



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE**

ALESCA BARBOSA RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DE RISCO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO DE
UM HOSPITAL PÚBLICO REGIONAL DE URGÊNCIA E EMERGÊNCIA**

Campina Grande - PB
Fevereiro 2014

ALESCA BARBOSA RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DE RISCO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO DE
UM HOSPITAL PÚBLICO REGIONAL DE URGÊNCIA E EMERGÊNCIA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Curso de Pós-Graduação em Engenharia
Civil e Ambiental da Universidade Federal
de Campina Grande – UFCG, em
cumprimento às exigências para obtenção
do Título de Mestre.

Área de concentração: Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária

Orientadores: Profa. Dra. Celeide Maria Belmont Sabino Meira

Prof. Dr. Rui de Oliveira

Campina Grande - PB
Fevereiro 2014

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA
UFCG**

**AVALIAÇÃO DE RISCO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO DE
UM HOSPITAL PÚBLICO REGIONAL DE URGÊNCIA E EMERGÊNCIA**

Dissertação aprovada em: ____/____/____

COMISSÃO EXAMINADORA

Profa. Dra. Celeide Maria Belmont Sabino Meira
Orientadora

Prof. Dr. Rui de Oliveira
Orientador

Profa. Dra. Mônica de Amorim Coura
Examinadora Interna

Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde Junior.
Examinador Externo

Dedico este trabalho a vocês que sempre me fizeram acreditar na realização dos meus sonhos e trabalharam muito para que eu pudesse realizá-los, meus pais, Lucielma e Antônio. A você Igor, meu amor, companheiro neste período, que sempre me apoiou nas horas difíceis e compartilhou comigo as alegrias.

AGRADECIMENTOS

A Deus que engenhou todos os momentos da minha vida e em um de seus traços me colocou aqui.

Agradeço, especialmente, à minha família, pelo apoio para que eu concretizasse essa pesquisa: minha mãe e meu pai, que foram incansáveis; a meus irmãos, Romário e Rodrigo, pelo apoio e carinho; a minha sobrinha, Ryanna, por todos os momentos de encantamento e sorriso sincero; aos meus tios pelo incentivo; as minhas avós pelo amor incondicional e a minhas primas, Andressa e Maria Eduarda, companheiras nos momentos de descontração. Todos os meus esforços são pensando em vocês.

A Igor, primeiro por aguentar quando eu estou brava, com ciúmes, chata, insuportável. Obrigada por me entender, me respeitar. Obrigada por criar tantos momentos especiais pra mim. Obrigada por entrar na minha vida, ter me permitido conhecer sentimentos que até então eu não conhecia. Obrigada por ser a pessoa que você é, que me faz querer ser melhor todos os dias. Obrigada por me mostrar que a vida pode ser muito melhor ao lado de alguém que a gente ama.

A vovó Carminha e toda sua família, que por tantas vezes me recebeu na sua casa, dando carinho e cuidados. São pessoas admiráveis e que eu já amo muito.

A Samir, meu amigo querido, irmão postiço, por todos os conselhos, apoio, carinho e momentos de alegria.

Aos amigos Cayo, Juscelino, Cassio e Emanuel, pois nesse meio aprendi o valor da amizade, aprendi a refletir e jamais pensar que a vida é fácil. Obrigada por ficarem revezando pra cuidar de mim quando eu estava doente.

Aos anjos que Deus colocou na minha vida, Andreza, Arthur, Gigliolly, Amanda, Rennan, Ítalo, Adriano e Lucas, fundamentais na realização das análises. Pessoas que até então não faziam parte da mesma estrada que eu, mas que agora espero que permaneçam por muito tempo.

Aos colegas e professores do mestrado, por tudo o que com eles aprendi e por partilharem a construção do meu estudo, valeram os momentos de conversas, discussões e distrações.

À direção do Hospital de Trauma por ter concedido a realização desta pesquisa; e aos funcionários que sempre nos ajudaram. Foram momentos muito felizes, aqueles que passamos ali.

Aos meus orientadores professora Celeide e professor Rui, vocês me mostraram, a cada momento, compreensão, luta, paciência, inteligência, e acima de tudo, dedicação e conhecimento, não somente o conhecimento técnico como também sabedoria humana.

À CAPES pelo apoio financeiro concedido ao longo do Mestrado.

Sou grata a todos que de uma maneira ou de outra, por pouco ou por muito, tenham feito parte da minha vida um dia. E sou mais grata ainda aos que fazem, aos que sei que farão sempre.

RESUMO

O presente trabalho tem o objetivo de contribuir para as ações de vigilância da qualidade da água do sistema de abastecimento do Hospital Dom Luiz Gonzaga Fernandes localizado na cidade de Campina Grande-PB, através da utilização de uma metodologia de análise de risco. Foram escolhidos quatorze pontos de amostragem (P0, P1, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12 e P13), tendo sido analisados os indicadores cloro residual livre (CRL), cloro residual combinado (CRC), turbidez, pH, bactérias heterotróficas e coliformes totais no período de março a junho de 2013. Foi então aplicado o método Análise do Modo e Efeito de Falhas (FMEA) para definir os riscos do sistema de abastecimento e classificá-los quanto à sua importância. Posteriormente, foi empregado o método da média aritmética para estimar o risco total de cada ponto de amostragem, baseado na importância dos riscos listados e nos valores da média dos indicadores analisados. Um mapa foi gerado para representar melhor a distribuição do risco no sistema de abastecimento de água do hospital. Todos os pontos foram classificados como de risco alto. Os perigos mais influentes na categorização de risco foram baixa concentração de CRL, alta concentração de bactérias heterotróficas e presença de coliformes totais.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de risco. Metodologia FMEA. Qualidade da água em hospital.

ABSTRACT

This work aims contribute for surveillance water quality's measures for the supply system of Dom Luiz Gonzaga Fernandes Hospital, located in the Campina Grande city, Paraíba state, Brazil, through of the risk analysis methodology. Fourteen sampling points were chosen (P0, P1, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12 e P13), have been analyzed the indicators free residual chlorine (FRC), combined residual chlorine (CRC), turbidity, pH, total coliform and heterotrophic bacteria on the period of March to June 2013. Therefore was applied the method of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) defining the risks of the supply system and categorize them in terms of their importance. Subsequently, it was employed the method of arithmetic mean for estimate the total risk of each sampling point , based on the importance of the risks listed and the values of mean of the indicators analyzed. A map was created to better represent the distribution of risks at the hospital water supply system. All sampling points were classified as high risk. The most influential hazards in the categorization of risk were the low concentration of CRL, high concentration of heterotrophic bacteria and the presence of total coliforms.

KEYWORDS: Risk Analysis. FMEA Methodology. Water quality in hospital.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1-	Estrutura indicada para segurança da água para consumo humano	20
Figura 2.2-	Esquema geral de um Plano de Segurança da água	23
Figura 2.3-	Surtos de doenças relacionados com a água em sistemas de abastecimento comunitários nos Estados Unidos	36
Figura 2.4-	Vias de transmissão e exemplos de agentes patogênicos relacionados à água	37
Figura 3.1-	Localização de Campina Grande no estado da Paraíba	45
Figura 3.2-	Detalhes do “Castelo d’água”, conjunto de reservatórios do Hospital de Trauma	49
Figura 3.3-	Rede geral de distribuição de água do hospital de Trauma	50
Figura 3.4-	Coleta (a) e laboratório montado in loco para as análises físico-químicas (b)	52
Figura 3.5-	Coletas: a) Esterilização das torneiras e b). Momento da coleta	53
Figura 3.6-	Equipamentos Colorímetro microprocessador de leitura direta modelo Aquacolor Cloro (a) e Turbidímetro TECNOPON modelo TB-1000 (b).	54
Figura 3.7-	pH-metro portátil TECNOPON modelo PA210 P (a) e Membranas Filtrantes	54
Figura 3.8-	Leitura das placas no contador de colônias	55
Figura 4.1-	Representação GT-2 para CRL (a), turbidez (b), CRC (c), pH(d) e bactérias heterotróficas (e)	57
Figura 4.2-	Classificação para os parâmetros CRL (padrão mínimo), CRL (padrão máximo), Turbidez, CRC, pH (padrão mínimo), pH (padrão máximo) e Bactérias Heterotróficas.	59
Figura 5.1-	Mapa de risco da qualidade da água referente ao grupo 1	79
Figura 5.2-	Mapa de risco da qualidade da água referente ao grupo 2 do Pavimento Térreo e 1º Pavimento	80
Figura 5.3-	Mapa de risco da qualidade da água referente ao grupo 2 do 2º pavimento	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1-	Definições de risco	26
Tabela 2.2-	Formulário de registo de identificação de perigos	30
Tabela 2.3-	Simbologia utilizada no método Árvore de falhas	32
Tabela 2.4-	Estudos que indicam a falta qualidade da agua como causa de infecções hospitalares (considerando apenas água de torneiras e reservatórios dos hospitais)	40
Tabela 3.1-	Distribuição do número de leitos no Hospital de Trauma	47
Tabela 3.2-	Quantitativo de funcionários do Hospital de Trauma	48
Tabela 3.3-	Pontos de coleta	51
Tabela 4.1-	Resultados para o grupo coliformes totais	60
Tabela 4.2-	Classificação do risco total para os Grupos 1 e 2	64
Tabela 5.1-	Estatística descritiva e frequência de conformidades e não-conformidades de indicadores sentinelas da qualidade da água para os pontos P0, P1, P2, P3 e P4	65
Tabela 5.2-	Estatística descritiva e frequência de conformidades e não-conformidades de indicadores sentinelas da qualidade da água nos pontos P5, P6, P7, P8 e P9	66
Tabela 5.3-	Estatística descritiva e frequência de conformidades e não-conformidades de indicadores sentinelas da qualidade da água para os pontos P10, P11, P12 e P13	67
Tabela 5.4-	Resumo das medidas de tendência central e classificação dos parâmetros para os pontos P0, P1, P2 e P3	68
Tabela 5.5-	Resumo das medidas de tendência central e classificação dos parâmetros para os pontos P4, P5, P6, P7, P8,P9,P10, P11, P12 e P13	69
Tabela 5.6-	Formulário FMEA preenchido para o grupo 1	72
Tabela 5.7-	Resultado da ponderação dos riscos individuais no risco total para o grupo 1	73
Tabela 5.8-	Formulário FMEA preenchido para o grupo 2	76
Tabela 5.9-	Resultado da ponderação dos riscos individuais no risco total para o grupo 2	77
Tabela 5.10-	Risco total do sistema de abastecimento de água de cada ponto de amostragem	78

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVO GERAL.....	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2.1 ÁGUA - IMPORTÂNCIA E ALGUMAS DEFINIÇÕES	16
2.2 ESTRUTURA PARA SEGURANÇA DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO	18
2.2.1 METAS BASEADAS NOS RISCOS À SAÚDE.....	20
2.2.2 PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA (PSA).....	21
2.2.3 VIGILÂNCIA E CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO	24
2.3 CONCEITOS DE RISCO.....	25
2.4 SAÚDE AMBIENTAL E RISCO.....	26
2.5 ANÁLISE DE RISCO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	27
2.6 TÉCNICAS USADAS NA AVALIAÇÃO DE RISCO.....	29
2.6.1 <i>WHAT-IF (WI)</i>	29
2.6.2 <i>LISTA DE VERIFICAÇÃO (CHECKLIST)</i>	30
2.6.3 <i>ANÁLISE PRELIMINAR DE PERIGOS (APP)</i>	31
2.6.4 <i>ANÁLISE DE OPERABILIDADE E PERIGOS (SIGLA EM INGLÊS, HAZOP)</i>	31
2.6.5 <i>ÁRVORE DE FALHAS (FTA)</i>	31
2.6.6 <i>FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA)</i>	32
2.7 O ABASTECIMENTO DE ÁGUA COMO FATOR DE RISCO	33
2.8 O ABASTECIMENTO DE ÁGUA COMO FATOR DE RISCO EM HOSPITAIS	39
2.9 PARÂMETROS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS USADOS NO CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA.....	41
2.9.1 <i>CRL</i>	41
2.9.2 <i>TURBIDEZ</i>	42
2.9.3 <i>CRC</i>	42
2.9.4 <i>PH</i>	43
2.9.5 <i>BACTÉRIAS HETEROTRÓFICAS</i>	43
2.9.6 <i>COLIFORMES TOTAIS</i>	44
3.1 DESCRIÇÃO DO MUNICÍPIO	45
3.2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE CAMPINA GRANDE	46
3.3 DESCRIÇÃO DO HOSPITAL DE TRAUMA	47
3.4 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO HOSPITAL DE TRAUMA.....	48
3.5 PROCEDIMENTOS UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA	50
3.5.1 <i>PONTOS DE COLETA</i>	51
3.5.2 <i>METODOLOGIA DE COLETA E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS</i>	51
3.5.3 <i>MÉTODOS ANALÍTICOS</i>	53

3.5.3.1 CRL E CRC	53
3.5.3.2 TURBIDEZ	54
3.5.3.3 PH	54
3.5.3.4 COLIFORMES TOTAIS	54
3.5.3.5 BACTÉRIAS HETEROTRÓFICAS	55
4.0 ANÁLISE DOS DADOS	56
4.1 AVALIAÇÃO DE RISCO	60
4.1.1 ANÁLISE DAS FALHAS EM POTENCIAL (CONSTRUÇÃO DO FORMULÁRIO FMEA E TABELA DE ESCORES)	60
4.1.2 - SOMA PONDERADA DOS RISCOS	62
4.1.3 - CÁLCULO DO RISCO TOTAL	63
5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
5.1 FORMULÁRIO FMEA PARA O GRUPO1	69
5.2 IMPORTÂNCIA DE CADA RISCO PARA O GRUPO 1	73
5.3 FORMULÁRIO FMEA PARA O GRUPO 2	74
5.4 IMPORTÂNCIA DE CADA RISCO PARA O GRUPO 2	77
5.5 MAPA DE RISCO	78
6.0 CONCLUSÕES	83
7.0 RECOMENDAÇÕES	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
APÊNDICE A –FORMULÁRIO FMEA	92
APÊNDICE B – TABELA DE ESCORE	94
ANEXO A – TABELA DE ESCORE PARA UM FMEA APLICADO AO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE CAMPINA GRANDE-PB	95

1.0 INTRODUÇÃO

A água constitui, atualmente, uma das principais preocupações mundiais no que diz respeito à manutenção de sua qualidade, despertando a atenção das autoridades sanitárias para os impactos do abastecimento sobre a saúde pública. Sendo assim, atualmente, não é apenas suficiente disponibilizar água em quantidade e pressão adequada, mas a sua qualidade também possui uma grande importância para todos os agentes envolvidos.

Devido à relação entre qualidade da água e a ocorrência de doenças, a distribuição de água segura para consumo humano, que atenda aos padrões de potabilidade e que não ofereça risco à saúde, é fundamental para a manutenção da saúde da população.

Visando assegurar esse direito, os sistemas de abastecimento de água, compostos em geral por unidades de captação, tratamento, reservação e distribuição até o ramal predial desempenham papel fundamental no suprimento de água potável. No entanto, a água está sujeita a ameaças desde o seu ponto de captação até o ponto de consumo, que podem comprometer, em diversos graus, a qualidade da água fornecida ao consumidor e originar riscos para a saúde pública.

