pode ser dividida de acordo com as seguintes etapas:

- Etapas preliminares;
- Avaliação do sistema;
- Monitoramento operacional;
- Planos de gestão;
- Revisão do PSA;
- Validação e verificação do PSA.

Tendo como foco todo o sistema de abastecimento de água, o PSA se caracteriza como uma grande evolução para a garantia da segurança da qualidade da água para consumo humano, pois deixa de lado a abordagem tradicional focada muitas vezes em análises laboratoriais demoradas sendo incapazes de responder com rapidez a contaminações do sistema de abastecimento. A Figura 2 resume os objetivos do PSA.

Figura 2: Resumo dos objetivos do Plano de Segurança da Água - PSA.



Fonte: Bastos (2010) *apud* Brasil (2012).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Levantamento de dados

3.1.1 Descrição da área de estudo

A área em estudo é localizada no bairro do São José, na cidade de Campina Grande, estado da Paraíba, com coordenadas geográficas 7° 13' 50" Sul e 35° 52' 52" Oeste, localizada no Planalto da Borborema a 552 m acima do nível do mar e que segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, a população é de 385.213 habitantes (IBGE, 2010).

O setor em estudo está situado na zona de pressão B do Sistema de Abastecimento de Água de Campina Grande, mais especificamente na Subzona de pressão B2, que é alimentada pelo reservatório R-2 localizado no centro da cidade. A subzona B2 ocupa uma área de parte do Centro e do Bairro São José. De acordo com a Construtora Pan-América (1959) *apud* Meneses (2011), o R-2 foi construído após a construção do açude Vaca Brava localizado no município de Areia em 1938, que naquele ano passou a abastecer a cidade de Campina Grande. Hoje a cidade de Campina Grande é abastecida pelo açude Epitácio Pessoa (Boqueirão).

De acordo com ACQUAPLAN (1979), o R-2 é alimentado pelo reservatório R-5, por gravidade, através de uma subadutora. A rede de distribuição, alimentada também por gravidade a partir do R-2, constitui-se basicamente, de quatro anéis cujos diâmetros variam de 100 mm a 400 mm.

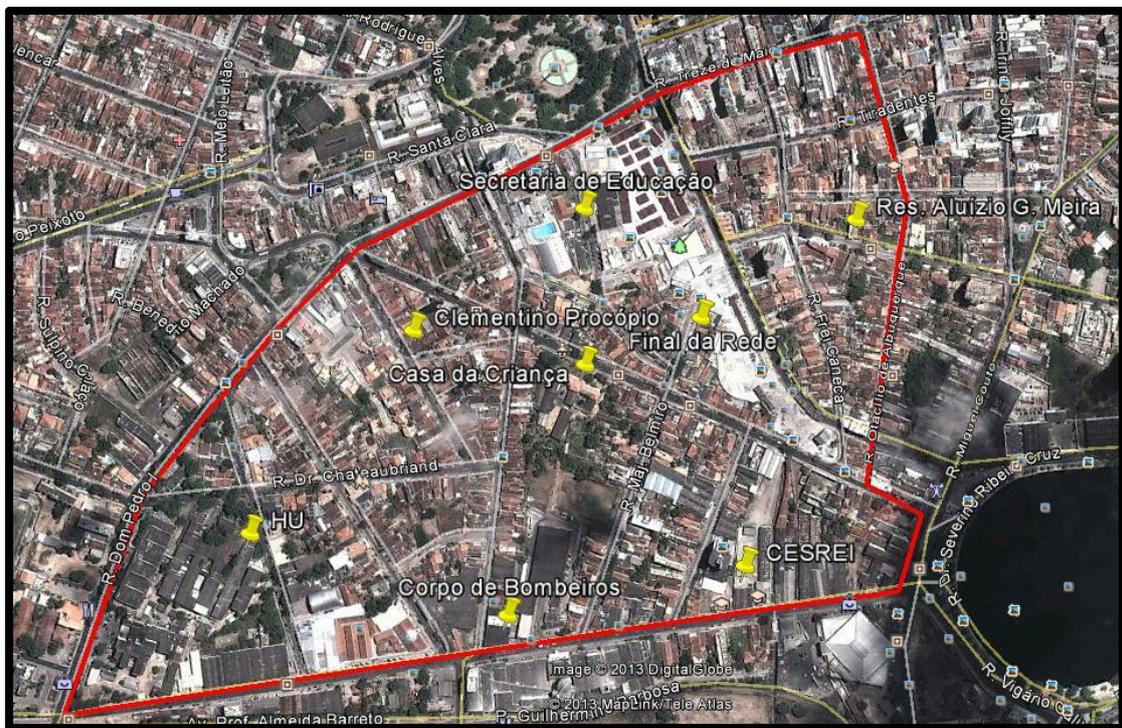
O reservatório R-2 é do tipo semienterrado, com 2290 m³ de capacidade, tendo seus níveis d'água máximo e mínimo nas cotas 554,8 m e 552 m, respectivamente. Está situado no centro da cidade, em um local onde não há mais área disponível para ampliações.

A subadutora que interliga o R-5 ao R-2 tem 500 mm de diâmetro e 1890 m de comprimento, e sua capacidade de adução é a ordem de 190 L/s.

Os pontos para as análises dentro do espaço amostral (Figura 3) foram escolhidos de forma a assegurar a melhor representatividade da amostragem, de

acordo com (BRASIL, 2006). No total foram 9 pontos, 8 no bairro do São José e outro, à parte, dentro do reservatório de distribuição (R-2) que abastece exclusivamente o bairro. O abastecimento se dá exclusivamente por gravidade e as tubulações que compõem a maior parte do sistema são feitas de cimento amianto. A maior parte desses condutos está instalada desde o início da implantação do sistema de distribuição de água de Campina Grande. A idade desses condutos foi confirmada em visita ao arquivo da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA, onde foi identificado que o primeiro projeto de abastecimento do setor data do ano de 1938.

Figura 3 – Imagem do bairro do São José em Campina Grande – PB e a localização dos 8 pontos de coleta.



Fonte: Google Earth (2013).

Para o levantamento das coordenadas dos pontos escolhidos nas coletas foi utilizado um aparelho GPS (Sistema de Posicionamento Global).

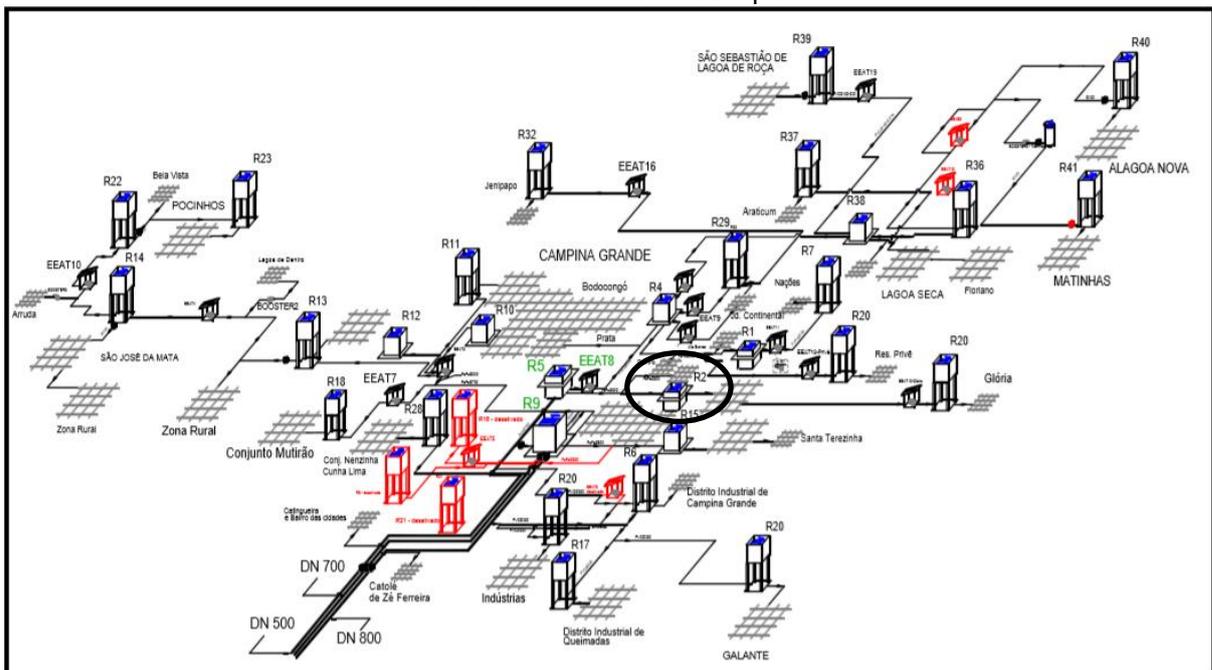
Poucas tubulações do setor são constituídas de ferro fundido em diâmetro que varia de 200 mm a 400 mm, PVC (Policloreto de vinila) variando de 60 mm a 100 mm e em sua grande maioria feitas de cimento amianto variando de 50 mm a 150 mm, material que caiu em desuso pela sua natureza carcinogênica. Na Tabela 2 são descritos os tipos de materiais das tubulações do setor e sua extensão.

Tabela 2: Materiais e extensões das tubulações.