As ameaças podem estar associadas à deterioração da qualidade da água, seja no manancial, por ação antrópica ou natural, ou no interior do sistema por pressão negativa na rede, vazamentos nas tubulações, penetração de contaminantes, problemas operacionais na estação de tratamento, ausência ou negligência de manutenção, entre outros. Nas instalações prediais essa degradação tende a se elevar pela precariedade das instalações hidráulico-sanitárias, pela falta de manutenção dos reservatórios e, principalmente, a falta de orientação e informação aos usuários. Em hospitais e outras instituições públicas, comumente servidas por reservatórios de acumulação de água, a fim de manter a continuidade de seu abastecimento, essa problemática está, especialmente, associada à ineficiência do sistema de gestão na proteção da qualidade da água, sobretudo no não cumprimento das manutenções.

Desta forma, é crescente a necessidade da adoção de uma postura preventiva com relação à qualidade da água. Já é realidade, em nosso país, a adoção da vigilância da qualidade da água destinada ao consumo humano, que

pressupõe uma avaliação frequente e continuada, objetivando a identificação de riscos potenciais à saúde humana, com vistas a possibilitar formas de intervenção. Para essa postura preventiva, a definição de indicadores para monitoração é fundamental, esses devem exprimir a situação da água de maneira ágil, barata e representativa, possibilitando a ação preventiva.

A monitoração resulta em uma grande quantidade de dados, sendo necessária a aplicação de métodos que resumam os resultados obtidos a fim de gerar informação. Um bom exemplo de método para sintetizar os dados é a análise de risco, o qual engloba a avaliação, o gerenciamento e a comunicação de risco.

A proposta deste trabalho, fundada na análise de risco da qualidade da água de abastecimento de uma unidade hospitalar de urgência e emergência, faz parte de um conjunto maior de estudos sobre salubridade, risco e conforto ambiental dessa unidade que atende grupos populacionais de risco na cidade de Campina Grande-PB.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os aspectos qualitativos da água de abastecimento de um Hospital Público Regional de Urgência e Emergência, na cidade de Campina Grande, estado da Paraíba.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a qualidade da água de abastecimento nas instalações internas e externas do hospital;
- Caracterizar o sistema de reservação e a forma de manutenção;
- Verificar o grau de conformidade da qualidade de água analisada com o padrão de potabilidade;
- Fazer avaliação de risco para identificar e quantificar os perigos inerentes à água consumida;
- Caracterizar e mapear as áreas de risco do hospital.

2.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Água - importância e algumas definições

A água é um dos recursos mais abundantes e importantes para a vida humana, o desenvolvimento e o meio ambiente. No entanto, no final do século XIX e início do século XX, surge uma nova preocupação, pois não basta que as populações apenas disponham de água, é necessário também que essa água se caracterize por um mínimo de qualidade; pois a saúde pública requer água potável e segura (OLIVEIRA; TERRA, 2004; MATTOS; SILVA, 2002; DANTAS et al., 2010).

Registros do Ministério da Saúde apontam que a atenção das autoridades de saúde do Brasil sobre a qualidade da água para consumo humano surgiu a partir da década de 1920, com a criação do Departamento Nacional de Saúde Pública (DNSP). Ele foi instituído pelo Decreto-Lei nº 3.987, marcando a fase de reorganização dos serviços de saúde do país, tido como base no que, então se denominava “Reforma Carlos Chagas”.

Algumas décadas depois, o Governo Federal estabeleceu normas mais abrangentes sobre defesa e proteção à saúde, ao promulgar o Código Nacional de Saúde, por meio do Decreto nº 49.974/1961, que regulamentou a Lei nº 2.314/1954. Este Código incorporou novos objetos à área de abrangência do que, hoje, se denomina vigilância sanitária, entre elas o saneamento e a proteção ambiental. É nele que possivelmente aparece pela primeira vez o termo “risco” na legislação sanitária.

Na década de 1970 foi quando se atribuiu competência ao Ministério da Saúde para elaborar normas e o padrão de potabilidade de água para consumo humano, isto se deu pelo Decreto Federal 79.367/1977; foi com base neste Decreto que o Ministério da Saúde elaborou e aprovou uma série de legislações referentes à água para consumo humano. Ao longo dos anos, sucedem-se padrões de potabilidade progressivamente mais restritos - em termos de crescente número de parâmetros e dos limites aos mesmos relacionados.

Segundo Moreno (2009), a água destinada ao abastecimento da comunidade deve possuir características que a tornem agradável ao consumo humano. Para tanto, esta não deve ser quimicamente pura, pois a água carente de

matéria dissolvida e em suspensão não tem sabor e odor agradáveis, além do mais, a presença de certos minerais na água é essencial à saúde e, por esse motivo, algumas águas são consideradas mais saudáveis que outras. Branco (1991) afirma que a expressão “qualidade da água” não se refere a um grau de pureza absoluto ou mesmo próximo do absoluto, mas sim a um padrão tão próximo quanto possível do “natural”, antes do contato com o homem. Além disso, há um grau de pureza desejável, o qual depende do uso que dela será feito.

Gray (2008) alega que a água para consumo humano não deve conter grandes teores de cor, material suspenso, turbidez, e devem estar ausentes, agentes patogênicos, dureza, sabor e odor e produtos perigosos, sendo assim:

- Palatável - não possui gosto desagradável;
- Segura- não possuir organismos patogênicos ou substâncias que sejam nocivas ao consumidor;
- Límpida - água livre de material suspenso e turbidez;
- Livre de cor e odor - ter aparência não objetável;
- Razoavelmente branda - que permita o uso do mínimo possível de detergentes e/ou sabão;
- Não corrosiva - a água não deve possuir características de corrosividade à tubulação ou promover a lixiviação de metais das tubulações ou reservatórios;
- Possuir baixa concentração de matéria orgânica – a alta concentração de matéria orgânica desencadeia a proliferação de microrganismos, afetando a qualidade da água.

Nos últimos anos, tem-se assistido a uma evolução do conceito de água potável, para água segura e de qualidade; este progresso resulta do fato de existir um maior conhecimento, um aumento das ameaças, a necessidade de melhor proteger a saúde pública e garantir a segurança humana, assim como garantir a satisfação e aumentar a confiança dos consumidores na água que consomem (IWA, 2004; WHO, 2004; ALEXANDRE, 2008).

Em 1990, a Portaria nº 36/GM estabelecia que água potável era aquela com qualidade adequada ao consumo humano (BRASIL, 1990, p.1). Moreno (2009) indica que essa Portaria tinha por base a definição e cumprimento aos padrões de

potabilidade através de monitoramento e que apresentava sérias lacunas quanto à disposição de critérios e procedimentos complementares.

Embora a Portaria GM nº 36/1990 representasse um avanço em relação à legislação anterior (Portaria nº 56 BSB/1977), as exigências de qualidade de água evoluíram e prosseguem acompanhando os avanços do conhecimento técnico - científico de forma contínua, sendo necessárias as reformulações. A revisão da Portaria GM nº 36/1990 se deu a fim de constituí-la um instrumento efetivo de proteção à saúde, tendo como princípio norteador a premissa epidemiológica de que a adoção de limites de presença de substâncias e organismos potencialmente nocivos à saúde humana na água consumida, embora necessária, não é suficiente para garantir a desejável proteção à saúde (BRASIL, 2005b).

A definição dada à água potável nas sucessivas Portarias nº 1469 de 29 de dezembro de 2000, a nº 518, de 25 de março de 2004 e a atualmente vigente nº 2914 de dezembro de 2011, leva em consideração não somente o atendimento ao padrão de potabilidade, mas também que a água seja produzida e distribuída de forma que não implique em riscos à saúde humana. Assim é firmado o conceito de água segura, definida pela OMS como aquela que não representa risco para saúde se consumida durante toda a vida, independente da susceptibilidade do indivíduo. As crianças, idosos e pessoas imunocomprometidas, ou expostas a condições insalubres, são as que mais estão susceptíveis a adquirir doenças relacionadas ao consumo de água. Cabe à sociedade, como um todo, avaliar o que deve ser considerado como risco tolerável em determinada situação.

Sendo a água elemento fundamental na promoção da saúde e do bem estar das populações, “todas as pessoas, em quaisquer estágios de desenvolvimento e condições socioeconômicas têm o direito de ter acesso a um suprimento adequado de água potável e segura”, “segura”, neste contexto, refere-se a uma oferta de água que não representa risco à saúde, que é de quantidade suficiente para atender a todas as necessidades domésticas, que está disponível continuamente e que tenha um custo acessível (OPS, 2001b.).

2.2 Estrutura para segurança da água para consumo humano

A crescente preocupação, a nível mundial, com a segurança humana e a proteção da saúde pública, tem determinado o desenvolvimento contínuo de

políticas e estratégias por parte dos governos e das organizações internacionais, relacionadas com o abastecimento de água para consumo humano, que visam melhorar o serviço prestado e a qualidade da água fornecida às populações, tendo em consideração os novos desafios que surgem relacionados com a segurança ambiental, a segurança hídrica, o desenvolvimento socioeconômico, o crescimento populacional, e a necessidade de garantir a segurança e a satisfação dos consumidores, que têm se tornado cada vez mais exigentes.

Garantir a qualidade da água para consumo humano fornecida por um sistema de abastecimento público constitui elemento essencial das políticas de saúde pública. Até finais do século XIX, a avaliação e o controle de riscos para a saúde humana por transmissão de doenças provocadas por consumo de água eram realizados de forma empírica, confiando-se primordialmente na aparência física da água. Atendendo ao fato de existirem vários contaminantes químicos e biológicos que podem ser encontrados na água para consumo humano, cuja proveniência pode ser da água captada ou do sistema de abastecimento de água, e alguns dos quais podem ter efeitos adversos na saúde dos consumidores, é fundamental estudar a natureza e/ou origem de uma possível contaminação, a forma como esta pode entrar no sistema de abastecimento de água e desenvolver estratégias visando o fornecimento de água segura para o consumo humano (WHO 2005; VIEIRA, 2010).

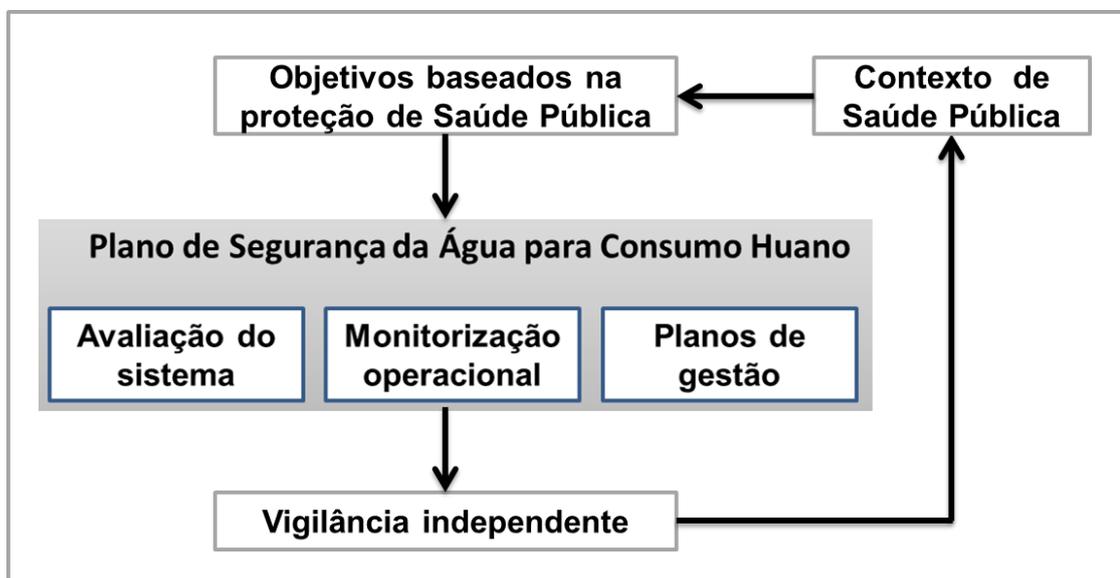
O fornecimento, em segurança, de água para consumo humano é conseguido de uma forma mais efetiva se for aplicado um processo de gestão de riscos aos sistemas de abastecimento de água, desde a origem até o consumidor final (Figura 2.1), nomeadamente:

- Estabelecimento de objetivos para a qualidade da água destinada ao consumo humano, com base em considerações de saúde;
- Avaliação do sistema "com vista a assegurar que o sistema de abastecimento de água, como um todo (da fonte até à torneira do consumidor, passando pelo tratamento), fornece água com uma qualidade que cumpre com os objetivos estabelecidos. Também inclui a avaliação de critérios de projeto para novos sistemas";
- Identificação de medidas de controle "que garantam, de forma global, o controle dos riscos detectados e que assegurem que sejam alcançados os objetivos de qualidade da água, na perspectiva de saúde pública". Esta componente inclui a

metodologia de avaliação e gestão de riscos e assegura a percepção das capacidades e limites das barreiras múltiplas que compõem o sistema. Envolve os aspectos de monitoração operacional;

- Preparação de planos de gestão "que descrevem as ações a tomar em casos de operação de rotina ou em caso de condições excepcionais e documentam a avaliação e monitoração do sistema". Esta componente inclui a elaboração dos planos de monitoração e comunicação, bem como os respectivos programas de suporte.

Figura 2.1 – Estrutura indicada para segurança da água para consumo humano



Fonte: Adaptado de WHO, 2004; Vieira et al., 2005

2.2.1 Metas baseadas nos riscos à saúde

O estabelecimento de metas de saúde, que devem ser incluídas nas políticas de saúde pública, é um componente fundamental na estrutura de segurança da água para consumo humano (WHO, 2011). Estas metas têm como objetivo nortear a determinação de ações específicas para distribuição segura de água para consumo humano, incluindo medidas de controle, tais como proteção do sistema e processos de tratamento. Na determinação das metas devem ser levadas em consideração a associação entre a ocorrência de doenças e a vulnerabilidade do sistema de abastecimento de água para consumo humano. Seu estabelecimento é responsabilidade de autoridades nacionais (normalmente aquelas que se ocupam da

saúde pública), com consulta prévia a outros membros, dentre eles, os responsáveis pelo sistema e a comunidade, e devem conduzir à melhoria do estado da saúde pública de uma população, tendo em consideração as circunstâncias locais, incluindo as condições econômicas, ambientais, sociais, culturais, tecnológicas e institucionais.

Moreno (2009) alerta que, no estabelecimento de metas de saúde, é necessário considerar a situação da saúde pública em geral e a contribuição que a qualidade da água produzirá no controle de doenças relacionadas ao consumo de água.

2.2.2 Plano de Segurança da Água (PSA)

A OMS (WHO, 2004) apresenta um conjunto de recomendações para assegurar a qualidade da água, visando garantir o abastecimento de água segura à população e a proteção da saúde pública e uma metodologia de gestão preventiva dos riscos, designada “Plano de Segurança da Água” (PSA), para implementação pelas entidades gestoras de água. Estas recomendações podem ser transpostas para normas nacionais ou regionais, os governos, pelo poder que lhes é conferido, são responsáveis pelo estabelecimento do quadro legal e institucional para o abastecimento de água destinada ao consumo humano, que poderá ser mais exigente através da redefinição de critérios de qualidade da água que garantam que a população consuma água segura, tendo em consideração o contexto envolvente do respectivo país, reforçando desta forma a confiança dos consumidores (IRAR, 2005; WHO, 2011).

Estes planos incorporam uma abordagem de avaliação e gestão de riscos em todas as etapas do sistema de abastecimento de água para consumo humano, desde a captação da água até a torneira do consumidor, propondo a mudança de abordagem de um processo de monitoração de conformidade de “fim-de-linha” para um processo de gestão de segurança, assegurando, assim, a segurança sanitária da água abastecida (VIEIRA et al., 2005). Esta metodologia considera que as ameaças, com risco potencial para a saúde pública, podem ocorrer em qualquer ponto do sistema de abastecimento de água, incluindo a fonte de água bruta, o tratamento, a distribuição e as redes domiciliares.