Material das Tubulações	Extensão (m)
Ferro	1527
PVC	611
Cimento amianto	6663

Fonte: O autor.

A Figura 4 mostra as unidades operacionais do sistema de abastecimento de água de Campina Grande e o reservatório R-2 em destaque.

Figura 4: Unidades operacionais do sistema de abastecimento de Campina Grande (PB) e reservatório R-2 em destaque

Fonte: Adaptado de Meneses (2011).

O trabalho foi desenvolvido compreendendo o levantamento de dados de qualidade da água em duas etapas. A primeira etapa foi realizada no período situado entre março e julho de 2013, tendo sido realizadas as análises físico-químicas e, em paralelo, a aquisição de dados do sistema em estudo.

A segunda etapa, correspondente às análises microbiológicas, foi realizada no período de outubro a dezembro de 2013.

3.2 Primeira etapa da pesquisa

3.2.1 Pontos de coleta

Os pontos de coleta foram escolhidos de acordo com BRASIL (2006), priorizando locais com grande circulação de pessoas. As coletas das amostras de água para as análises físico-químicas foram realizadas em 9 pontos do setor de distribuição da cidade de Campina Grande.

Destes pontos de coleta, seis apresentam grande fluxo de pessoas (P3S7, P5S7, P6S7, P7S7, P8S7 e P11S7). Todos os pontos estão descritos na Tabela 3 com seus respectivos endereços e coordenadas.

Tabela 3: Localização dos pontos de coleta das amostras de água de abastecimento.

	Ponto	Endereço	Coordenadas
P1S7	CAGEPA- R2	Rua Félix Araújo, s/n, Centro	S 07° 13,04.73' W 35°53,14.98'
P2S7	Residencial Aluízio G. Meira	Rua Desembargador Trindade, 722 –Centro	S 07° 13,411' W 035°53,151'
P3S7	Secretaria Municipal de Educação	Rua Paulino Raposo, 347, São José	S 07°13,493' W 035° 53,188'
P5S7	Casa da Criança Dr João Moura	Rua Dr. João Moura, 487 – São José	S 07° 13,503' W 035° 53,324'
P6S7	Centro de Educação Superior Reinaldo Ramos- CesRei	Av. Prof. Almeida Barreto, 242 – Centro	S 07° 13,649' W 035° 53,183'
P7S7	2º Batalhão de Bombeiro Militar	Av. Prof. Almeida Barreto, 428 – Centro	S 07° 13,684' W 035° 53,321'
P8S7	E. E. E. F. M. Clementino Procópio	Rua Felipe Camarão, s/n, São José	S 07° 13,512' W 035° 53,425'
P9S7	Ponta de rede	Rua Major. Belmiro, 358, São José	S 07°13,499' W 035° 53,257'
P11S7	Hospital Universitário Alcides Carneiro	Rua Carlos Chagas, s/n, São José	S 07° 13,673' W 035° 53,491'

Fonte: Elaborado pelo autor.

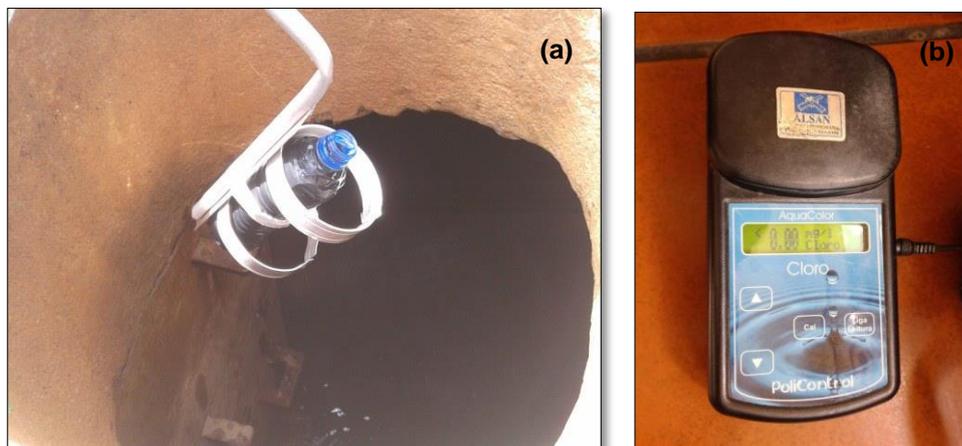
3.2.2 Análises físico-químicas

Para as coletas das amostras foi seguida uma logística organizacional, na qual foi estabelecido um ponto central no bairro em estudo, o P5S7, Casa da Criança Dr. João Moura, para servir de base para as análises que não poderiam ser feitas *in loco* e diminuir as distâncias percorridas pela equipe. As análises nos

pontos seguiram a ordem: Reservatório (R-2), Centro de Educação Superior Reinaldo Ramos - CesRei, Corpo de Bombeiros, Hospital Universitário Alcides Carneiro (HU), E. E. E. F. M. Clementino Procópio, Residencial Aluizio G. Meira, Secretaria de Educação, Final da Rede e, por fim, Casa da Criança. Os pontos analisados estão representados na Figura 3.

As amostras coletadas para as análises eram retiradas de uma torneira do ramal. Os indicadores físicos e químicos analisados foram, cloro residual livre (CRL) e combinado (CRC), turbidez, pH e temperatura, tendo sido realizadas 30 coletas em cada ponto e as análises feitas em triplicata. Os indicadores cloro residual livre (CRL), cloro residual combinado (CRC) e temperatura foram medidos *in loco*. As análises de cloro residual e cloro combinado eram feitas em triplicata com o auxílio de colorímetro microprocessado de leitura direta modelo Aquacolor Cloro (Figura 5b) e a temperatura foi medida com termômetro infravermelho. As amostras eram coletadas em garrafas de 500 mL cobertas com material escuro para evitar incidência de luz sobre a água. As torneiras eram abertas por um tempo de 2 a 3 minutos para deixar escoar a água estagnada nas canalizações.

Figura 5 – Coleta da água no Reservatório R2 (a) e aparelho colorímetro de leitura direta modelo Aquacolor Cloro (b).



Fonte: O autor.

Para efeito de comparação com os resultados obtidos com o colorímetro portátil, foi realizada *in loco*, medição do cloro total pelo método da ortotolidina, que é um método ainda utilizado pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba.

Na Figura 6 está representado o estojo usado nesse método.

Figura 6- Estojo para medição de cloro total pelo método da Orto-tolidina.



Fonte: O autor.

Realizadas as análises *in loco*, as amostras eram acondicionadas em garrafas de 500 mL e levadas para o ponto central, Casa da Criança, onde eram procedidas as análises dos indicadores restantes, pH e turbidez.

3.3 Segunda etapa da pesquisa

3.3.1 Análises microbiológicas

Em uma segunda etapa do estudo foram introduzidos indicadores microbiológicos onde foram realizadas análises de bactérias heterotróficas e coliformes totais. Nesta etapa, foram escolhidos 4 pontos da área em estudo, distribuídos de forma a assegurar a melhor representatividade no espaço amostral. Os pontos selecionados foram:

- P1S7 – CAGEPA (R-2);
- P2S7 – Residencial Aluizio G. Meira;
- P5S7 – Casa da Criança Dr. João Moura;
- P11S7 – Hospital Universitário Alcides Carneiro.

Os pontos escolhidos estão representados na Figura 7.

Figura 7 – Imagem do bairro São José em Campina Grande - PB e a localização dos 4 pontos de coleta selecionados.



Fonte: Google Earth (2013).

A coleta foi realizada em frascos estéreis de 500 mL, com tampa rosqueável, contendo 0,1mL de solução de tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), a 10%, para cada 100 mL de água. Em seguida os frascos eram cobertos com papel laminado e depois passavam por autoclavagem a 121 °C e pressão de 1 kg/cm² durante 15 minutos.

Depois do processo de esterilização as garrafas eram levadas para as coletas, onde as amostras também eram tomadas diretamente de torneiras, passando estas por esterilização com álcool a 70% e, em seguida, a água estagnada na canalização era deixada escoar livremente por 2 a 3 minutos.

Após as coletas, as amostras eram acondicionadas em caixa térmica de isopor com gelo e encaminhadas ao laboratório para realização das análises.

3.4 Métodos analíticos

Os métodos analíticos utilizados na pesquisa seguiram as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

3.4.1 Cloro residual livre e combinado (CRL e CRC)

Para as determinações do cloro residual, foi utilizado o método colorimétrico DPD, utilizando-se aparelho medidor de cloro como é mostrado na Figura 8. Neste método são medidos separadamente o cloro residual livre e o cloro total, a diferença das duas concentrações resultará no cloro residual combinado. O indicador utilizado é o N,N, dietil-p-fenilendiamina (DPD).

O cloro livre reage instantaneamente com DPD, na ausência de íons iodeto, com produção de coloração vermelha. Procede-se a medição imediatamente no medidor para obtenção das concentrações de cloro residual livre, em seguida com outra amostra adiciona-se o DPD, solução de fosfato, para manter o pH em uma faixa desejável e o iodeto de potássio, para medição do cloro total.

Figura 8: Medidor de cloro residual livre e total.



Fonte: O autor.

A referida portaria estabelece que o VMP para o indicador CRL deve ser de 5,0 mg/L, porém, na mesma portaria é recomendado que a concentração máxima

desejável de cloro residual livre seja de 2,0 mg/L em qualquer ponto do sistema de abastecimento. Por isso, foi admitido neste trabalho o último valor como limite superior para o CRL.

3.4.2 Turbidez

A turbidez foi determinada pelo método instrumental nefelométrico com a utilização de um turbidímetro de bancada, TECNOPON modelo TB-1000, como mostrado na Figura 9.

Figura 9: Turbidímetro de bancada utilizado nas análises



Fonte: O autor.

3.4.3 Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, com o auxílio de um pH-metro portátil TECNOPON modelo PA210 (Figura 10), calibrado com soluções tampões de pH.

Figura 10: pH-metro utilizado nas análises



Fonte: O autor.

3.4.4 Bactérias heterotróficas

Para a determinação de bactérias heterotróficas foi usado o método do plaqueamento em profundidade (“Pour Plate”), o meio de cultura utilizado foi o PCA (Plate count Agar), e os resultados foram expressos em unidades formadoras de colônia por mililitro (UFC/mL). As análises foram feitas em triplicata, sendo realizada também a prova em branco para verificar se a placa e o meio de cultura utilizado encontravam-se sem contaminação. A prova em branco foi realizada inserindo-se na placa apenas o meio de cultura sem a amostra de água.

3.4.5 Coliformes totais

Para determinação dos coliformes totais foi utilizada a técnica de membrana filtrante que se baseia na filtração de volumes adequados de água, mediante pressão negativa (vácuo), através de membrana filtrante com porosidade de 0,45 μm .

A Portaria 2914/2011 estabelece que deve haver ausência para o indicador coliformes totais, sendo admitido apenas presença em 5% das amostras analisadas mensalmente, ou seja, não há um VMP que padronize a concentração deste indicador, por isso foi admitido que para ele existem apenas duas faixas, a faixa 1,

em caso de resultados que apresentem ausência de coliformes, representando um risco mínimo e faixa 5, quando houverem resultados que apresentem presença, que equivaleriam ao risco máximo. Os valores intermediários 2, 3 e 4 não se aplicam pois a Portaria 2914/2011 estabelece apenas presença ou ausência.

3.5 Análise estatística dos dados

Para cada conjunto de dados obtidos foi feito um estudo para detecção e posterior remoção de *outliers* (valores atípicos que não são representativos do universo amostral). Para isso foi aplicado o método de Grubbs, com um nível de significância de 0,05 e universo amostral de 30 dados para as análises físico-químicas. Para as análises microbiológicas não foi possível a aplicação do método para os dados de coliformes totais, pois os limites mínimos e máximos estabelecidos pela Portaria 2914/2011 MS se referem apenas a presença ou ausência e para os dados de bactérias heterotróficas sua aplicação não foi necessária. O método de Grubbs testa a existência de *outliers* num universo amostral baseado na comparação do *outlier* suspeito com o valor estimado no método.

Posteriormente, a todos os conjuntos de dados, de uma mesma variável, foi aplicada a análise de variância ANOVA de fator único, ao nível de significância de 5%, para determinar a existência ($p \leq 0,05$), ou não ($p > 0,05$), de diferenças significativas entre eles. Para os conjuntos de dados nos quais foram verificadas diferenças significativas foi aplicado o método gráfico GT-2, que mostra que uma igualdade estatística entre um par de valores médios é demonstrada pela intercessão dos respectivos intervalos de comparação e a diferença significativa fica evidenciada pela não intercessão desses intervalos.

3.6 Avaliação de risco

Para a avaliação de risco foi utilizado o método FMEA, que foi adaptado por Ogata (2011), para ser aplicado a um sistema de abastecimento de água. O FMEA

se caracteriza como sendo um método simples e flexível, que busca minimizar as falhas de produtos e processos.

3.6.1 Análise das falhas em potencial (construção do formulário FMEA e tabela de escores)

A análise das falhas em potencial foi baseada nos indicadores estudados em cada um dos pontos de amostragem, utilizando-se como base a Portaria Nº 2914/2011 do MS. Os perigos descritos foram da baixa concentração de CRL, alta turbidez, alta concentração de CRC, baixo pH, alto pH, alta concentração de bactérias heterotróficas e presença de coliformes totais.

Foram levados em consideração, para a construção do formulário FMEA, o efeito, a causa, as medidas mitigadoras e os escores de quantificação do risco.

Os efeitos são os principais problemas gerados pela falha ou perigo, as causas os principais motivos que geraram a falha e as medidas mitigadoras são todas as ações que podem ser adotadas para compensar, reparar, evitar e mitigar cada falha específica e seus efeitos. Com relação aos escores é através do seu preenchimento que se quantifica o perigo, associando-o a um risco. Os escores são formados pelos seguintes aspectos: Severidade (S), ocorrência (O), detecção (D) e abrangência (A), através deles é calculado o risco (R). Esta é caracterizada como a parte mais importante do formulário FMEA, pois é em torno dos escores que vão ser feitas todas as discussões da equipe avaliadora.

A severidade significa a magnitude que o perigo possui caso ele ocorra, o quanto intenso pode ser caso aconteça. A ocorrência diz respeito à frequência com que o evento perigoso ocorre no sistema em estudo. Se houver ocorrência o risco pode ser caracterizado como real, se não houver, é potencial. A detecção mostra o grau de facilidade de percepção do perigo, antes que ele ocorra, com relação aos instrumentos e métodos de controle do sistema, para que assim sejam tomadas medidas preventivas. A abrangência significa a região que o perigo pode atingir em relação à área que o processo ocupa, por exemplo, se o perigo extrapola a região que o processo ocupa, o risco será elevado. Por último o risco (R) é calculado multiplicando-se os escores atribuídos aos aspectos mencionados.

Os aspectos analisados (severidade, ocorrência, detecção, e abrangência) variam com valores de 1 a 3, sendo 1 para as situações mais favoráveis e 3 para as situações mais desfavoráveis, o valor 2 é atribuído para as situações intermediárias. Na situação mais desfavorável, ou seja, crítica, os efeitos sobre a saúde podem ser mais intensos.

O Formulário FMEA aplicado encontra-se no Apêndice A.

A tabela que norteou a escolha dos escores no Formulário FMEA, está no Apêndice B, e foi adaptada por Rodrigues (2014), tendo como base a tabela desenvolvida por Ogata (2011).

As mudanças na tabela original dizem respeito à severidade dos níveis 3 (alta), 2 (moderada) e 1 (baixa), com a retirada das classificações muito, danosas e pouco danosas ao meio ambiente e a saúde humana, respectivamente.

Mudanças ocorreram também na ocorrência que passou a ser classificada com relação à frequência, onde a classificação 3 (alta) passou a se enquadrar na faixa de 5% a 100% de não conformidades, o nível 2 (moderado) quando ocorre frequências de não conformidades em até 5% das amostras analisadas e nível 1 (baixa) quando não existem não-conformidades com a Portaria 2914/2011 do MS.

Para a abrangência não foi feita nenhuma alteração, sendo utilizada a classificação de Ogata (2011) onde os níveis 3 (alta), 2 (moderada), 1 (baixa), são apresentados quando as não conformidades alcançam áreas além do sistema de abastecimento, alcançam até os limites do sistema de abastecimento de água ou alcançam apenas o local onde é realizada a potabilização da água (ETA) respectivamente.

3.6.2 Soma ponderada dos riscos

Depois do preenchimento dos escores de severidade, ocorrência, detecção, abrangência e resultado do risco para cada perigo apresentado no formulário FMEA, houve a necessidade de se calcular a importância percentual de cada risco analisado no risco total do sistema estudado. Partindo da ideia de que todo risco associado ao sistema se resume aos riscos listados no formulário FMEA, pode ser calculado o percentual de cada risco no risco total do sistema, através do cálculo da

soma ponderada, onde se divide o valor de cada risco individual pelo risco total utilizando-se a Equação 1.

$$P = \left(\frac{R_i}{\sum_1^n} \right) \quad (1)$$

P: Ponderação;
 R_i: Risco Individual;
 n: Quantidade de risco;
 Σ_R: Soma de todos os riscos.

3.6.3 Cálculo do risco total

Concluídas as etapas de ponderação dos riscos individuais, estatística e classificação dos dados, tornou-se possível o cálculo do risco total de cada ponto do sistema em estudo, através da multiplicação da classificação do indicador pela ponderação do seu respectivo risco e, depois, pela soma de todos os produtos, resultando no risco total do ponto monitorado.

Como a metodologia FMEA é aplicada apenas ao mesmo conjunto de dados, foi necessário atribuir uma classificação àqueles pontos nos quais não foram feitas análises para os indicadores de coliformes totais e bactérias heterotróficas. Essa atribuição levou em consideração a existência da presença de coliformes totais, em números por vezes incontáveis, no reservatório R-2 e de bactérias heterotróficas, o que leva a presumir que o perigo referente a esses indicadores se distribui igualmente para os outros pontos do sistema, por ser um setor pequeno e fechado.