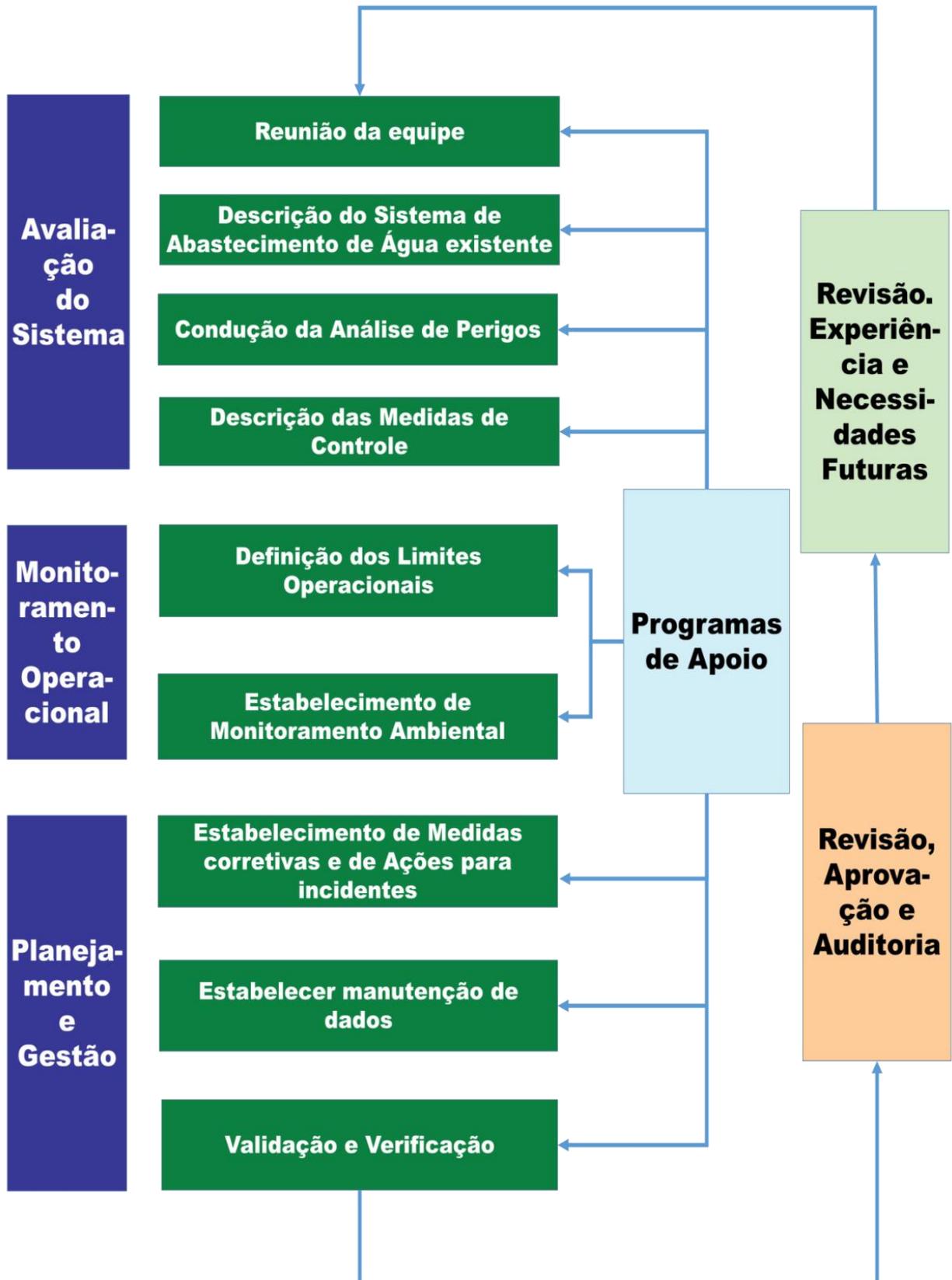
Um Plano de Segurança da Água para Consumo Humano pode ser definido como um documento que identifica e prioriza riscos potenciais que podem ocorrer em um sistema de abastecimento, desde a origem de água bruta até a torneira do consumidor, estabelecendo medidas de controle para os reduzir ou eliminar, estabelecendo processos para verificar a eficiência da gestão dos sistemas de controle e a qualidade da água produzida. A Figura 2.2 mostra o esquema geral de um Plano de Segurança da Água.

Os principais objetivos de um PSA são a proteção dos mananciais minimizando as possibilidades de contaminação, a redução ou remoção de contaminantes no tratamento e a garantia da qualidade da água de consumo na reservação, distribuição e, até mesmo, no uso pela população abastecida. O plano deve ser encarado com a visão de saúde pública, tornando-se necessário que haja regularmente a verificação de todos os elementos que o constituem, sua eficácia e conformidade, objetivando a garantia de segurança da água a ser consumida (VIEIRA e MORAIS, 2005). Visando garantir esta condição devem ser adotadas as seguintes ações:

- Avaliar o sistema de abastecimento de água para consumo humano;
- Avaliar o risco associado a cada perigo e evento perigoso;
- Validar as medidas de controle empregadas para controlar perigos;
- Demonstrar que a segurança do sistema se mantém de forma permanente;
- Rever periodicamente os perigos, riscos e controles;
- Manter registros fidedignos para oferecer transparência e justificar resultados.

O caráter sistemático da estratégia do PSA tem como vantagem ser aplicável para garantir a segurança da água fornecida por sistemas de abastecimento de água de qualquer tipo e dimensão, independentemente da sua simplicidade ou complexidade. Não existe uma forma única de implementar a abordagem do PSA. O importante é que sua abordagem se adeque à forma de organização e funcionamento da entidade gestora, permitindo, avaliar com maior acurácia, como os agentes químicos e biológicos podem penetrar no sistema e, conseqüentemente, as possibilidades de risco à saúde.

Figura 2.2 – Esquema geral de um Plano de Segurança da água.



Fonte: adaptado de WHO 2005 e Moreno 2009.

2.2.3 Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano

A qualidade da água para consumo humano deve ser garantida a partir de ações alicerçadas nos conceitos de vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano, visando a prevenção e o controle de doenças e agravos transmitidos pela água, com vistas a promover o bem estar da população, de acordo com as normas vigentes.

Controle e vigilância da qualidade de água são instrumentos essenciais para a garantia da proteção à saúde dos consumidores. A Portaria Nº 2914/2011 do MS os define como sendo o conjunto de ações adotadas de forma frequente e continuada, objetivando a identificação de riscos potenciais à saúde humana, com vistas a possibilitar formas de intervenção, assumindo, assim, caráter rotineiro e preventivo para garantir que a água consumida pela população atenda à norma de qualidade estabelecida na legislação vigente. O controle é exercido pelo órgão responsável pela operação do sistema e a vigilância por um órgão de saúde pública.

Segundo Freitas & Freitas (2005), no Brasil as ações de controle e vigilância da qualidade da água estão inseridas no SISAGUA (Sistema de Informação de Vigilância e Controle da Qualidade da Água de Consumo Humano), setor do subsistema nacional de vigilância em saúde ambiental (SINVSA), que tem como finalidade garantir o consumo de água de qualidade pela população diminuindo a incidência de doenças veiculadas pela água. Estas ações devem basear-se na avaliação e gerenciamento de risco ambiental e epidemiológico, razão pela qual devem ser desenvolvidas de forma articulada e sistemática com a vigilância epidemiológica para caracterização e avaliação de situações de risco à saúde.

A inspeção da água distribuída, realizada em frequência adequada e nos pontos mais vulneráveis do sistema fornece uma visão da probabilidade de ocorrência de episódios de qualidade indesejável da água, o que permite identificar possíveis ocorrências negativas, permitindo que estas possam ser impedidas ou evitadas, como também, possíveis procedimentos inadequados e assim os corrigir. Essa inspeção tem a questão laboratorial como a principal forma de “certificação” da qualidade da água, através de análises físico-químicas e microbiológicas, conforme definido na legislação relativa aos padrões de potabilidade.

2.3 Conceitos de risco

O campo de utilização do risco é bastante diversificado e suscetível de múltiplas interpretações. Tipicamente, seu conceito aparece em oposição à noção de seguridade, cujo sentido predominante é o de representar certa chance de algo acontecer, sempre concebido de uma forma negativa.

Conceitualmente, risco está longe de reunir consensos, mas um ponto comum entre eles é a inclusão da noção de probabilidade. Para Conway (1982), risco é definido como a medida da probabilidade e da severidade de efeitos adversos; Raman (1990) e Inhaber (1982) o definem como sendo a probabilidade de danos, resultando em ferimentos ou mortes.

O termo risco traz consigo o pressuposto da possibilidade de prever determinadas situações ou eventos por meio do conhecimento - ou, pelo menos, possibilidade de conhecimento - dos parâmetros de uma distribuição de probabilidades de acontecimentos futuros, os quais podem ser computados através de expectativas matemáticas (DOUGLAS, 1987).

Na abordagem do risco, torna-se necessário diferenciar duas importantes palavras: risco e perigo. Esses termos podem ser usados como sinônimos no discurso comum, entretanto, no campo científico são conceitos distintos. O perigo seria um efeito adverso inerente a uma determinada situação, é uma propriedade, uma característica qualitativa. O risco é uma grandeza quantitativa, adimensional e probabilística (RAZZOLINI e NARDOCCI, 2006).

De acordo com Freitas (2002) as transformações de eventos considerados perigosos em riscos, implicando na previsibilidade a partir da probabilidade, ocorreram de modo mais sistemático somente a partir da Revolução Industrial, estando relacionado ao fim das epidemias de pestes. Neste processo, através do desenvolvimento científico e tecnológico e das consequentes transformações na sociedade, na natureza e na própria característica e dinâmica das situações e eventos perigosos, o homem passa a ser responsável pela geração e remediação de seus próprios males. Desta forma cabe ao próprio homem a atribuição de desenvolver, através de metodologias baseadas na ciência e tecnologia a capacidade de interpretá-los e analisar para melhor os controlar e remediar. Na Tabela 2.1 estão listadas algumas definições de risco.

Tabela 2.1 - Definições de risco

Fonte	Definição proposta
<i>The Royal Society of London</i> (1983)	A probabilidade de um evento adverso particular ocorrer durante um dado período de tempo ou resultar de um desafio particular.
Plano Nacional de Política Ambiental (1989)- Holanda	As consequências indesejadas de uma atividade particular em relação à probabilidade de que elas possam ocorrer.
Sociedade Internacional de Análise de Riscos (SRA)	O potencial de realização de uma consequência indesejável, adversa para vida humana, saúde, propriedade ou ambiente; a estimativa de risco usualmente é baseada no valor esperado da probabilidade condicional do evento multiplicado pelas consequências, dado que ele ocorra.
	Risco é a probabilidade de perda;
	Risco é o tamanho da possível perda;
	Risco é uma função geralmente do produto da probabilidade e tamanho da perda;
Brehmer (1987)	Risco é igual á variância da distribuição de probabilidade de todas as consequências negativas apenas, e em relação a algum valor de referência adotado;
	Risco é a combinação linear ponderada da variância e do valor esperado da distribuição de todas as consequências possíveis.

Fonte: NARDOCCI (1999); BRILHANTE e CALDAS (1999); MORENO (2009).

2.4 Saúde ambiental e risco.

As relações entre saúde e meio ambiente, doravante saúde ambiental, tratam das formas de vida, das substâncias e das condições em torno do ser humano que podem exercer alguma influência sobre a sua saúde e o seu bem-estar, determinados por fatores físicos, químicos, biológicos, sociais e psicológicos.

Para o Ministério da Saúde, Saúde Ambiental deve ser trabalhada

[...] de forma ampliada e pensada a partir da Reforma Sanitária, sendo entendido como um processo de transformação da norma legal e do aparelho institucional em um contexto de democratização. [...] Se dá em prol da promoção e da proteção à saúde dos cidadãos, cuja expressão material concretiza-se na busca do direito universal à saúde e de um ambiente ecologicamente equilibrado em consonância com os princípios e as diretrizes do Sistema Único de Saúde. (BRASIL, 2007b).

A Vigilância em Saúde Ambiental, ferramenta desta política, trata da compreensão e da análise dos condicionantes ambientais que afetam a saúde, com a finalidade de identificar as medidas de prevenção e controle dos fatores de risco ambientais relacionados às doenças ou a outros agravos à saúde.

Apoiado no reconhecimento da relação entre riscos e seus efeitos adversos sobre a saúde, o modelo conceitual da vigilância das situações de risco é baseado no entendimento que as questões pertinentes às relações entre saúde e ambiente são integrantes de sistemas complexos, onde a questão do risco não se esgota, exigindo abordagens e articulações interdisciplinares (BARCELLOS e QUITÉRIO, 2006).

Os estudos e risco têm se constituído em uma ferramenta importante, com o objetivo de subsidiar os processos decisórios, de controle e prevenção da exposição de populações e indivíduos a agentes perigosos à saúde. A partir destes estudos é possível avaliar e estimar o potencial de danos a partir da exposição a determinados agentes presentes no meio ambiente. É importante se ter em mente que o uso de risco como instrumento de gestão ambiental necessita de decisões descentralizadas, instituições sólidas e confiáveis e da aquisição e atualização contínua de informações (FREITAS, 2002; NARDOCCI, 1999). A ausência de informações, aliás, talvez seja o que mais limita a aplicação de avaliações de risco.

2.5 Análise de risco em sistemas de abastecimento de água

Os sistemas urbanos de abastecimento de água são fundamentais para a qualidade de vida de milhões de pessoas. Portanto, a gestão desses sistemas, requer cada vez mais uma abordagem dinâmica, a fim de garantir o suprimento adequado de água, sendo necessárias técnicas gerenciais que permitam lidar com as variáveis intervenientes no sistema. Os tomadores de decisão precisam se orientar em análises que possibilitem apresentar um panorama abrangente sobre os sistemas de abastecimento de água, o que se dá por meio de uma análise de risco.

Graças à sua flexibilidade, a análise de risco é caracterizada por Bastos et al., (2009) como uma metodologia passível de ser aplicada em várias áreas do conhecimento e que encontrou um ramo promissor no sistema de abastecimento de água para consumo humano, pois através da descrição dos possíveis fatores, agentes ou situações que tragam um risco podem ser propostas medidas para os

evitar, minimizar ou controlar, com a participação da população que sofrerá com os agravos.

A análise de risco é um processo composto de três elementos, que são normalmente desenvolvidos de forma sequencial e integrada: avaliação de risco, gerenciamento de risco e comunicação de risco, cada um possui um papel distinto. São estes elementos que são utilizados na tomada de decisões para prevenir e controlar os riscos (BASTOS et al., 2009).

A avaliação de risco pode ser definida como o processo de se estimar a probabilidade de um evento ocorrer e sua magnitude, levando-se em consideração características de uma substância em questão, entre outros aspectos de um sistema, em determinado período. O processo inclui quatro passos: identificação de perigos; relação dose-resposta; avaliação de exposição e caracterização de risco.

- (1) Identificação de perigos:** esta etapa visa identificar a existência de perigos, desde substâncias, situações, procedimentos, falhas de operações, desastres naturais, sabotagem ou eventuais sequências de eventos que possam causar dano, incluindo cenários acidentais hipotéticos a serem estudados de forma detalhada, bem como a frequência que os eventos acontecem, informação necessária para o cálculo numérico do risco;
- (2) Relação dose-resposta:** consiste na análise da quantidade total de um agente capaz de gerar efeitos adversos em um grupo de organismos;
- (3) Avaliação de exposição:** análise da quantidade do agente no meio, vulnerabilidades da população exposta e a inferência de possíveis consequências que ele pode ter para esta população;
- (4) Caracterização do risco:** com todos os dados gerados, argumentos e conclusões coletadas nas fases anteriores, estes são transformados em uma informação de fácil entendimento. É o último passo da avaliação de risco.