Assim, foi atribuído a estes pontos a mesma classificação encontrada para os pontos em que foram feitas as análises de coliformes totais e bactérias heterotróficas. Para o ponto P11S7 houve uma diferença de classificação para bactérias heterotróficas, pois a mesma apresentou classificação 3 devido a um número mais elevado de UFC/mL. O resultado para o risco total máximo foi de 4,64. Este valor ocorre devido à existência de alguns riscos excludentes e está relacionado aos parâmetros que possuem valores máximos e mínimos. Como exemplo: se existir a presença de um perigo de alta concentração de CRL, não existirá o perigo de baixa concentração de cloro e vice versa. Isso também ocorre

para o indicador pH. Para se encontrar o risco total máximo, que é o risco de maior valor capaz de existir no sistema, foi usada a classificação máxima (5) para todos os indicadores e multiplicando-a pelos valores obtidos na ponderação.

Foi então criada uma classificação dividida em 5 faixas, seguindo a mesma feita por Ogata (2011). As Tabela 4 e 5 representam o cálculo do risco total máximo possível do setor em estudo e a divisão dos intervalos de classificação desse risco respectivamente.

Tabela 4: Classificação do risco total.

Parâmetro	Classificação máxima	Risco	
		%	Total %
ALTA Conc. BHF	5	21,69	108,45
BAIXO pH	5	7,23	14,46
ALTA Turbidez	5	4,82	9,64
ALTA Cor	5	4,82	9,64
BAIXA Conc. CRL	5	32,53	162,65
ALTA Conc. CRC	5	21,69	43,38
Total		464,0/100	
Risco máximo		4,64	

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 5: Divisão do risco total máximo em faixas.

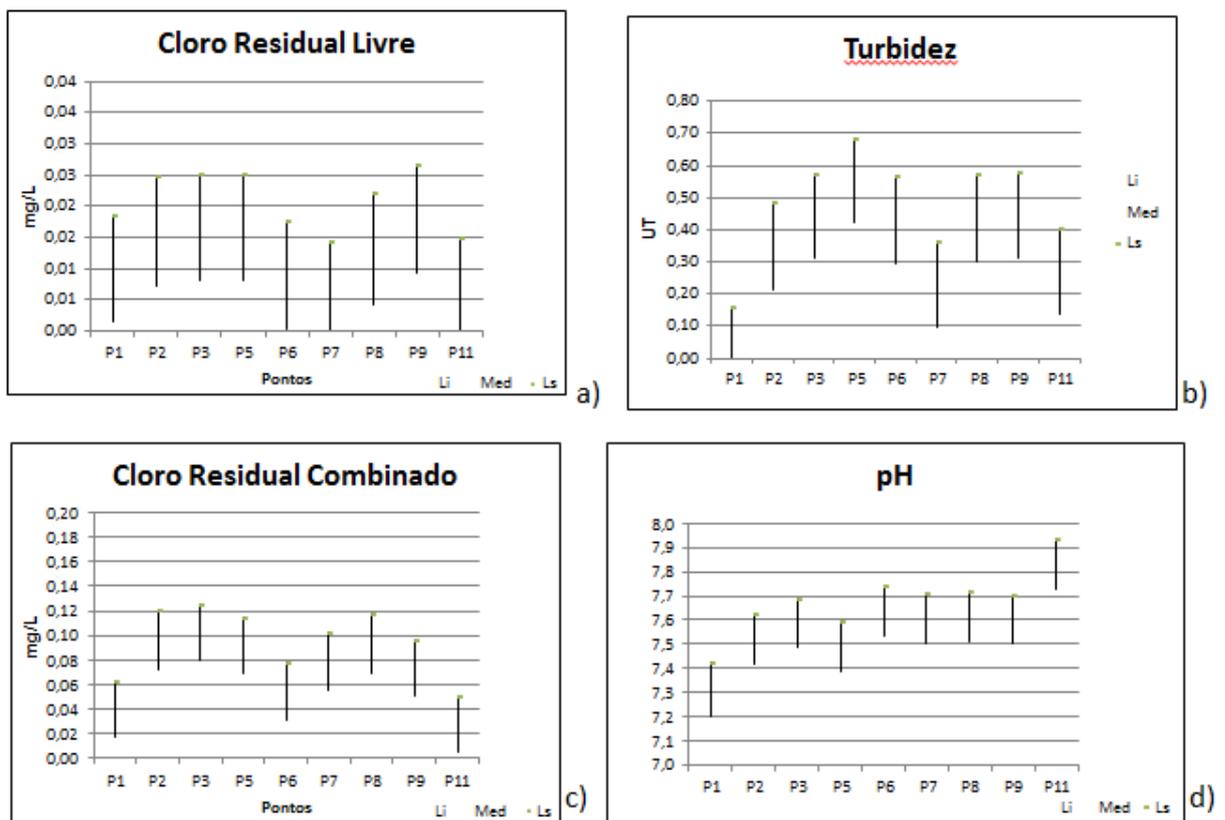
Grupo de dados	
Faixa (intervalo do risco)	Classificação
$0 \leq x \leq 0,93$	Desprezível
$0,93 < x \leq 1,86$	Baixo
$1,86 < x \leq 2,79$	Moderado
$2,79 < x \leq 3,72$	Alto
$3,72 < x \leq 4,64$	Crítico

Fonte: Elaborada pelo autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 11 reúne os gráficos GT2 para os indicadores monitorados nos pontos de amostragem.

Figura 11: Representação GT-2 para CRL (a), turbidez (b), CRC (c) e pH (d).



Fonte: Elaborada pelo autor

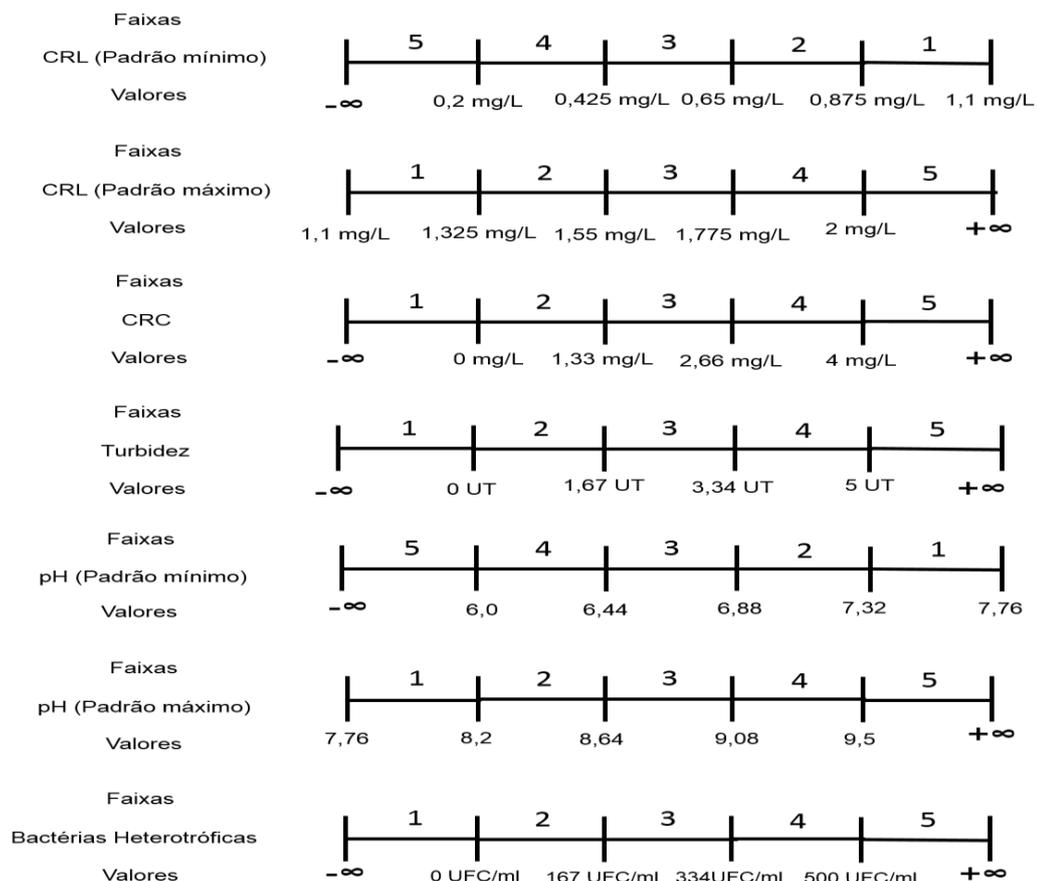
Analisando o comportamento dos gráficos dos indicadores, constatou-se que existe diferenças significativas entre os grupos de dados, exceto para o cloro residual livre que mostrou resultados mais homogêneos. No caso da turbidez, os pontos P2, P3, P6, P7, P8, P9 e P11 formam um mesmo grupo, diferente dos pontos P1 e P5 que não formam nenhum grupo. Para o cloro residual combinado os pontos P1, P6 e P11 fazem parte do mesmo grupo, possuindo diferenças significativas com relação ao outro grupo formado pelos pontos P2, P3, P5, P7, P8 e P9. Já com relação ao pH as diferenças significativas ficaram entre os pontos P1 e P11, que não formam grupo, em relação ao grupo dos pontos P2, P3, P5, P6, P7, P8 e P9. No entanto vale ressaltar que apesar de existir diferenças significativas entre os pontos

a variação entre os valores dos indicadores é pequena, revelando dados muito parecidos entre si.

Após o tratamento estatístico dos dados, para representá-los através de medidas de tendência central foi criada uma classificação baseada nos VMP's (Valores Máximos Permitidos) da Portaria 2914/2011 do MS. A classificação feita por Ogata (2011), baseia-se na divisão em 5 (cinco) faixas da região que compreende a concentração 0 (zero) ao VMP estabelecido para o indicador (cada faixa será representada por um valor entre 1 e 5) e depois situar o valor médio do ponto de amostragem na sua respectiva faixa.

Para os indicadores em que a Portaria 2914/2011 do MS preconiza padrões máximos e mínimos, foi calculada a média entre estes, e a partir da média, foram estabelecidas duas regiões, um do padrão mínimo até a média e uma da média ao padrão máximo, cada região contando com 5 faixas representadas por valores de 1 a 5 (Figura 12).

Figura 12 : Classificação para os parâmetros CRL (padrão mínimo), CRL (padrão máximo), Turbidez, CRC, pH (padrão mínimo), pH (padrão máximo) e Bactérias Heterotróficas.



Fonte: Rodrigues (2014).

Os dados obtidos na monitoração das variáveis de qualidade da água foram inicialmente submetidos à estatística descritiva e análise da ocorrência de conformidade/não-conformidade com a Portaria MS 2914/2011, para os 9 pontos de amostragem (Tabelas 6 e 7).

Tabela 6: Estatística descritiva e frequência de conformidades e não-conformidades de indicadores sentinelas da qualidade da água nos pontos P1, P2, P3, P5, e P6.

Ponto	Variável	Média	Mediana	Desvio padrão	Conformidade		Não-conformidade	
					N°	%	N°	%
P1	CRL	0,01	0,00	0,02	0	0,0	25	100,0
	CRC	0,04	0,00	0,07	30	100,0	0	0,0
	Turbidez	0,01	0,00	0,03	25	100,0	0	0,0
	pH	7,31	7,28	0,32	25	100,0	0	0,0
	BH	141,0	21,0	275,3	14	87,5	2	12,5
	CT	-	-	-	0	0,0	14	100,0
P2	CRL	0,01	0,00	0,02	0	0,0	28	100,0
	CRC	0,09	0,10	0,05	28	100,0	0	0,0
	Turbidez	0,35	0,4	0,25	28	100,0	0	0,0
	pH	7,52	7,56	0,21	28	100,0	0	0,0
	BH	92,0	11	92,01	17	100,0	0	0,0
	CT	-	-	-	0	0,0	14	100,0
P3	CRL	0,01	0,00	0,02	0	0,0	30	100,0
	CRC	0,10	0,11	0,05	30	100,0	0	0,0
	Turbidez	0,44	0,4	0,42	30	100,0	0	0,0
	pH	7,58	7,63	0,27	30	100,0	0	0,0
	BH	-	-	-	-	-	-	-
	CT	-	-	-	-	-	-	-
P5	CRL	0,01	0,01	0,02	0	0,0	30	100,0
	CRC	0,09	0,08	0,06	30	100,0	0	0,0
	Turbidez	0,55	0,45	0,45	30	100,0	0	0,0
	pH	7,48	7,54	0,23	30	100,0	0	0,0
	BH	128,1	99	119,3	17	100,0	0	0,0
	CT	-	-	-	0	0,0	14	100,0
P6	CRL	0,00	0,0	0,01	0	0,0	29	100,0
	CRC	0,05	0,06	0,04	29	100,0	0	0,0
	Turbidez	0,43	0,4	0,31	29	100,0	0	0,0
	pH	7,63	7,74	0,20	29	100,0	0	0,0
	BH	-	-	-	-	-	-	-
	CT	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborada pelo autor.

Durante o período analisado, foi observado que em todos os 9 pontos de amostragem, ocorreram violações com relação às concentrações mínimas exigidas pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde para o indicador cloro residual livre, que é de 0,2 mgCl₂/L em qualquer ponto da rede de distribuição. A falta de cloro

residual livre na rede, em todo o setor, traz uma situação de potencial risco à saúde da população, pois na falta do desinfetante podem desenvolver-se na rede agentes infecciosos que podem acometer um grande número de pessoas.

Tabela 7: Estatística descritiva e frequência de conformidades e não-conformidades de indicadores sentinelas da qualidade da água nos pontos P7, P8, P9 e P11.

Ponto	Variável	Média	Mediana	Desvio padrão	Conformidade		Não-conformidade	
					Nº	%	Nº	%
P7	CRL	0,00	0	0,01	0	0,0	30	100,0
	CRC	0,07	0,07	0,05	30	100,0	0	0,0
	Turbidez	0,23	0,25	0,22	30	100,0	0	0,0
	pH	7,60	7,77	0,24	30	100,0	0	0,0
	BH	-	-	-	-	-	-	-
	CT	-	-	-	-	-	-	-
P8	CRL	0,01	0	0,02	0	0,0	28	100,0
	CRC	0,09	0,09	0,05	28	100,0	0	0,0
	Turbidez	0,43	0,4	0,37	28	100,0	0	0,0
	pH	7,61	7,64	0,21	28	100,0	0	0,0
	BH	-	-	-	-	-	-	-
	CT	-	-	-	-	-	-	-
P9	CRL	0,01	0	0,02	0	0,0	30	100,0
	CRC	0,07	0,07	0,05	30	100,0	0	0,0
	Turbidez	0,44	0,4	0,35	30	100,0	0	0,0
	pH	7,60	7,67	0,26	30	100,0	0	0,0
	BH	-	-	-	-	-	-	-
	CT	-	-	-	-	-	-	-
P11	CRL	0,00	0	0,01	0	0,0	30	100,0
	CRC	0,02	0,02	0,02	30	100,0	0	0,0
	Turbidez	0,27	0,3	0,23	30	100,0	0	0,0
	pH	7,83	7,92	0,25	30	100,0	0	0,0
	BH	175,8	127	144,7	17	100,0	0	0,0
	CT	-	-	-	-	-	14	100,0

Fonte: Elaborada pelo autor

Todos os pontos apresentaram desacordo com a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde em relação à concentração de CRL, com exceção de uma única análise, que apresentou concentração mínima de acordo com a referida Portaria. O dado foi removido após a remoção de *outliers* no tratamento estatístico.

Os resultados das médias das concentrações do indicador sentinela cloro residual livre CRL, obtidas nos 9 pontos de amostragem, evidenciaram o não atendimento à Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

Com relação ao indicador turbidez, foi constatado que em nenhum dos pontos o padrão estabelecido pela Portaria 2914/2011 foi violado; esta estabelece o limite máximo de 5,0 UT para qualquer ponto do sistema de distribuição.

O mesmo foi verificado para os indicadores pH e CRC; a Portaria 2914/2011 do MS recomenda que o pH da água de abastecimento esteja na faixa de 6,0 a 9,5, enquanto que o VMP para CRC é de 4,0 mg/L. Os resultados para os 9 pontos monitorados para o indicadores auxiliares CRC e pH, se mostraram todos dentro do que estabelece a legislação.

As bactérias heterotróficas, nos quatro pontos monitorados, estiveram sempre presentes, mas em contagens inferiores ao valor de 500 UFC/mL recomendado pela Portaria MS 2914/2011. Num total de 16 coletas somente em 2 casos esse valor foi ultrapassado, e os mesmos foram no reservatório R-2, ou seja, 12,5 % das análises feitas nesse ponto não apresentaram conformidade com a referida Portaria.

Para os quatro pontos monitorados, foi encontrada a presença de coliformes totais em 100% das amostras. Em muitas amostras foi observado um número incontável de colônias, em total desacordo com a Portaria MS 2914/2011 que estabelece uma frequência máxima de resultados positivos para apenas 5% das amostras mensais.

Após ter sido realizado o tratamento estatístico dos dados através de medidas de tendência central, estes foram classificados segundo a faixa descrita na Figura 20.

A Tabela 8 mostra os valores de tendência central para cada indicador em cada ponto de amostragem, e a classificação destes; esta classificação, será utilizada para calcular o risco individual de cada ponto monitorado.

Tabela 8: Resumo das medidas de tendência central e classificação dos parâmetros para os pontos P1, P2, P3, P5, P6, P7, P8, P9 e P11.

Ponto de Amostragem		CRL (mg/l)	Turbidez (UT)	CRC (mg/L)	pH	CT (UFC/100mL)	BH (UFC/mL)
P1S7	Média	0,01	0,01	0,04	7,31	P	141
	Classificação	5 *	2	2	2 *	5	2
P2S7	Média	0,02	0,35	0,10	7,52	P	58
	Classificação	5 *	2	2	1*	5	2
P3S7	Média	0,02	0,44	0,10	7,59	P	-
	Classificação	5 *	2	2	1*	5	2
P5S7	Média	0,02	0,55	0,10	7,49	P	128

	Classificação	5 *	2	2	1 *	5	2
P6S7	Média	0,01	0,43	0,05	7,64	P	-
	Classificação	5 *	2	2	1 *	5	2
P7S7	Média	0,01	0,23	0,01	7,61	P	-
	Classificação	5 *	2	2	1 *	5	2
P8S7	Média	0,01	0,48	0,10	7,61	P	-
	Classificação	5 *	2	2	1*	5	2
P9S7	Média	0,02	0,45	0,10	7,60	P	-
	Classificação	5*	2	2	1*	5	2
P11S7	Média	0,01	0,27	0,03	7,83	P	176
	Classificação	5 *	2	2	1**	5	3

* Padrão mínimo, ** Padrão máximo, **Fonte:** Adaptada de Rodrigues 2014.