No gerenciamento são propostos planos de gestão baseados nos dados gerados pela avaliação de risco. É o processo que indica possibilidades de redução de riscos que são determinados como inaceitáveis. Nos sistemas de abastecimento de água o gerenciamento de risco apresenta uma abordagem endereçada a controlar os riscos considerando custo–benefício de implantações na melhoria dos

sistemas, e subsidiando políticas de limites de exposição (VIEIRA, 2005; RAZZOLINI e NARDOCCI, 2006).

Na última etapa da análise de risco, comunicação de risco, há uma interação que propicia a troca de informações entre as partes interessadas no julgamento dos riscos. Essa democratização das informações é fundamental para se conhecer os riscos a que se está exposto, propiciando a escolha de medidas de proteção, além de assegurar ao indivíduo o direito à informação e à saúde.

Mesmo sabendo que algumas incertezas e a subjetividade cercam as estimativas de risco para saúde humana, sua capacidade em quantificar perigos, traz um referencial mais objetivo para a tomada de decisão por parte dos agentes regulatórios.

2.6 Técnicas usadas na avaliação de risco

De uma forma geral, a identificação de perigos é uma das etapas mais importantes em todo o processo da avaliação, já que a forma como os riscos são identificados e coletados constitui-se na questão central para a efetividade e acuracidade de todo este processo. Várias são as técnicas utilizadas para avaliação de riscos, algumas delas serão apresentadas a seguir.

2.6.1 What-if (WI)

É aplicado principalmente para processos simples, revendo cada etapa da operação até chegar ao produto final. A cada atividade do processo avaliadores do sistema são estimulados a refletir sobre questões que começam com “E se...”, buscando a identificação de eventos indesejados como falhas de componentes ou erros de procedimento.

O método admite tanto o questionamento livre como o sistemático. No livre, o objeto é questionado por meio da pergunta “O que aconteceria...?” em relação a qualquer aspecto que se julgar conveniente. No questionamento sistemático, o objeto é focalizado do ponto de vista de diversos especialistas, em que a pergunta “O que aconteceria...?” é aplicada a cada especialidade (CARNEIRO, 2011). Os

questionamentos devem ser registrados em formulário próprio, com campos para o que pode resultar danoso, causas, consequências, medidas de controle de riscos e de emergências (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Formulário de registro de identificação de perigos

Descrição	Perigo/ Consequências	Medidas de Controle de risco e de emergência
Falha de equipamentos, matérias e instrumentos		
- O que ocorreria se uma peça do equipamento deixasse de funcionar?		
- O que aconteceria se um tubo de uma caldeira falhasse?		
Falhas de Serviço		
- O que aconteceria se houvesse uma falha de eletricidade?		
- O que aconteceria se faltasse água?		

Fonte: FREITAS (2003)

O princípio do método é simples, torna-se necessário apenas que haja uma equipe avaliadora experiente para garantir que todas as perguntas necessárias sejam feitas de forma que nenhum perigo possa ser esquecido, o que torna o processo bastante demorado. A complexidade deste método está relacionada ao tipo de processo que se avalia, quanto mais complexo o processo mais demorado se torna a avaliação, sendo esta sua principal desvantagem.

2.6.2 Lista de verificação (Checklist)

Nesse método os atores utilizam listas prontas na identificação dos perigos. Segundo Souza (1995), listam-se alguns itens com relevada importância ou listam-se passos dos processos em análise; após esta etapa elaboram-se as conclusões de cada item, obedecendo a uma sequência lógica. É um processo bastante subjetivo na indicação dos pesos e não apresenta diretrizes objetivas para tomada

de decisão, além de não associar os perigos com as atividades que os geram e não identificar perigos secundários.

2.6.3 Análise Preliminar de Perigos (APP)

É uma técnica utilizada para determinar os riscos e medidas preventivas antes que um processo, sistema ou produto entre em sua fase operacional, sendo aplicada na fase de projeto e desenvolvimento. Tudo o que puder ser identificado como risco nesta fase deve merecer atenção, bem como as observações e recomendações pertinentes, incluindo medidas básicas de controle e prevenção para se evitar que riscos venham a ser criados (ZOCCHIO, 2000). A desvantagem deste método é que nele são identificados apenas os perigos mais graves.

2.6.4 Análise de operabilidade e perigos (sigla em inglês, HAZOP)

Seu objetivo é examinar as consequências das falhas que poderão ajudar a equipe de avaliação de riscos na realização de recomendações de medidas para minimizar ou mitigar o risco. Segundo Alberton (1996), trata-se de uma ferramenta que permite que as pessoas liberem sua imaginação, pensando em todos os modos pelos quais um evento indesejado ou problema operacional possa ocorrer.

O HAZOP é posto em prática por uma série de reuniões, durante as quais uma equipe multidisciplinar discute metodicamente o projeto da instalação, orientada através de um conjunto de “palavras-guias”, que focaliza os desvios dos parâmetros estabelecidos para o processo ou operação em análise. Sendo assim, um método demorado e caro, pois a maior parte de atividades contém um grande número de tarefas que devem ser analisadas pela aplicação de várias palavras-chave e parâmetros.

2.6.5 Árvore de falhas (FTA)

A técnica é dedutiva quantitativa e começa com uma representação gráfica, utilizando símbolos lógicos (Tabela 2.3) É uma técnica de identificação de perigos e

análise de riscos que parte de um evento perigoso de topo escolhido para o estudo e estabelece combinações de falhas e condições que poderiam causar a ocorrência desse evento (CABRAL, 2010). O uso deste método numa análise qualitativa evidencia os efeitos dos modos de falha do sistema e as mudanças a serem implementadas, sua desvantagem é que nesta técnica não é fácil identificar os eventos.

Tabela 2.3 - Simbologia utilizada no método Árvore de falhas

	Evento básico.
	Evento intermédio.
	Porta E – Uma operação mediante a qual todas as entradas ou eventos (falhas básicas) têm de coexistir em simultaneidade para que uma falha ocorra.
	Porta OU – Uma operação pela qual qualquer uma das entradas ou eventos (falhas básicas) produz uma resposta.
	Acontecimento inconsequente ou com dados insuficientes para desenvolvimento posterior.

Fonte: FREITAS (2008)

2.6.6 Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

A metodologia de análise do modo de falhas e seus efeitos, conhecida como FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) é um método qualitativo e quantitativo, para identificar falhas potenciais de componentes, sistemas, projetos e processos, antes que elas ocorram e minimizar o risco de falha propondo mudanças no projeto ou, se estas não puderam ser formuladas propondo procedimentos operacionais. (IMCA, 2005; TOLEDO & AMARAL, 2006). 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.

Esta metodologia pode ser aplicada tanto no desenvolvimento do projeto do produto como do processo. As etapas e a maneira de realização da análise são as mesmas, diferenciando-se somente quanto ao objetivo. Assim, segundo Toledo & Amaral (2006) as análises FMEA' s são classificadas em FMEA de produto, que

analisa as falhas do produto decorrentes do projeto e FMEA de processo, neste o objetivo é evitar falhas do processo, tendo como base as não conformidades do produto com as especificações do projeto. Em terceiro tipo, menos comum, o FMEA de procedimentos administrativos, analisa-se as falhas potenciais de cada etapa do processo. O FMEA desta pesquisa é de um produto, a água.

A base para a aplicação desta metodologia é o formulário FMEA, para tanto, Toledo & Amaral (2006) dividem a metodologia FMEA em 5 etapas. A primeira etapa é a de planejamento, onde se decide qual o objeto de estudo, onde há a definição da equipe avaliadora, marca-se a reunião e preparam-se os documentos. Na segunda etapa, ocorre a análise das falhas em potencial, as principais falhas que podem ocorrer juntamente com seus efeitos, causas, medidas mitigadoras e os escores de severidade, ocorrência, detecção e abrangência, construindo um formulário que será preenchido na reunião FMEA; outro fator dessa etapa é a elaboração de uma tabela de escore que norteará a decisão da equipe avaliadora. Em um terceiro momento, na reunião FMEA, ocorre a avaliação das falhas potenciais citadas anteriormente; a equipe avaliadora entra em consenso sobre quais escores são mais representativos de cada perigo. As duas últimas etapas, melhoria no processo e continuidade da análise, respectivamente, são relacionadas ao gerenciamento do risco, pois com o resultado das etapas anteriores serão promovidas melhorias contínuas no processo analisado.

2.7 O abastecimento de água como fator de risco

É bem conhecida a importância da água para os processos vitais e para a saúde humana. Um cenário mundial da relação entre a água e a saúde pode ser evidenciado por algumas condições mostradas no documento “*Celebrating water for life: the international decade for action 2005 - 2015*” (WHO, 2005):

- 1,8 milhão de pessoas morrem todo ano por doenças diarreicas (incluindo cólera), 90% são crianças abaixo de 5 anos, a maioria em países em desenvolvimento;
- 88% das doenças diarreicas são atribuídas a suprimento de água inseguro, esgotamento sanitário e higiene inadequados;

- Melhoria de suprimento de água reduz morbidade por diarreias entre 6 e 25%, incluindo resultados severos;
- Melhoria em esgotamento sanitário reduz morbidade por diarreia em até 32%;
- Intervenções de higiene, incluindo intervenções educacionais com relação à higiene e incentivo à lavagem das mãos, podem promover uma redução de casos de diarreia em mais de 45%;
- Melhorias na qualidade da água para consumo através de tratamentos domésticos, como cloração no ponto de consumo, podem causar uma redução de ocorrência de diarreia entre 35 a 39%;
- Melhoria do acesso a fontes seguras de água e práticas de higiene podem reduzir morbidade por tracoma em 27%;
- 1,3 milhão de pessoas morrem por malária cada ano, sendo 90% crianças abaixo de 5 anos;
- Melhor gerenciamento de recursos hídricos reduz a transmissão da malária e de vetores de outras doenças.

Neste sentido, os sistemas de abastecimento de água provocam um grande impacto na redução destas doenças infecciosas e representam um enorme benefício à saúde da população em todos os estratos sociais, proporcionando oportunidades de higiene, conforto e bem-estar, além de ter um reflexo imediato na redução da demanda por serviço de saúde (TSUTIYA, 2006). Mas, o que é mostrado na publicação da WHO/UNICEF (2010) é que, apesar de haver um avanço nas melhorias das fontes de água para consumo mundialmente, com um aumento de 10 pontos percentuais em 18 anos, alcançando a marca de 87% da população mundial e 84% da população de regiões em desenvolvimento, tendo acesso a fontes de água para consumo, ainda existem 884 milhões de pessoas no mundo sem acesso à água. Quase todas residem em regiões em desenvolvimento.

Os sistemas de distribuição de água são tão importantes quanto os recursos hídricos e as estações de tratamento no sentido de garantir o fornecimento seguro de água potável. Sua importância está no fato deste representar uma barreira sanitária contra a deterioração da qualidade da água, no entanto, se a integridade deste sistema não for mantida pode haver um comprometimento da qualidade da água, em qualquer uma de suas etapas ou mesmo algum de seus componentes,

fazendo com que a qualidade da água na torneira do usuário se diferencie da qualidade da água que deixa a estação de tratamento.

Segundo a NCR (2006) a integridade do sistema possui três componentes básicos: integridade física, que se refere à manutenção de uma barreira física entre o interior e o ambiente externo do sistema de distribuição; a integridade hidráulica, referente à manutenção de um fluxo desejável, pressão e idade da água, levando em consideração a necessidade de uso para consumo humano e combate a incêndio, e um terceiro componente, a integridade da qualidade da água, que está relacionada à manutenção da qualidade da água, adotando ações que previnam sua deterioração nas tubulações.

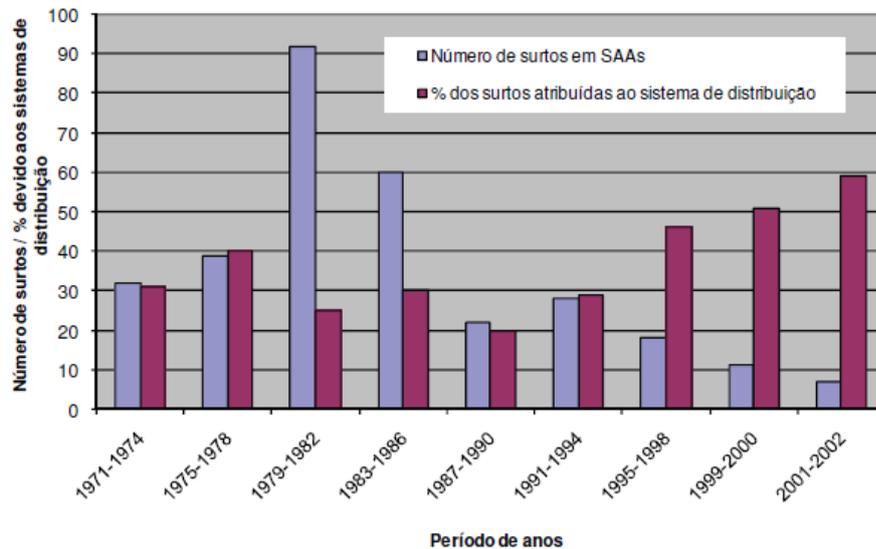
Alguns países que têm um sistema de vigilância para doenças transmitidas pela água forneceram numerosos exemplos da importância de um sistema de distribuição no fornecimento seguro de água potável. Nos Estados Unidos da América (EUA), de 1920 a 1990, 11-18% de surtos notificados de doenças transmitidas pela água foram atribuídos à contaminação do sistema de distribuição. De 1991 a 1996, a contaminação da água no sistema de distribuição foi responsável por 22% dos surtos notificados, causada pela corrosão, conexões cruzadas, refluxo, armazenamento protegido de forma inadequada ou reparos em adutoras e encanamentos (CRAUN e CALDERON, 1999; CRAUN, 1986). A Figura 2.4 ilustra um histórico de surtos de doenças relacionados com a água em sistemas de abastecimento comunitários nos Estados Unidos.

No Reino Unido, 1911-1995, os problemas relacionados com o sistema de distribuição foi responsável por 15 (36%) de 42 doenças transmitidas pela água, conforme relatado por Hunter (1997).

A deterioração das instalações de tratamento de água e sistemas de distribuição pode representar uma ameaça significativa à saúde pública. Problemas como lixiviação e vazamentos; crescimento microbiano e formação de biofilmes; intrusão de contaminantes; conexões cruzadas e retrossifonagem; implantação, reparação e material das tubulações; deficiências na operação e manutenção no sistema de distribuição de água e deficiência na reservação de água são indicados pela NRC (2006) e USEPA (2006a), como fatores resultantes da perda de integridade do sistema que podem contribuir com sérios danos à saúde pública. Além desses problemas, outros podem ocorrer nas instalações prediais dos

consumidores, os quais, se não controlados, podem afetar a qualidade na água da rede de distribuição.