4.1 Formulário FMEA

O formulário FMEA para o setor em estudo, foi preenchido com base em reunião feita por uma equipe de especialistas para o trabalho de Rodrigues (2014). O escore de severidade atribuído para baixa concentração de CRL foi 3, pois esse perigo resulta na probabilidade de desenvolvimento de patógenos na água, colocando a população em risco. O escore da ocorrência foi considerado 3, pois num total de 30 análises, em cada ponto analisado, todos estavam em desacordo com o padrão mínimo estabelecido pela Portaria Nº 2914/2011 do MS. Para a detecção foi atribuído o valor 2, pois a forma como o perigo é percebido se dá através de medições simples e a abrangência foi considerada de valor 3, pois o perigo alcança áreas além da rede de distribuição. O produto entre os escores foi de 54.

Para o perigo de alta concentração de CRL o escore de severidade foi de 2, porque a sua magnitude, pode resultar em efeitos leves ou moderados, como irritações, intoxicações e alergias. O escore para ocorrência foi considerado 1 pois em nenhuma das análises houve violação da concentração máxima permitida. A detecção recebeu escore 2 pelos mesmos motivos do perigo da baixa concentração

de cloro. A abrangência obteve escore 3, pois a existência do evento afetaria todo o setor, visto que a distância entre o reservatório e o mesmo é pequena, e não traria redução significativa nas concentrações de CRL. O risco total foi de 12.

Outro perigo bastante relevante é o da alta turbidez, que apresentou uma severidade alta com escore 3, pois partículas na água trazem interferência na desinfecção ao servir de proteção para microrganismos patogênicos, que podem chegar às residências e causar doenças à população. A ocorrência foi considerada baixa, obteve escore 1, pois em um total de 30 andados, obtidos em todos os pontos, nenhuma esteve em desconformidade com a Portaria MS 2914/2011. A detecção obteve escore igual 2, por motivos já discutidos anteriormente. A abrangência foi considerada alta, foi atribuído o escore 3, porque se a turbidez estiver alta chegará aos consumidores. O risco foi estimado e atingiu o valor 18.

À alta concentração de CRC foi atribuída severidade 2, porque apesar de trazer problemas à saúde humana, estes são leves ou moderados e não persistem com o tempo. Com relação à ocorrência, foi atribuído o escore 1 pois no universo amostral não houve nenhuma violação do valor máximo permitido da Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde. Para detecção foi atribuído o escore 2, pelo método de detecção ser similar ao do CRL. Por sua vez o escore de abrangência atribuído foi 3 pois sua concentração poderia atingir os consumidores. A multiplicação dos escores resultou em um risco de 12.

O perigo referente ao baixo pH, obteve escore 1 para a severidade, pois ele auxilia na desinfecção, apesar de causar corrosão, o escore da ocorrência foi 1, porque não houve nenhuma não-conformidade com a Portaria 2914/2011 do MS em todo o universo amostral. A detecção obteve escore 2, pelos mesmos motivos já explicados. A abrangência foi considerada alta, teve valor 3, pois se ocorrer, atingirá todas as ligações prediais, uma vez que o pH não sofre muita variação com o tempo. O resultado do risco foi 6.

O alto pH também é considerado mais um perigo na vigilância da qualidade da água, tendo obtido escore de severidade 2, pois essa característica na água pode ajudar converter o CRL em CRC, que possui menor poder desinfetante que o primeiro, aumentando as chances de proliferação de microrganismos patogênicos na rede e causar agravos a saúde da população. A ocorrência obteve escore 1, pois não houve nenhuma não-conformidade. A detecção recebeu escore 2, por causa da forma como o perigo é percebido como explicado anteriormente. O escore de

abrangência foi 3, pois a água com essa característica chegará a todas as ligações prediais da rede de abastecimento. O cálculo desse perigo atingiu risco 12.

Para o perigo da alta concentração de bactérias heterotróficas na água de abastecimento, o escore de severidade foi 3, embora não sejam patogênicas, formam biofilmes nas tubulações, podendo muitas vezes ocasionar a biodeterioração dos materiais das tubulações e servir de abrigo para microrganismos patogênicos interferindo nos processos de desinfecção. A ocorrência obteve escore 2, pois no universo amostral de 16 análises 2 apresentaram concentração de bactérias heterotróficas acima do que a Portaria 2914/11 do MS recomenda que é de 500 UFC/mL. A detecção foi atribuído escore 3, pois as formas de medição deste indicador requerem métodos mais complexos, necessitando de investimentos, tempo e pessoal especializado. A abrangência recebeu escore 3, pois o perigo chega a todas as ligações prediais afetando diretamente os consumidores. O risco total foi de 54. A Tabela 9 representa o formulário FMEA preenchido.

Tabela 9: Formulário FMEA preenchido.

Perigo	Efeito	Causa	S	O	D	A	R	Medidas Mitigadoras
Baixa Concentração de CRL	Maior probabilidade de presença de organismos patogênicos	Presença de substâncias redutoras, maior distância do ponto de cloração, deficiência na manutenção dos reservatórios e/ou da rede.	3	3	2	3	54	Recloração no reservatório, Manutenção da rede e do reservatório.
Alta Concentração de CRL	Intoxicação (diarreia, alteração da flora intestinal); bronquite; asma; irritação das membranas mucosas; eczemas	Falha na desinfecção	2	1	2	3	12	Utilização de doses ótimas de desinfetante
Alta Turbidez	Aspecto desagradável e diminuição da eficiência da desinfecção	Aumento de sólidos suspensos no manancial, falha na coagulação, floculação, decantação ou filtração.	3	1	2	3	18	Melhorias no processo de tratamento da água

Alta Concentração de CRC	Odor e sabor característicos; irritação das membranas mucosas, dos olhos e da garganta.	Alta concentração de nitrogênio amoniacal ou falta de manutenção na rede de distribuição.	2	1	2	3	12	Remoção de nitrogênio amoniacal ou manutenção da rede
Baixo pH	Corrosão da tubulação	Falha nos processos e operações unitárias da ETA.	1	1	2	3	6	Utilização de substâncias tampão (cal)
Alto pH	Incrustações na tubulação	Falha nos processos e operações unitárias da ETA.	2	1	2	3	12	Correção com ácido
Alta Concentração de Bactérias Heterotróficas	Maior probabilidade de presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, falta de manutenção na rede, grande quantidade de matéria orgânica na água; estagnação na distribuição.	3	2	3	3	54	Melhoria no processo de desinfecção, Manutenção da rede e dos reservatórios de distribuição; Remoção de matéria orgânica na ETA, continuidade da distribuição
Presença de coliformes totais	Maior probabilidade de presença de organismos patogênicos.	Falha na desinfecção; falta de manutenção na rede e nos reservatórios de distribuição, grande quantidade de matéria orgânica na água; estagnação na distribuição.	3	3	3	3	81	Melhoria no processo de desinfecção, Manutenção da rede e dos reservatórios de distribuição; Remoção de matéria orgânica na ETA; continuidade da distribuição

Fonte: adaptado de Ogata 2011.

Por fim para o perigo da presença de coliformes totais, foi atribuído o escore de severidade 3, por este ser um indicador da presença de microrganismos, evidenciando risco a população abastecida pela água. Para ocorrência o escore atribuído foi 3, pois as não-conformidades ocorreram em todas as amostras analisadas. No entanto a presença desse indicador não significa necessariamente contaminação fecal, sendo, porém um forte indicador da degradação da qualidade da água no setor. A detecção obteve escore 3, pelos mesmos motivos analisados

anteriormente para as o perigo da presença de bactérias heterotróficas na água de abastecimento. O escore de abrangência foi 3, pois o perigo da presença de bactérias coliformes totais na água alcança todas as ligações prediais. O resultado do risco foi de 81.

4.2 Importância de cada risco para o setor em estudo

A aplicação do cálculo de soma ponderada descrito na metodologia resultou na Tabela 10 que mostra a porcentagem de influência do risco individual no risco total do setor analisado.

Tabela 10: Resultado da ponderação dos riscos individuais no risco total.

Risco	Resultado do risco	Cálculo da importância	Porcentagem
Baixa Concentração de CRL	54	$54/249 = 0,2169$	21,69%
Alta Concentração de CRL	12	$12/249 = 0,0482$	4,82%
Alta Turbidez	18	$18/249 = 0,0723$	7,23%
Alta Concentração de CRC	12	$12/249 = 0,0482$	4,82%
Baixo pH	6	$6/249 = 0,0241$	2,41%
Alto pH	12	$12/249 = 0,0482$	4,82%
Alta Concentração de Bactérias Heterotróficas	54	$54/249 = 0,2169$	21,69%
Presença de coliformes totais	81	$81/249 = 0,3253$	32,53%
Risco Total	249	$249/249 = 1$	100%

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os riscos mais influentes para o setor em estudo foram referentes à baixa concentração de cloro, alta concentração de bactérias heterotróficas e a presença de coliformes totais, que apresentaram percentuais de 21,69 %, 21,69 % e 32,53 %, respectivamente.

respectivamente. Esses resultados mostram como esses perigos estão intimamente relacionados à probabilidade de presença de agentes patogênicos no sistema.

A alta turbidez também é um fator que está muito ligado a probabilidade de presença de agentes patogênicos, porém no sistema em estudo, esse perigo contribuiu apenas com 7,23%, porque não houve nenhuma desconformidade com a legislação. O valor do risco ainda é percebido pois não existe risco nulo, por isso o valor mínimo atribuído aos escores é 1.

A alta concentração de cloro residual livre, alta concentração de cloro residual combinado, baixo pH e alto pH tiveram pouca influência nos resultados, pois eventos dessa natureza não ocorreram no sistema estudado.

4.3 Resultado do risco total em cada ponto

Aplicando os cálculos descritos na metodologia para quantificar os riscos, com as ponderações e os valores de tendência centrais, foi estimado o risco total para cada ponto de amostragem. Os riscos totais de cada ponto de amostragem são apresentados na Tabela 11. Todos os pontos foram classificados como de risco alto. O que denota a baixa qualidade da água no setor.

Tabela 11: Risco total para todos os indicadores.

PONTO	Media Aritmética	Classificação	Risco		PONTO	Media Aritmética	Classificação	Risco	
			%	Total				%	Total
P1					P2				
CRL	0,01	5	21,69	1,0845	CRL	0,02	5	21,69	1,0845
Turb	0,01	2	7,23	0,1446	Turb	0,35	2	7,23	0,1446
CRC	0,04	2	4,82	0,0964	CRC	0,10	2	4,82	0,0964
pH	7,31	2	4,82	0,0964	pH	7,52	1	4,82	0,0482
C.T	P	5	32,53	1,6265	C.T	P	5	32,53	1,6265
BHF	141	2	21,69	0,4338	BHF	58	2	21,69	0,4338
	Alto			3,4822		Alto			3,4340
P3					P5				
CRL	0,02	5	21,69	1,0845	CRL	0,02	5	21,69	1,0845
Turb	0,44	2	7,23	0,1446	Turb	0,55	2	7,23	0,1446
CRC	0,10	2	4,82	0,0964	CRC	0,10	2	4,82	0,0964
pH	7,59	1	4,82	0,0482	pH	7,49	1	4,82	0,0482
C.T	P	5	32,53	1,6265	C.T	P	5	32,53	1,6265
BHF	-	2	21,69	0,4338	BHF	128	2	21,69	0,4338
	Alto			3,4340		Alto			3,4340

P6					P7				
CRL	0,01	5	21,69	1,0845	CRL	0,01	5	21,69	1,0845
Turb	0,43	2	7,23	0,1446	Turb	0,23	2	7,23	0,1446
CRC	0,05	2	4,82	0,0964	CRC	0,01	2	4,82	0,0964
pH	7,64	1	4,82	0,0482	pH	7,61	1	4,82	0,0482
C.T	P	5	32,53	1,6265	C.T	P	5	32,53	1,6265
BHF	-	2	21,69	0,4338	BHF	-	2	21,69	0,4338
Alto				3,4340	Alto				3,4340
P8					P9				
CRL	0,01	5	21,69	1,0845	CRL	0,02	5	21,69	1,0845
Turb	0,48	2	7,23	0,1446	Turb	0,45	2	7,23	0,1446
CRC	0,10	2	4,82	0,0964	CRC	0,10	2	4,82	0,0964
pH	7,61	1	4,82	0,0482	pH	7,60	1	4,82	0,0482
C.T	P	5	32,53	1,6265	C.T	P	5	32,53	1,6265
BHF	-	2	21,69	0,4338	BHF	-	2	21,69	0,4338
Alto				3,4340	Alto				3,4340
P11									
CRL	0,01	5	21,69	1,0845					
Turb	0,27	2	7,23	0,1446					
CRC	0,03	2	4,82	0,0964					
pH	7,83	1	4,82	0,0482					
C.T	P	5	32,53	1,6265					
BHF	176	3	21,69	0,6507					
Alto				3,6509					

Nota: BHF = bactérias heterotróficas (UFC.mL-1), C.T = coliformes totais, (pH = potencial hidrogeniônico, Turb = turbidez (UT), CRL = cloro residual livre (mg.L-1), CRC = cloro residual combinado (mg.L-1).

Os indicadores coliformes totais, bactérias heterotróficas e cloro residual livre foram os principais responsáveis pelo nível de risco dos pontos analisados, pois houve alta frequência de não conformidades com a Portaria 2914/2011 do MS.

Os pontos P1 e P11 apresentaram riscos totais, um pouco, mais altos que os outros pontos, 3,4822 e 3,6509. Isto ocorreu devido o ponto P1 possuir pH um pouco mais ácido que os demais e o ponto P11 possuir uma maior quantidade de bactérias heterotróficas.

O risco no sistema se distribui de maneira praticamente uniforme. Isso se explica pelo fato do setor ser confinado e pequeno, e também da água já chegar ao reservatório R-2 com sua qualidade degradada. Porém, com a utilização do método da soma ponderada para relacionar os dados coletados com a avaliação de risco, ocorreu um amortecimento dos principais riscos, devido aos indicadores pH, turbidez e CRC, estarem sempre em conformidade com o padrão de potabilidade. Então se fossem levados em conta apenas os principais perigos o risco tenderia à faixa de risco crítica, apesar do amortecimento dos riscos, a situação atual demonstra uma forte degradação da qualidade da água.

5 CONCLUSÕES

Todos os pontos analisados, sem exceção, apresentaram problemas com relação à desinfecção, pois foi verificada uma alta frequência de concentrações nulas de CRL, e 100% das amostras analisadas, situaram-se muito abaixo da concentração mínima exigida pela Portaria MS 2914/11. Isso evidencia uma situação de risco para a saúde da população residente no setor.

Com relação à turbidez em nenhuma das medições o padrão máximo de 5,0 UT estabelecido para toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede) foi ultrapassado, pelo contrário ficando bem abaixo do limite máximo admitido, indicando a conformidade dos valores medidos para esse indicador, segundo a Portaria MS 2914/2011.

Para o indicador CRC, todas as análises também apresentaram resultados bem abaixo do valor máximo permitido que é de 4,0 mg/L, não representando potenciais riscos a saúde dos moradores do setor.

Os resultados das medições de pH também não mostraram grande variação; em todas as análises sempre se mostraram bem homogêneos, ficando sempre dentro dos limites mínimo e máximo estabelecidos pela legislação, os quais são de 6,0 e 9,5 respectivamente para todo o sistema de distribuição.

O setor em estudo, possui características de confinamento, em que toda a água fica estagnada nas tubulações e tem que ser consumida pela população, e associado ao fato das canalizações serem antigas, e em sua grande maioria, constituídas de cimento amianto, poderia resultar na degradação da qualidade da água, porém a água já chega ao reservatório R-2 com sua qualidade comprometida em relação ao CRL, que é o principal agente desinfetante para inativação de possíveis agentes patogênicos na água.

Através da metodologia FMEA, foi identificado que os principais perigos foram a baixa concentração de CRL, a alta concentração de bactérias heterotróficas e a presença de coliformes totais, estando estes indicadores associados a uma maior probabilidade de presença de microrganismos patogênicos na água. O perigo que apresentou maior contribuição para essa classificação foi o da presença de coliformes totais.

Por fim, como medida imediata, para sanar o problema da qualidade da água do setor, seria necessária operação de recloração periódica no reservatório R-2 para garantir as concentrações mínimas exigidas pela legislação. Além disso, faz-se necessária a aplicação de plano de manutenção incluindo limpezas regulares de reservatório, descargas de rede e como medida posterior, a substituição das canalizações antigas de cimento amianto por tubulações de PVC que são menos suscetíveis à fadiga, à corrosão e são mais fáceis e rápidas de serem implantadas.

6 REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218** - Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público, Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ACQUAPLAN. Sistema de abastecimento de água. Cidade de Campina Grande. Volume III – Tomo I, concepção do sistema de distribuição de Campina Grande. Recife, 1979.

ALLEN, M. J.; EDBERG, S. C.; REASONER, D. J.. Heterotrophic plate count bacteria: - what is their significance in drinking water?. **International Journal Of Food Microbiology**. Genebra, p. 265-274. 1 jan. 2004.

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

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). Manual de saneamento. 4.ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006, 408 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e Controle da Qualidade da Água Para Consumo Humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p.

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: Ministério da Saúde, 2006c. 60 p.

BRASIL. **Plano de Segurança da Água: Garantindo a qualidade e promovendo a saúde (Um olhar do SUS)**. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. Brasília – DF, 2012. p.60. Disponível em: < http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/plano_seguranca_agua_qualidade_sus.pdf >. Acesso em: 05 de Fevereiro de 2014.

BRASIL. **Gestão de riscos — Princípios e diretrizes**. NBR ISO 31000. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro – RJ, 2009. p. 32. Disponível em: < <http://gestravp.files.wordpress.com/2013/06/iso31000-gestc3a3o-de-riscos.pdf> >. Acesso em: 05 de fevereiro de 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria 2.914, 12 de Dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Brasília: Ministério da Saúde, 2011. 32 p

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria 518, 25 de Março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.** Brasília: Ministério da Saúde, 2004. 15 p.

BRASIL. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2011.** Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, DF, 2013, 432 p. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=101>>. Acesso em 30 de setembro de 2014.