Figura 2.3 - Surtos de doenças relacionados com a água em sistemas de abastecimento comunitários nos Estados Unidos



Fonte: adaptado de NCR (2006) *apud* Moreno (2009)

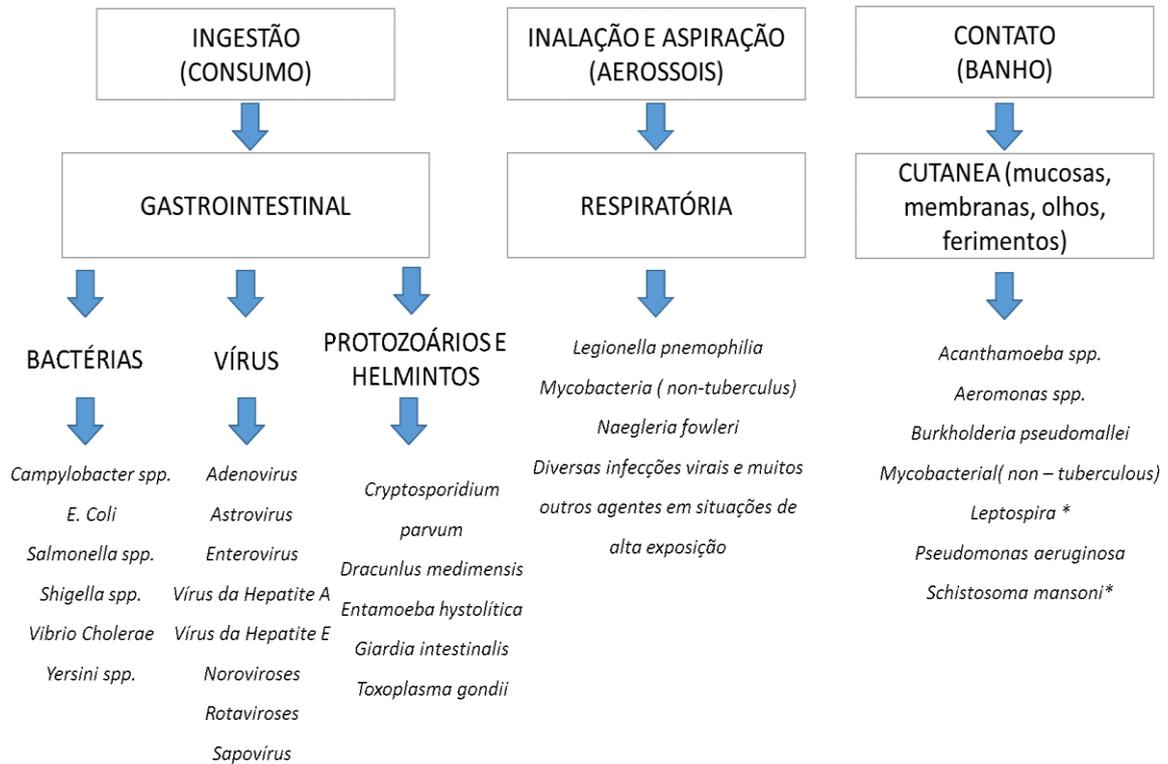
Um sistema de distribuição de água fornece um habitat para os microrganismos, que são sustentados por nutrientes orgânicos e inorgânicos presentes no tubo e na água transportada. Segundo a OMS (WHO, 2004) a grande maioria dos problemas que estão relacionados à água é devida à contaminação por microrganismos, sendo os agentes patogênicos fecais os que mais preocupam quanto ao estabelecimento de metas sanitárias relativas à proteção contra a incidência microbiológica em água de consumo. A Figura 2.5 ilustra as principais vias de transmissão e exemplos de agentes patogênicos relacionados à água.

Payment e Robertson (2004) afirmam que as bactérias presentes na água e sobre superfícies são inofensivas, exceção feita ao gênero *Legionella* e a *Mycobacterium aviumcomplex*, mas eles estão na base de uma cadeia alimentar para outros organismos de vida livre, como fungos, protozoários, vermes e crustáceos.

Esses organismos podem estar presentes em um sistema de distribuição, mesmo na presença de residuais do desinfetante, e a água pode ainda ser livre de riscos para a saúde. Entretanto, a excessiva atividade microbiana pode levar à deterioração da qualidade estética da água (por exemplo, gostos e odores) e pode interferir nos métodos utilizados no monitoramento de parâmetros de interesse à

saúde. Portanto, o tratamento adicional pode ser necessário para controlar a qualidade da água tratada em um sistema de distribuição, para evitar o crescimento microbiano (MORENO, 2009).

FIGURA 2.4 –Vias de transmissão e exemplos de agentes patogênicos relacionados à água



*Principalmente através do contato com águas superficiais altamente contaminadas.
 Fonte: WHO (2004).

A atividade microbiana nos sistemas de distribuição costuma ser mais intensa na interface entre a água e os materiais que compõem a estrutura física de distribuição, e no interior dos depósitos formados por partículas e materiais resultantes da corrosão (MORENO, 2009). A colonização desses organismos no sistema ocorre através do contato inicial, na maioria das vezes bactérias e o novo material, logo em seguida, através da integração de vários níveis de espécies que podem coabitar e permutar nutrientes em função de fatores como temperatura, pH, oxigênio e nutrientes.

Esses fatores controlam o crescimento e desenvolvimento dos microrganismos no sistema de distribuição. Levi (2004) relata que se os nutrientes estão disponíveis, a atividade microbiana aumenta significativamente em

temperaturas acima de 15 °C, na ausência de um desinfetante residual. Para o autor a maioria dos microrganismos sobrevive aos valores de pH normalmente encontrados em água potável. As águas para abastecimento são normalmente bem aeradas, o que reduz o risco de corrosão induzida microbiologicamente, no entanto, o oxigênio não pode penetrar nas camadas inferiores de biofilmes, tubérculos e outros depósitos de tubos e sedimentos do reservatório onde as bactérias redutoras de sulfato podem proliferar. Outro fator que influencia no crescimento dos microrganismos no sistema são os nutrientes, apesar de alguns microrganismos sobreviverem com elementos minerais, os deste tipo são pouco significativos no sistema de distribuição de água. Muitos microrganismos só proliferam se houver matéria orgânica dissolvida ou particulada suficiente contendo nitrogênio, carbono e fósforo.

Embora não haja relatos de efeitos sobre a saúde diretamente atribuídos à sobrevivência em longo prazo de agentes patogênicos no interior de um sistema de distribuição, tais organismos podem persistir dentro de biofilmes, apresentando, assim, uma preocupação subjacente à saúde dos consumidores (SZEWZYK et al., 2000). Os biofilmes contêm muitos sítios de sorção que podem acumular materiais contaminantes, bem como material coloidal e particulado (FLEMMING, 1995). Dentro de biofilmes, os patógenos podem ser protegidos contra estresses ambientais biológicos, físicos e químicos, inclusive, predação, dessecação e alterações ou fluxos no ambiente (BUSWELL et al., 1998; WALKER et al., 1995).

Até mesmo espécies que não são capazes de multiplicar-se na água têm sido identificadas em associação com biofilmes. Por exemplo, *Legionellapneumophila*, 14 espécies de amebas, duas espécies de protozoários ciliados, e um fungo - *L. pneumophila* (MURGA et al., 2001; FIELDS et al., 2002).

Os efeitos prejudiciais em sistemas de distribuição de água potável também incluem aspectos químicos, envolvendo compostos orgânicos e inorgânicos produzidos pelos microrganismos. Diferentes compostos voláteis, ácidos orgânicos e inorgânicos, óxidos metálicos e enzimas. Tais substâncias são originárias da atividade microbiana, desinfetantes utilizados no tratamento de água, materiais utilizados em tubos, podem causar problemas estéticos na água como cor, sabor e odores.

Foi evidenciado que o risco mais comum e disseminado para a saúde humana, associado ao consumo de água origina-se da presença de microrganismos

que podem causar inúmeras doenças. A dose infectante de cada patógeno varia relativamente ao tipo de organismo e à suscetibilidade do indivíduo exposto. Deve ser ressaltado que os grupos mais suscetíveis a contrair doenças de veiculação hídrica são crianças, pessoas que estão debilitadas ou vivendo sob condições de falta de saneamento, portadores de síndrome da imunodeficiência adquirida, os doentes e pessoas de idade avançada (PÁDUA, 2006). Pode-se concluir, portanto, que para a promoção da saúde pública é indispensável a adoção de medidas para o gerenciamento do risco.

2.8 O abastecimento de água como fator de risco em hospitais

A contaminação da água em sistemas de abastecimento em hospitais é muito comum. Muitas das bactérias, dos fungos e protozoários na água nestes sistemas podem ser patogênicas e devem ser motivo de preocupação clínica. Os microrganismos mais encontrados em águas de hospitais incluem *Legionella* spp e *Pseudomonas aeruginosa*. O *Aspergillus* é um fungo particularmente intrigante encontrado na água de hospitais (ANGELBECK et al., 2006).

Alguns relatórios mostram que micobactérias também foram identificadas em água de hospitais. Estas bactérias podem persistir em sistemas de abastecimento de água ao longo de vários anos e têm sido apontadas como causadoras de surtos de doenças (VON REYN et al., 1994; SOTO et al., 1991; KAUPPINEN et al., 1999; DESPLACES et al., 1995). Entre os fungos, esporos de *Aspergillus* podem ocorrer em habitar sistemas de distribuição de água de hospitais. Um surto de aspergilose foi relatado em um hospital em Houston levando a infecções de pacientes. Há evidências adicionais de que outros fungos oportunistas foram identificados em sistemas de água de hospitais (REX et al., 1998; ANAISSIE et al., 2002).

Uma das referências mais citadas na literatura sobre infecções hospitalares relacionadas à água é de Anaissie et al. (2002) intitulada "*The Hospital Water Supply as a Source of Nosocomial Infections: A Plea for Action*". Eles realizaram uma pesquisa da literatura publicada entre 01 de janeiro de 1996 e 31 de dezembro de 2001, sobre as infecções hospitalares transmitidas pela água e chegaram à conclusão que 43 casos de infecções hospitalares relatadas na literatura tinham como causa o consumo de água contaminada (Tabela 2.4).

Tabela 2.4- Estudos que indicam a falta de qualidade da água como causa de infecções hospitalares (considerando apenas água de torneiras e reservatórios dos hospitais)

ORGANISMOS	FONTE	LOCAL DA INFECÇÃO
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Bert et al. 1998; Trautmann et al. 2001; Bert et al. 1998; Ferroni et al. 1998; Ezpeleta et al. 1998; Richard et al. 1994;	Sangue, pulmões, peritônio, traqueia, urina
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	Weber et al. 1999; Talon et al. 1994	Peritônio, pele, trato respiratório, sangue, garganta, urina
<i>Serratia marcescens</i>	Carlyn et al. 1998	Coluna
<i>Acinetobacter baumannii</i>	Pina et al. 1998	Pele, feridas
<i>Aeromonas Hydrophilia</i>	Picard and Goullet 1987	Sangue
<i>Chryseobacterium species</i>	De Schuijmer et al. 1998	Sangue
<i>Mycobacterium avium</i>	Von Reyn et al. 1994	Disseminada
<i>Mycobacterium fortuitum</i>	Kauppinen et al. 1999	Infecção da ferida esternal

Fonte: Adaptado de Anaissie et al. 2002

Anaissaie et al. (2002) estimaram que cerca de 1400 mortes por ano nos Estados Unidos ocorreram como resultado de pneumonias nosocomiais causadas por *Pseudomonas aeruginosa*, e há evidências que sugerem que o consumo de água pode ter contribuído para o contato do paciente com esses organismos.

Durante um período de sete meses, Trautmann et al. (2001) observaram que 29% (5/17) dos pacientes em uma unidade de terapia intensiva cirúrgica foram infectados com genótipos de *P. aeruginosa* que eram os mesmos que os detectados na água da torneira da unidade. Jarvis et al. (1996) informaram que infecções da corrente sanguínea associadas aos cuidados de saúde têm sido atribuídas à água no ambiente de sala de cirurgia.

A água contaminada pode levar a infecção através da inalação de gotículas de água, ingestão da água, imersão em água, ou contato com equipamentos, superfícies do ambiente ou as mãos de profissionais que tenham estado em contato com água contaminada (ANAISSIE et al., 2002; STOUT et al., 2001; EMMERSON et al., 2001; LOWRY et al., 1991).

2.9 Parâmetros químicos e microbiológicos usados no controle da qualidade da água

Para assegurar ao consumidor a distribuição de água com alta qualidade, os serviços de abastecimento público de água precisam estar permanentemente vigilantes. Para implantar os programas de vigilância da qualidade da água, é necessária a elaboração de planos de amostragem baseados na monitoração de indicadores físicos, químicos e microbiológicos avaliados continuamente e ao sinal de alguma mudança nas características da água em pontos vulneráveis da rede.

A Portaria nº 2914/2011 estabelece os indicadores que devem ser escolhidos e quantificados na monitoração da qualidade da água para consumo humano, os quais devem ser capazes de indicar o risco potencial à saúde do consumidor.

Dada a quantidade de parâmetros do padrão de potabilidade a serem obedecidos no controle e vigilância da qualidade da água é importante eleger alguns mais significantes, que expressem a situação da água, de forma rápida e com baixo custo, mas eficazes na verificação da qualidade da água em ações de vigilância, possibilitando a ação preventiva. Esses indicadores podem ser classificados como sentinelas e auxiliares.

A Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância Ambiental em Saúde relacionada à qualidade da água propôs a utilização dos indicadores sentinelas, cloro residual livre e turbidez, para indicar precocemente a degradação da qualidade da água e sua inadequação ao uso humano. Por sua vez, os indicadores auxiliares, não têm um padrão fixo, mas Brasil (2006c) sugere a escolha destes em relação às características do sistema de abastecimento de água. No caso desse trabalho, foram escolhidos cloro residual combinado (CRC), potencial hidrogeniônico (pH), bactérias heterotróficas e coliformes totais.

2.9.1 CRL

O cloro utilizado na desinfecção pode ser encontrado comercialmente sob as formas de cloro gasoso e soluções de hipoclorito de sódio ou hipoclorito de cálcio. O cloro gasoso é hidrolisado rapidamente em água para formar o ácido hipocloroso

(Equação 1), que se dissocia, rapidamente em hidrogênio e íon hipoclorito (Equação 2), variando suas concentrações em relação ao pH da água.



A soma das concentrações desses subprodutos caracteriza o CRL e constitui a mais importante variável de controle de qualidade na prática da cloração de águas de abastecimento (SILVA; OLIVEIRA, 2001).

O padrão anexo a Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde recomenda que após a desinfecção, a água deva conter um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L, sendo obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L em qualquer ponto da rede de distribuição, sendo o teor máximo desejável de 2,0 mg/L em qualquer ponto do sistema de abastecimento.

2.9.2 Turbidez

A turbidez corresponde à principal característica física da água, sendo a expressão da propriedade ótica que causa dispersão e absorção da luz, ao invés de sua transmissão em linha reta através da água (SILVA; OLIVEIRA, 2001). A medida da turbidez na água bruta é de fundamental importância para seleção da tecnologia de tratamento e controle operacional dos processos de tratamento.

Na água filtrada, a turbidez assume a função de indicador sanitário e não meramente estético, sendo também um parâmetro de controle da eficiência da desinfecção, dado que partículas em suspensão fornecem abrigo aos microrganismos, protegendo-os da ação do desinfetante. (MEIRA, 2009).

A Portaria N° 2914/2011 define o padrão de 0,5 uT para água filtrada por filtração rápida, assim como o valor máximo permitido de 1,0 uT para água filtrada por filtração lenta.

2.9.3 CRC

O cloro residual combinado (CRC) é resultado da reação do ácido hipocloroso com nitrogênio amoniacal, gerando as cloraminas (monocloramina, dicloramina e tricloramina), (Equações 3, 4 e 5). Essa formação é influenciada pelo pH, relação cloro/nitrogênio amoniacal e eficiência da mistura (ARAÚJO, 2010).



Segundo Barbosa (2010), o poder desinfetante do CRL é cerca de 200 vezes maior que o do CRC, sendo então considerado o real desinfetante. Entre as cloraminas a dicloramina é cerca de 3 vezes mais potente que a monocloramina e a tricloramina não tem nenhum poder desinfetante (OGATA, 2011).

2.9.4 pH

O pH é o cologaritmo da concentração de íons hidrogênio, ele varia de 0 à 14 influenciando em vários aspectos do tratamento (coagulação, desinfecção, remoção de ferro, manganês e metais pesados), na solubilidade de produtos químicos e atividade microbiana (ARAÚJO, 2010).

No Brasil, a Portaria 2914/2011 recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5.

2.9.5 Bactérias heterotróficas

As bactérias heterotróficas foram utilizadas no século XIX como indicadores de segurança microbiológica do processo de tratamento de água, em especial a filtração, mas com o advento da *E. coli* como indicador fecal sua utilização diminuiu (SANTOS, 2011).

Esses microrganismos são nativos da água e não são considerados patogênicos, mas sua determinação é útil para avaliar as condições higiênicas nos sistemas de distribuição de água para consumo humano, uma vez que, são

responsáveis pela formação de biofilmes nas redes de distribuição de água, que, por sua vez, fornecem proteção para microrganismos patogênicos contra a inativação por agentes desinfetantes, levando à contaminação das águas de abastecimento no sistema de distribuição.

Segundo disposições da Portaria N° 2914/2011 a contagem de bactérias heterotróficas deve ser realizada em 20% das amostras mensais para análise de coliformes totais nos sistemas de distribuição (reservatório e rede) e que não sejam extrapoladas 500 UFC/ml. No caso de alterações bruscas ou acima do usual na contagem de bactérias heterotróficas, essas devem ser investigadas e providências adotadas para o restabelecimento da integridade do sistema de distribuição.

2.9.6 Coliformes totais

Os coliformes totais são um grupo de bactérias constituído por bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativa, capazes de crescer na presença de sais biliares ou outros compostos ativos de superfície, com propriedades similares de inibição de crescimento, e que fermentam a lactose com produção de ácidos, aldeídos e gás a 35°C em 24-48 horas. Incluem espécies do gênero *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*, sendo *Escherichia coli* a principal representante do subgrupo termotolerante.

Zulpo et al. (2006) afirmam que os coliformes totais são encontrados no solo e nos vegetais, possuindo a capacidade de se multiplicarem na água com relativa facilidade. A detecção desses organismos pode revelar crescimento microbiano e possivelmente a formação de biofilmes, assim como intrusão de material externo no sistema de abastecimento de água.

Para o atendimento aos padrões estabelecidos pela Portaria N° 2914/2011, deve haver ausência desse grupo em 100 ml das amostras na saída do tratamento e no sistema de distribuição (reservatório e rede); em sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem a partir de 20.000, ausência em 100ml de 95% das amostras analisadas no mês. Já em sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem menos de 20.000 habitantes apenas uma amostra, entre as examinadas no mês, poderá apresentar resultado positivo.

hospitalar. Por se tratar de uma das sedes de serviços especializados de alta complexidade para a maioria das patologias, torna-se ainda, juntamente com a capital João Pessoa, responsável por absorver demandas provenientes de estados vizinhos.

Apesar de sua vasta contribuição em promover a saúde, a cidade de Campina Grande tem o pior Índice de Desempenho do SUS (IDSUS) entre os municípios da região Nordeste grupo 2, com uma nota de 5,08, em uma pontuação que vai de 0 a 10. As aferições levaram em conta dados sobre saúde básica, ambulatorial, hospitalar e de emergência repassados pelos municípios a bases de dados nacionais (IBGE, Ipea, entre outros) entre 2008 e 2010 (BRASIL, 2012).

3.2 Descrição do sistema de abastecimento de água de Campina Grande

O SAA de Campina Grande se inicia no Açude Epitácio Pessoa a 44 km da cidade, comportando 575.000.000 m³ de água, e capacidade de captação máxima de 1500 L/s, passando a água bruta por um tratamento convencional na ETA de Gravatá de Queimadas (SANTOS, 2011).

Da ETA de Gravatá a água chega ao reservatório R-9, com capacidade de acumulação de 26.000 m³. A partir desse reservatório saem canalizações que abastecem outros 29 reservatórios. Um dos destinos da água que sai do reservatório (R-9) é o abastecimento do Hospital Dom Luiz Gonzaga Fernandes (Hospital de Trauma), situado na cidade de Campina Grande-PB. A vazão transportada por um tubo de seção circular, diâmetro de 100 mm, muitas vezes, não atende à demanda. Devido a isso o hospital sofre diariamente com a falta de água. Para amenizar os problemas advindos desta falha operacional, nos dias de maior fluxo de pessoas no hospital e em que há a falta de água o abastecimento ocorre através de carros-pipa.

Levando em consideração esta problemática, a importância desta unidade hospitalar para Campina Grande, cidades e estados circunvizinhos no atendimento de pacientes de alto risco, e por se tratar de um hospital novo, onde teoricamente não deveriam existir irregularidades, foi escolhido, o referido hospital, para o estudo da qualidade da água que está sendo consumida pelos pacientes e também por profissionais que ali trabalham.

3.3 Descrição do Hospital de Trauma

O Hospital de Urgência, Emergência e Trauma Dom Luiz Gonzaga Fernandes foi inaugurado e aberto em 5 de julho de 2011. O hospital possui caráter público, parte integrante do Sistema Único de Saúde. A unidade é composta de 242 leitos (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Distribuição do número de leitos no Hospital de Trauma

Unidade	Setor Interno	Leitos
Internação adulta	Internação de clínica médica masculina	33
	Internação de clinica cirúrgica masculina	33
	Internação de clínica médica feminina	6
	Internação de clinica cirúrgica feminina	6
Internação pediátrica	Internação pediátrica clínica e cirúrgica masculina	33
	Internação pediátrica clínica e cirúrgica feminina	33
	Internação pediátrica clínica/cirúrgica masculino/feminino	33
Internação de queimados	Internação pediátrica de queimados masculino/feminino	33
Internação semi-intensiva	Internação semi-intensiva	8
Terapia intensiva	UTI adulto	10
	UTI infantil	8
	UTI queimados	6
Total		242

Fonte: A autora

Em sua organização funcional o hospital conta com o total de 3.169 funcionários (Tabela 3.2) e chega a atender, segundo assessoria de imprensa, cerca de 300 pacientes diariamente, fornece ainda um número de cinco refeições diárias para pacientes, duas para acompanhantes e três para funcionários, totalizando em torno de 348.210 refeições por mês.

Tabela 3.2 – Quantitativo de funcionários do Hospital de Trauma

Cargo	Quantitativo
Médicos	256
Médicos residentes	12
Estagiários	180
Enfermeiros	207
Técnicos de enfermagem	589
Fisioterapeutas	50
Assistentes sociais	36
Psicólogos	22
Nutricionistas	12
Farmacêuticos	24
Bioquímicos	11
Técnicos de laboratórios	23
Técnicos de radiologia	47
Funcionários técnico-administrativos	1.700
Total	3.169

Fonte: elaborada pela autora

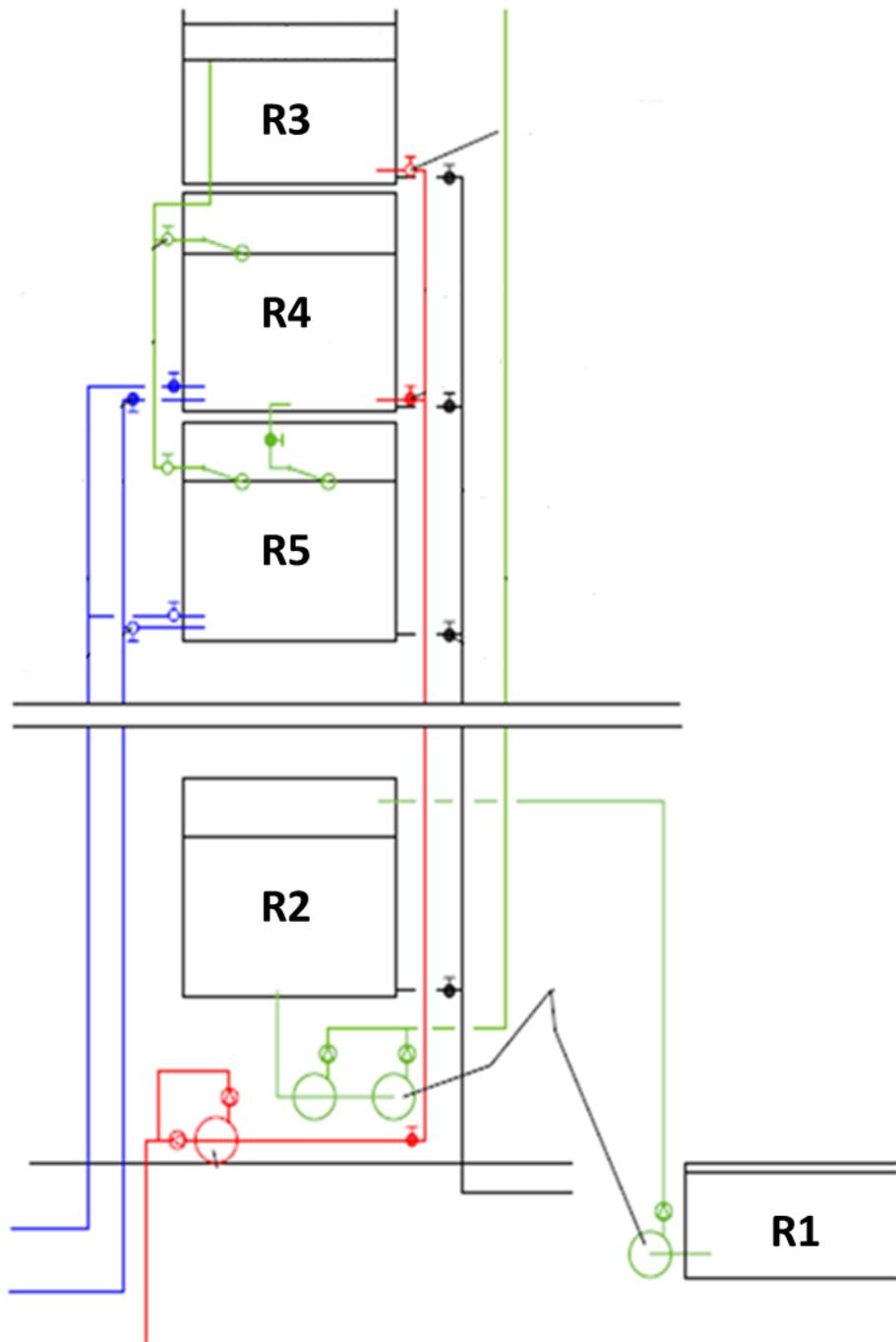
3.4 Sistema de abastecimento de água do Hospital de Trauma

Inicialmente foi descrito todo o sistema de abastecimento de água, sem considerar, no entanto o manancial, captação, adução e rede de distribuição, porque o objeto deste estudo foi o sistema de abastecimento do hospital. Foi realizada uma análise do sistema de abastecimento para ser obtido um entendimento das características físicas, hidráulicas e sanitárias da unidade em estudo.

O sistema de abastecimento do Hospital de Trauma é composto por um conjunto de reservatórios situados externamente aos módulos hospitalares com capacidade total de 490 m³, um reservatório enterrado e quatro que compõem o “Castelo d’água” Deste total, 60 m³ são destinados à reserva de combate a incêndio e 430 m³ para consumo, distribuídos entre um reservatório inferior (170 m³), um reservatório de recalque (80 m³) e reservatórios elevados (180 m³).

A alimentação dos reservatórios é feita a partir da rede pública da concessionária, então (CAGEPA) que alimenta o reservatório inferior (R1) daí a água é recalçada para um dos reservatórios superiores (R2), e deste é recalçada novamente para o R3. Em seguida, a água verte para os outros abaixo (R4 e R5) por gravidade. A Figura 3.2 apresenta o conjunto de reservatórios do Hospital de Trauma.

Figura 3.2 - Detalhes do “Castelo d’água”, conjunto de reservatórios do Hospital de Trauma.

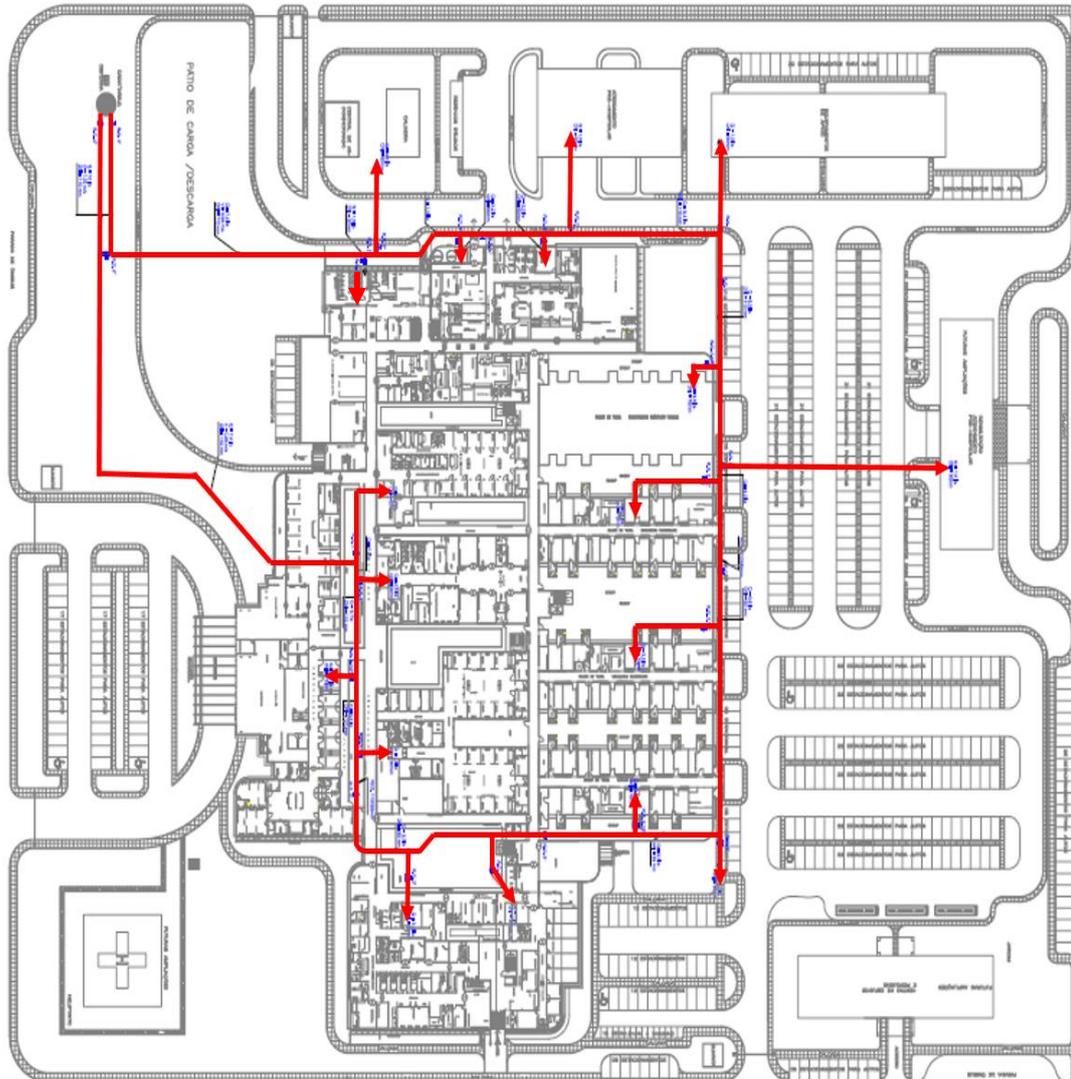


Fonte: A autora

Do R4 sai uma tubulação que forma um anel de distribuição em torno dos módulos que compõem o conjunto de edificações do complexo hospitalar. Em pontos convenientemente escolhidos saem vazões para o abastecimento de cada módulo. Estes ramais de abastecimento sobem para a parte superior de cada bloco, onde formam barriletes de distribuição para as colunas verticais, de onde os ramais

e sub-ramais são abastecidos. A Figura 3.3 mostra a rede de distribuição geral de água do Hospital de Trauma.