CLARK, R. M.; HAUGHT, R. C. Charactering Pipe Wall Demand: Implications for Water Quality Modeling. **Journal Of Water Resources Planning And Management.** Cincinnati, p. 208-217. 1 de maio 2005.

DANIEL, L. A. Métodos alternativos de desinfecção da água. In: **Métodos alternativos de desinfecção da água.** PROSAB, 2001.

Disponível em
:<<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=250400&search=||infogr%E1ficos:-informa%E7%F5es-completas>> Acesso em: 15 de Dezembro 2013.

Domingues, V. O., Tavares, G. D., Stuker, F., Michelot, T. M., Reetz, L. G. B., de Mello Bertoncheli, C., & Horner, R. (2007). Contagem de bactérias heterotróficas na água para consumo humano: comparação entre duas metodologias. **Rev. Saúde, Santa Maria**, v.33, n 1, p. 15-19, 2007.

DDTHA - Divisão de Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar e CVE - Centro de Vigilância Epidemiológica. **Doenças Relacionadas à Água ou de Transmissão Hídrica: Perguntas e Respostas e Dados Estatísticos. INFORME TÉCNICO.** Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo – SES/SP, 2009, p.25. Disponível em: <ftp://ftp.cve.saude.sp.gov.br/doc_tec/hidrica/doc/dta09_pergresp.pdf>. Acesso em 20 de Outubro de 2013.

FISCHER, D; GUIMARÃES, L. B. M. **Percepção de risco e perigo: um estudo qualitativo.** In: Congresso Brasileiro de Ergonomia–ABERGO. 2002.

GOOGLE. **GOOGLE EARTH.** Imagens do ano de 2013. Acesso em 15 de Dezembro.

GUILHERME, L. R. G. FUNDAMENTOS DA ANÁLISE DE RISCO. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, Minas Gerais, n-34, p.44-45. jan.2005.

GUIMARÃES, R. M. **Ocorrência de cloro residual combinado no sistema de distribuição de água de Campina Grande (PB)**. Campina Grande - PB: UFCG, 2010. 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande. 2010.

HELBLING, D. E.; VanBriesen, J. M. **Free Chlorine Demand and Cell Survival of Microbial Suspensions**. Water Research, Pittsburgh, PA, p. 4424-4434. 2007.

Highway, J. D. **AMIANTO NA ÁGUA: Sem Representar Risco à Saúde**. p. 1 - 4, 1994. Disponível em: <
www.crisotilabrazil.org.br/site/uploads/Amianto%20na%20agua%20-%20Inst.%20do%20Canada.pdf>. Acesso em: 18 de setembro de 2013.

JANUÁRIO, P. B. **Análise de Conformidade de Indicadores Sentinelas da Qualidade da Água de Abastecimento de Campina Grande – PB**. 2013. 72 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2013.

LECHEVALLIER, M. W. **Conditions favouring coliform and HPC bacterial growth in drinking water and on water contact surfaces**. Heterotrophic Plate Count Measurement in Drinking Water Safety Management. Geneva, World Health Organization, p. 177-198, 2003.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 2ed. Campinas: Átomo, 2008.

MENESES, R. A. **Diagnóstico Operacional de Sistemas de Abastecimento de Água: O Caso de Campina Grande**. 2011. 161 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2011.

OGATA, I. S. **Avaliação de Risco da Qualidade da Água Potável do Sistema de Abastecimento da Cidade de Campina Grande (PB)**. Campina Grande – PB: UEPB, 2011. 67 p. Monografia (Trabalho Acadêmico Orientado em Engenharia Sanitária e Ambiental). 2011.

QUIROS, F. Ramirez. **Desinfección del agua con cloro y cloraminas**. Técnica Industrial, v. 260, p. 55, 2005.

RAZZOLINI, M. T. P; NARDOCCI, A. C. **AVALIAÇÃO DE RISCO MICROBIOLÓGICO: ETAPAS E SUA APLICAÇÃO NA ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA.** *Interfacehs: Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente*, São Paulo, v. 1, p.1-12, 29 set. 2006.

Rodrigues, A.B. **Avaliação de risco da qualidade da água de abastecimento de um hospital público regional de urgência e emergência e emergência.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2014.

SANTOS, S. G. **Distribuição Espacial de Bactérias Heterotróficas na Rede de Distribuição de Água de Campina Grande – PB.** 2011. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2011.

SAWYER, C. N.; MCCARTY, P. L.; PARKIN, G. F. **Chemistry for environmental engineering and science.** 5 ed. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2003. 768 p.

STAMATIS, D. H. **Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution.** 2 ed. Milwaukee, American Society for Quality, 2003. 459 p.

TOLEDO, J. C.; AMARAL, D. C. **FMEA – Análise do Tipo e Efeito de Falha.** São Carlos: UFSCar. 2006.

USEPA – United States. Environmental Protection Agency EPA-815-R-99-014. **Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual.** Washington, 1999. 346p.

VLASTA, Molak. **Fundamentals of Risk Analysis and Risk Management.** 1996.

WANG, D.; Cullimore, R.; Hu, Y.; Chowdhury, R. **Biodeterioration of asbestos (AC) Pipe in Drinking Water Distribution Systems,** *International Biodeterioration & Biodegradation*, Wascana Parkway, Regina, Canadá, p.810-817. 2011.

WHO. **Guidelines for drinking-water quality: Asbestos in drinking-water quality.** Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva, World Health Organization, 2003.

WHO. **Guidelines for drinking-water quality: recommendations [electronic resource]** : incorporating first addendum. Vol. 1, Recommendations. – 3rd ed. World Health Organization, 2006.

APÊNDICE A – Formulário FMEA

Perigo	Efeito	Causa	S	O	D	A	R	Medidas Mitigadoras
Baixa Concentração de CRL	Maior probabilidade de presença de organismos patogênicos	Presença de substâncias redutoras, maior distância do ponto de cloração, deficiência na manutenção dos reservatórios e/ou da rede.						Recloração no reservatório, Manutenção da rede e do reservatório.
Alta Concentração de CRL	Intoxicação (diarreia, alteração da flora intestinal); bronquite; asma; irritação das membranas mucosas; eczemas	Falha na desinfecção						Utilização de doses ótimas de desinfetante
Alta Turbidez	Aspecto desagradável e diminuição da eficiência da desinfecção	Aumento de sólidos suspensos no manancial, falha na coagulação, floculação, decantação ou filtração.						Melhorias no processo de tratamento da água
Alta Concentração de CRC	Odor e sabor característicos; irritação das membranas mucosas, dos olhos e da garganta.	Alta concentração de nitrogênio amoniacal ou falta de manutenção na rede de distribuição.						Remoção de nitrogênio amoniacal ou manutenção da rede
Baixo pH	Corrosão da tubulação	Falha nos processos e operações unitárias da ETA.						Utilização de substâncias tampão (cal)
Alto pH	Incrustações na tubulação	Falha nos processos e operações unitárias da ETA.						Correção com ácido
Alta Concentração de Bactérias Heterotróficas	Maior probabilidade de presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, falta de manutenção na rede, grande quantidade de matéria orgânica na água; estagnação na distribuição.						Melhoria no processo de desinfecção, Manutenção da rede e dos reservatórios de distribuição; Remoção de matéria

								orgânica na ETA, continuidade da distribuição
Presença de coliformes totais	Maior probabilidade de presença de organismos patogênicos.	Falha na desinfecção; falta de manutenção na rede e nos reservatórios de distribuição, grande quantidade de matéria orgânica na água; estagnação na distribuição.						Melhoria no processo de desinfecção, Manutenção da rede e dos reservatórios de distribuição; Remoção de matéria orgânica na ETA; continuidade da distribuição

Fonte: Adaptado de Rodrigues 2014.

APÊNDICE B – Tabela de escore

Escore para Severidade		
Severidade do perigo		Classificação
Alta	Substância causa efeitos severos e/ou agudos à saúde humana, apresentam características de corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.	3
Moderada	Substâncias causa efeitos leves, moderados e/ou crônicos (irritações ou alergias), com longo tempo de decomposição.	2
Baixa	Não causa efeitos negativos a saúde humana e possuem curto tempo de decomposição.	1
Escore para Ocorrência		
Ocorrência do perigo		Classificação
Alta	Ocorrência de 5% a 100% de não conformidades	3
Moderada	Ocorre não- conformidade em até 5% das amostras analisadas	2
Baixa	Não existe não- conformidade	1
Escore para Detecção		
Detecção do perigo		Classificação
Alta	Para detectar o perigo é necessária a utilização de tecnologias sofisticadas e custosas (financeiramente e temporalmente).	3
Moderada	O perigo é percebido com a utilização de medições simples. (titulações, pHmetros, turbidímetros, entre outros).	2
Baixa	O perigo pode ser percebido a olho nu.	1
Escore para Abrangência		
Abrangência da não-conformidade		Classificação
Alta	A não-conformidade alcança áreas além do sistema de abastecimento de água (até as ligações prediais).	3
Moderada	A não-conformidade alcança até os limites do sistema de abastecimento e água (nas proximidades dos reservatórios e pontos de manutenção da qualidade da água)	2
Baixa	A não-conformidade alcança apenas o local onde e realizada a potabilização da água (na ETA).	1

Fonte: Rodrigues 2014.