Figura 3.3– Rede geral de distribuição de água do hospital de Trauma



Fonte: Superintendência de Obras do Plano de Desenvolvimento do Estado (SUPLAN)

3.5 Procedimentos utilizados na avaliação da qualidade da água

Os dados usados para avaliar a vulnerabilidade da qualidade da água foram obtidos a partir de análises realizadas entre os dias 22 de março e 22 de junho de 2013. Os indicadores foram escolhidos para caracterizar a água sob a ótica dos riscos físicos, químicos e microbiológicos.

3.5.1 Pontos de coleta

Para a realização das coletas foram determinados 14 pontos para as análises físico-químicas, que representam o sistema de abastecimento do hospital. A localização dos pontos de amostragem está disposta na Tabela 3.3.

A escolha dos pontos se deu levando em consideração as áreas nas quais havia autorização para ter acesso. Além disso, foram priorizados os pontos mais próximos das entradas de água nas unidades.

Tabela 3.3- Pontos de coleta

Pontos	Setores
P0	Entrada da rede
P1	Cisterna
P2	Entrada de funcionários
P3	Emergência
P4	Cozinha/refeitório
P5	Enfermaria neuro/ buco maxilo
P6	Enfermaria ortopédica
P7	Enfermaria de queimados
P8	Administração/Laboratórios
P9	Área de circulação (UTI Adulto)
P10	Sala de treinamento
P11	Enfermaria clínica
P12	Enfermaria pediátrica
P13	Enfermaria cirúrgica

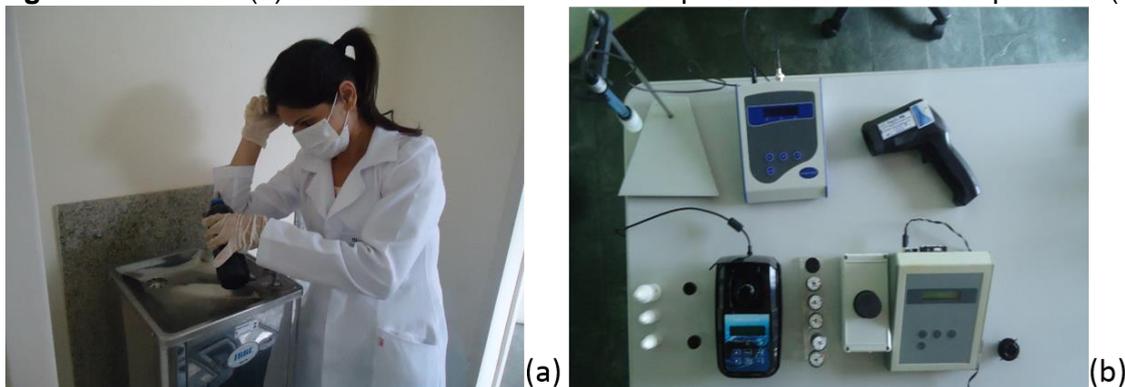
Fonte: elaborada pela autora

Para a escolha dos pontos onde seriam realizadas as análises microbiológicas, foram observados aqueles que, de acordo com os resultados físico-químicos, seriam os mais vulneráveis. Assim os pontos escolhidos foram P0, P3, P4 e P8. O P0, que corresponde à entrada de água no sistema, foi escolhido para se ter um controle da qualidade microbiológica da água que chega ao hospital.

3.5.2 Metodologia de coleta e preservação das amostras

As amostras para análises físico-químicas (cloro residual livre e combinado, turbidez, pH e temperatura) foram coletadas semanalmente com horário de início das coletas às 14h, totalizando 35 amostras para os indicadores físico-químicos e 30 para os indicadores microbiológicos, as análises eram feitas sempre em triplicata, utilizando garrafas PET cobertas por fita adesiva preta, para proteger a amostra contra a incidência de luz (Figura 3.4a). Antes da coleta a água era deixada escoar livremente da torneira por 2 minutos, para remover a água estagnada na tubulação. As análises foram realizadas *in loco*, montando-se um laboratório itinerante (Figura 3.4b), sendo todas elas realizadas em triplicata.

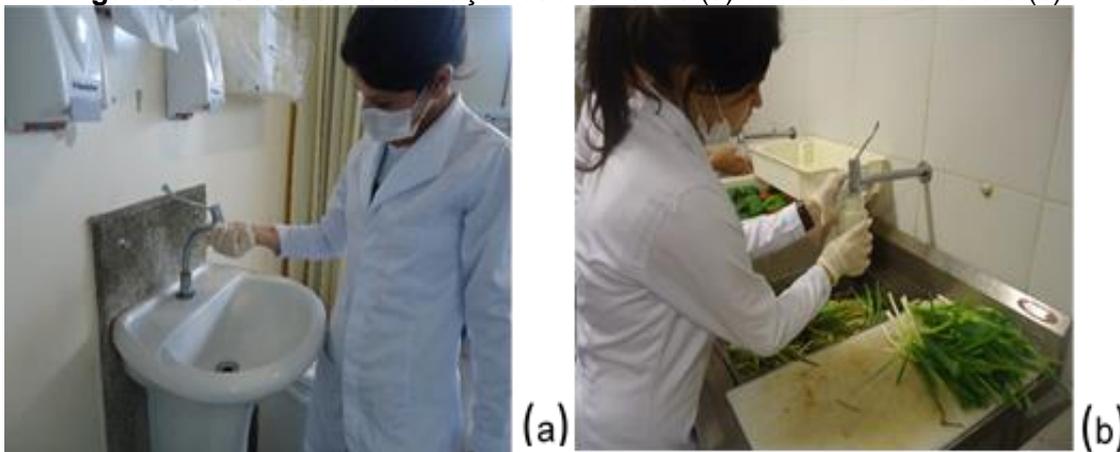
Figura 3.4- Coleta (a) e laboratório montado in loco para as análises físico-químicas (b)



Fonte: A autora

Na coleta das amostras para análise das variáveis bactérias heterotróficas e coliformes totais foram utilizados frascos de plástico estéreis com capacidade de 250 ml com boca larga, tampa rosqueada, e protegida com papel laminado. Na esterilização desses frascos, inicialmente era feita a adição de 0,1 mL de solução de tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) a 10% para cada 100 mL de água a ser coletada, cuja função era inibir a ação do cloro. Após a adição de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, os frascos eram esterilizados em autoclave a 121°C por 15 a 20 minutos. Depois de todos os procedimentos de esterilização as garrafas eram levadas para o local da coleta onde ocorria a esterilização da torneira (Figura 3.5a), com álcool a 70%, e, em seguida, a água era deixada escoar por 2 minutos, para remover a água estagnada na tubulação, logo depois era feita a coleta (Figura 3.5b). Então as amostras coletadas eram conservadas em um recipiente térmico, com gelo, e levadas para o Laboratório de Análise de Água da UFCG onde eram realizados os procedimentos restantes.

Figura 3.5– Coletas: Esterilização das torneiras (a) e Momento da coleta (b).



Fonte: A autora

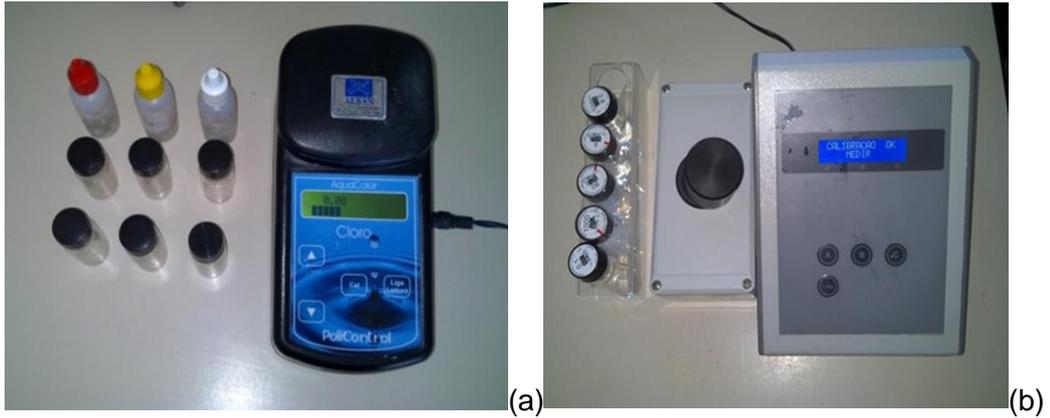
3.5.3 Métodos analíticos

Os procedimentos analíticos utilizados na pesquisa seguiram as recomendações descritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA-AWWA-WPCF, 2005).

3.5.3.1 CRL e CRC

Para determinação do cloro residual foi utilizado o método DPD – Colorimétrico. O DPD (N, N-dietil-p-fenileno-diamina), em solução ácida, dissolvido na amostra pré-alcalinizada com fosfato, forma um tampão de pH na faixa de 6,2 a 6,5. Na ausência de íons iodeto, o DPD reage com cloro livre, produzindo uma coloração róseo-avermelhada. Nesta reação, a intensidade da cor varia proporcionalmente à concentração do cloro presente, em conformidade com a Lei de Beer. A fração correspondente ao cloro residual combinado foi determinada pela diferença numérica entre o cloro residual total e o livre. O equipamento utilizado foi um colorímetro microprocessado de leitura direta modelo Aquacolor Cloro (Figura 3.6a).

Figura 3.6 -. Equipamentos: Colorímetro de leitura direta modelo Aquacolor Cloro (a) e Turbidímetro TECNOPON modelo TB-1000 (b).



Fonte: a autora

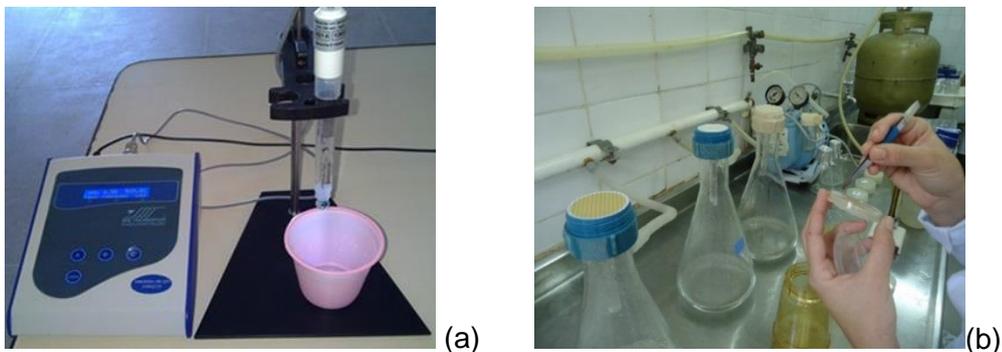
3.5.3.2 Turbidez

A turbidez foi medida pelo método nefelométrico com a utilização de um turbidímetro portátil de bancada TECNOPON modelo TB-1000 (Figura 3.6b).

3.5.3.3 pH

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, com o auxílio do pH - metro portátil TECNOPON modelo PA210 P (Figura 3.7a), calibrado com soluções tampões de pH 7 e 4. As leituras de pH foram feitas de forma direta em alíquotas de amostras coletadas.

Figura 3.7 - pH-metro portátil TECNOPON modelo PA210 P (a) e membranas filtrantes (b)



Fonte: A autora

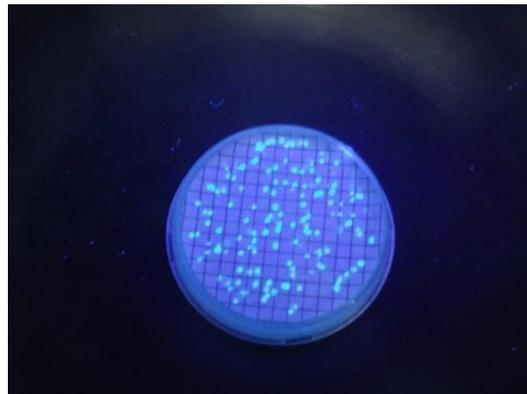
3.5.3.4 Coliformes totais

Para determinação dos coliformes totais foi utilizada a técnica de membrana filtrante (Presença/Ausência) que se baseia na filtração de volumes adequados de água, mediante pressão negativa (vácuo), através de membrana filtrante com porosidade de 0,45 μm (Figura 3.7b).

3.5.3.5 Bactérias heterotróficas

Para a determinação das bactérias heterotróficas foi utilizado o método de plaqueamento em profundidade (“Pour Plate”), utilizando meio PCA (Plate Count Agar), e os resultados expressos em unidades formadoras de colônia por mililitro (UFC/mL). A Figura 3.8 ilustra a leitura das placas no contador de colônias.

Figura 3.8-Leitura das placas no contador de colônias



Fonte: A autora

4.0 Análise dos dados

Os diversos conjuntos amostrais dos indicadores quantificados nos pontos amostrados foram estudados para a 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 35 dados para as análises físico - químicas e de 30 para os microbiológicos. Esse método testa a existência de *outliers* num universo amostral baseado na comparação do *outlier* suspeito com o valor estimado no método.

A fim de verificar se os conjuntos dos dados amostrais apresentavam distribuição normal, foi aplicado o teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov a todos esses conjuntos de dados, sendo utilizado, para tanto, o Programa *SPSS for Windows* na versão 13.0. Para os dados que não apresentaram distribuição normal foi necessária a utilização de transformações matemáticas simples, com o objetivo de normalizá-los. Em seguida, a todos os conjuntos de dados amostrais, de uma mesma variável, foi aplicada a análise da variância (ANOVA) de fator único, ao nível de significância de 5%, para determinar a existência ($P < 0,05$), ou não ($P > 0,05$), de diferenças significativas entre eles. Foi verificado que os resultados mostraram a existência de diferenças significativas em algumas das variáveis estudadas. Foi aplicado, então, o método gráfico GT-2, no qual 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. A Figura 3.9 reúne as representações GT-2 referentes aos indicadores monitorados nos pontos de amostragem e a Tabela 3.4 mostra os resultados encontrados para coliformes totais.

Figura 4.1 – Representação GT-2 para CRL (a), turbidez (b), CRC (c), pH (d) e bactérias heterotróficas (e)

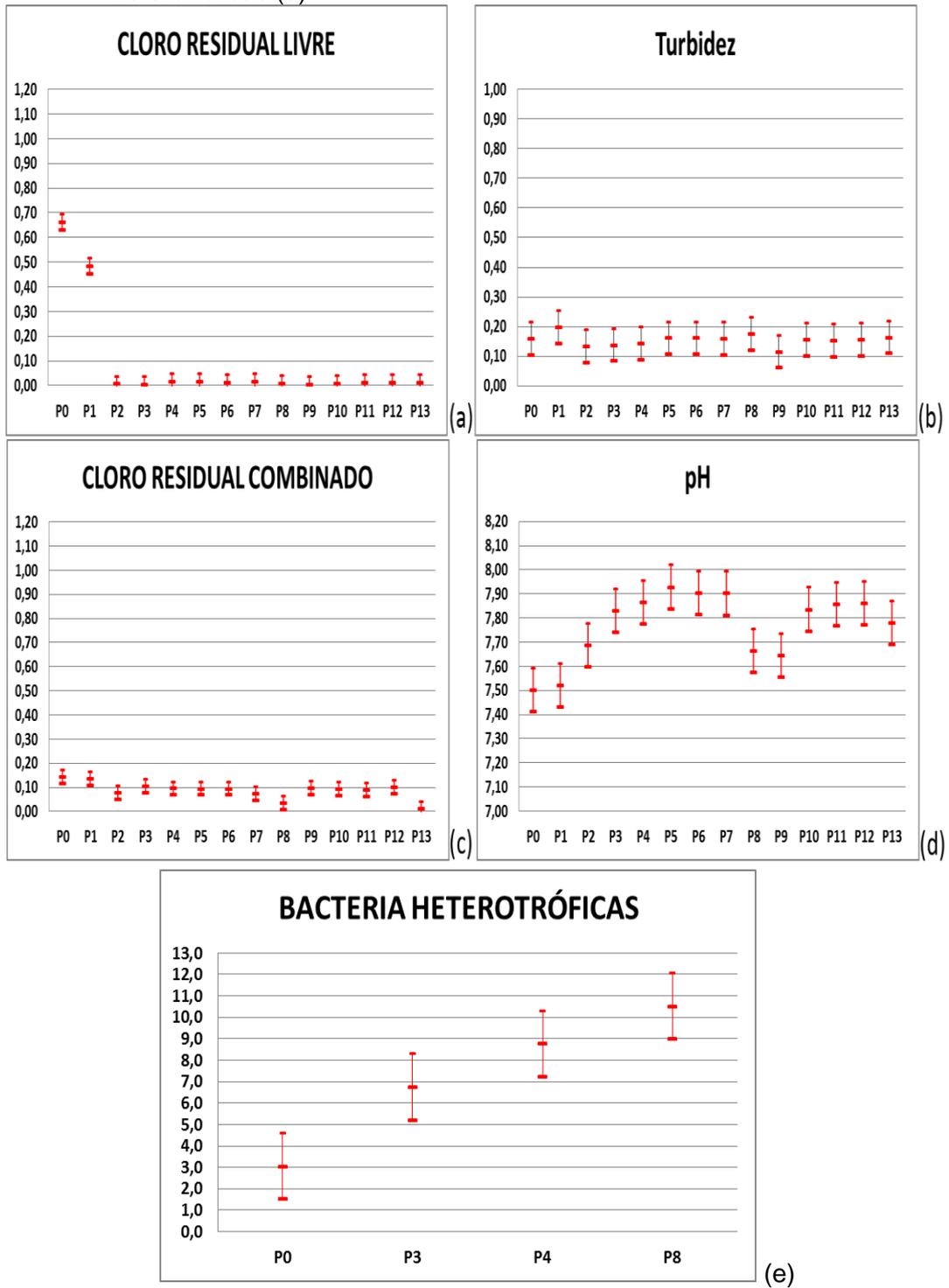


Tabela 4.1- Resultados para o grupo coliformes totais

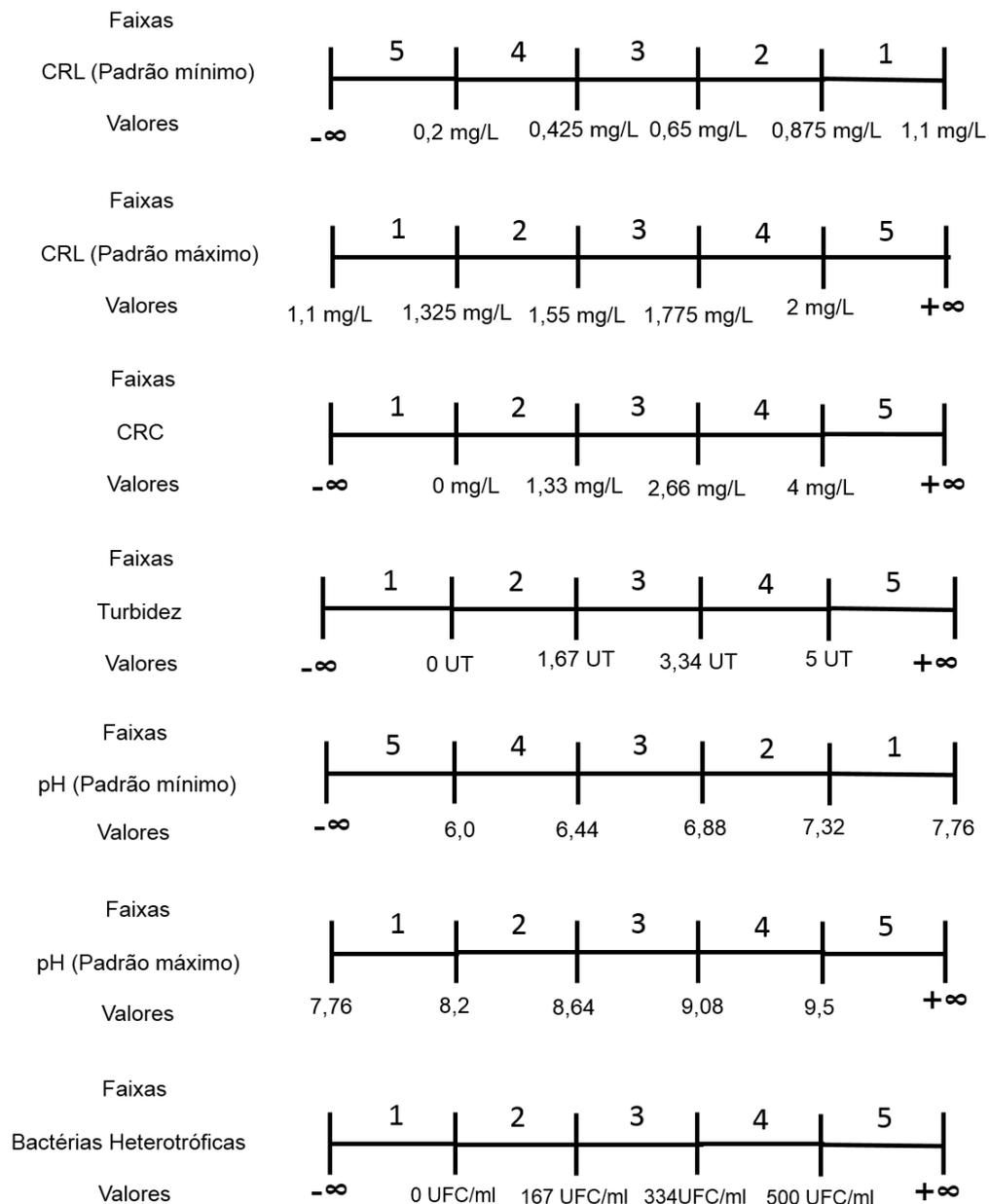
Nº da análise	P0	P3	P4	P8
1	A-A-A	P-A-P	P-P-P	P-A-P
2	P-P-P	P-P-P	P-P-P	P-P-P
3	P-P-P	P-P-P	P-P-P	P-P-P
4	P-P-P	P-P-P	P-P-P	P-P-P
5	P-A-P	P-P-P	P-P-P	P-P-P
6	A-A-A	A-A-P	A-P-P	P-P-P
7	A-P-A	P-P-A	P-P-P	P-P-P
8	A-A-A	P-P-A	P-P-P	P-P-P
9	P-P-P	P-P-P	P-P-P	P-P-P
10	P-P-P	P-P-P	P-P-P	P-P-P
11	P-P-P	P-P-P	P-P-P	P-P-P
12	P-P-P	P-A-P	P-P-P	P-P-P
13	P-P-P	P-P-P	P-P-P	P-P-P
14	P-A-A	P-P-P	P-P-P	P-P-P
15	P-P-P	P-P-P	P-P-P	P-P-P
16	A-A-A	P-P-P	P-P-P	P-P-P
17	P-P-P	P-P-P	P-P-P	P-P-P
18	P-P-P	P-P-P	P-P-P	P-P-P
19	A-A-A	P-P-P	P-P-P	P-P-P
20	P-P-P	P-P-P	P-P-P	P-P-P
21	P-P-P	P-P-P	P-P-P	P-P-P
22	A-A-P	P-P-A	P-P-P	P-P-P
23	P-P-P	P-P-P	P-P-P	P-P-P
24	P-P-P	P-P-P	P-P-P	P-P-P
25	P-A-P	P-A-P	P-P-P	P-P-P
26	P-P-P	P-P-P	P-P-P	P-P-P
27	P-P-P	P-P-P	P-P-P	P-P-P
28	A-A-A	A-A-P	P-P-P	P-P-P
29	P-P-P	P-P-P	P-P-P	P-P-P
30	P-P-P	P-P-P	P-P-P	P-P-P

Nota: A - Ausência; P – Presença

Após o tratamento estatístico dos dados, para representá-los através de medidas de tendência central foi criada uma classificação para esses valores baseados nos VMP's (Valores Máximos Permitidos) da Portaria 2914/2011 do MS. Para os indicadores em que há padrões máximos e mínimos, foi estimada a média entre estes e, a partir da média, foram estabelecidas duas regiões, uma do padrão mínimo à média e uma da média ao padrão máximo, cada região contando com 5

faixas, representados por valores de 1 a 5, seguindo à metodologia descrita por Ogata (2011). As faixas para todos os indicadores são apresentadas na Figura 3.10.

Figura 4.2 – Classificação para os parâmetros CRL (padrão mínimo), CRL (padrão máximo), Turbidez, CRC, pH (padrão mínimo), pH (padrão máximo) e Bactérias Heterotróficas



Fonte: A autora

Como a Portaria Nº 2914/2011 estabelece que deve haver ausência de coliformes totais, ou seja, não existe um VMP que padronize a concentração deste

indicador, foi admitido que para ele existem apenas duas faixas, a faixa 1, em caso de resultados negativos, e faixa 5, quando ocorrerem resultados positivos.

Na referida portaria é ainda estabelecido que o VMP para CRL deve ser de 5 mg/L, no entanto, na mesma portaria recomenda-se que o teor máximo desejável de cloro residual seja de 2,0 mg/L em qualquer ponto do sistema de abastecimento. Sendo assim, foi admitido, neste trabalho, o último valor como sendo o limite superior para o CRL.

4.1 Avaliação de risco

Para avaliação de risco foi proposto o método FMEA, o mesmo utilizado por Ogata (2011), no caso ele aplicou o FMEA ao sistema de distribuição de água de do município de Campina Grande. O FMEA é um método simples e flexível, que se baseia nos modos e nos efeitos de falhas potenciais.

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

O levantamento das falhas em potencial foi baseada nos indicadores estudados em cada ponto de amostragem, tendo como base os padrões estabelecidos na Portaria Nº 2914/2011 do MS. Os perigos listados foram da baixa concentração de CRL, da alta concentração de CRL, da alta turbidez, alta concentração de CRC, baixo pH, alto pH, alta concentração de bactérias heterotróficas e presença de coliformes totais.

Na construção do Formulário FMEA, foram levados em consideração, o efeito, a causa, as medidas mitigadoras e os escores de quantificação do risco, similarmente à estrutura do formulário usado por Ogata (2011). A alteração feita diz respeito à exclusão da classificação do risco, por motivos que serão explicados posteriormente.

Os efeitos são os principais problemas gerados pela falha ou perigo, as causas os principais motivos que levaram à ocorrência da falha e as medidas mitigadoras tudo aquilo que pode ser adotado para compensar, reparar, evitar e mitigar cada falha específica e seus efeitos. Os escores são uma questão à parte,

sendo em torno deles que giram todas as discussões entre os especialistas consultores *ad hoc* reunidos. Os consultores *ad hoc* atribuem escores aos aspectos: Severidade (S), Ocorrência (O), Detecção (D), Abrangência (A), através deles é estimado o Risco (R).

A severidade deve ser entendida como a magnitude que tem o perigo caso ele ocorra, o quão problemático pode ser aquele risco caso ele ocorra. A ocorrência significa a frequência com que o evento perigoso ocorre atualmente no processo. Sendo assim, se há ocorrência o risco é real, ao contrário é apenas um risco potencial, então, A ocorrência já é uma classificação do risco, por isso foi excluída do formulário utilizado por Ogata (2011) este aspecto. A detecção mostra qual o grau de facilidade de percepção do perigo, antes que ele ocorra, pelos instrumentos e métodos de controle do sistema. A abrangência é a região que o perigo pode afetar em relação à área que o processo ocupa. Por fim, o resultado, ou risco (R), é calculado pelo produto dos escores atribuídos aos aspectos supracitados.

Os escores atribuídos aos aspectos analisados (severidade, ocorrência, detecção e abrangência) variam com valores de 1 a 3, sendo 1 para as situações mais favoráveis, 3 para situações críticas e o valor 2 é atribuído para situações intermediárias. Por exemplo: quando a substância não causa efeitos à saúde humana o grau de Severidade é 1, mas se forem causados danos entre leves e moderados, que não persistam com o tempo a severidade recebe peso 2. Na situação crítica os efeitos sobre a saúde são severos e persistem por longo período de tempo ou até mesmo por toda a vida e, neste caso o grau de severidade é 3.

O Formulário FMEA aplicado encontra-se no Apêndice A.

A tabela de escores que norteou a escolha dos escores no Formulário FMEA, está no Apêndice B, tendo sido baseada em outra tabela de escores desenvolvida por Ogata (2011) que consta no anexo A.

As mudanças feitas na tabela original tiveram o objetivo de adequá-la ao sistema analisado. Tendo ocorrido alterações na severidade de níveis 3 (alta), 2 (moderada) e 1 (baixa) com a retirada da característica de muito, danosas e pouco danosas a meio ambiente à saúde humana, respectivamente. Foram incluídos no nível 3 características de efeitos severos e/ou agudos à saúde humana e ao nível 2 características de efeitos leves, moderados e/ou crônicos.

Na ocorrência as alterações se deram devido ao universo amostral adotado, para este estudo foram feitas 35 análises para os indicadores físico-químicos e 30

para os microbiológicos. Sendo assim, foi considerada a ocorrência de nível 3 (alta) quando ocorre de 5% a 100% de não conformidades, nível 2 (moderado) quando ocorre não-conformidade em até 5% das amostras analisadas e nível 1 (baixa) quando não existem não-conformidades.

A abrangência também foi modificada, sendo considerada não a área abrangida, mas a quantidade de pessoas afetadas. Para este aspecto, foram atribuídos dois níveis, nível 3 (alta) quando afeta pacientes, funcionários e acompanhantes e nível 1 (baixa) quando ninguém é afetado. A inexistência da condição intermediária (nível 2 – moderada) é explicada pelo fato da rede de distribuição pós-reservação ser pequena e cíclica, sendo assim a água consumida abrange o mesmo número de pessoas em qualquer ponto compreendido na pós-reservação.

Após a coleta e tratamento dos dados, numa reunião que contou com a presença de especialistas que discutiram os aspectos de cada perigo, levando em consideração os dados coletados, as causas, os efeitos e as medidas mitigadoras para estes, o formulário FMEA foi preenchido, baseando-se nos valores pré-determinados pela tabela de escores. A avaliação e preenchimento do formulário se deram para dois grupos de dados, um formado pelos pontos P0 (entrada da rede) e P1(reservada) e outro pelos demais pontos (P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10 e P12) todos pós-reservação, pois como visto na representação do GT-2 os elementos de um mesmo grupo tendem a apresentar comportamento semelhante.

4.1.2 - Soma ponderada dos riscos

Após o preenchimento dos escores de severidade, ocorrência, detecção, abrangência e resultado de risco para cada perigo listado no Formulário FMEA, foi estimada a importância percentual de cada risco analisado no risco total do Hospital de Trauma. Baseado no entendimento que todo risco inerente aos sistemas se resume aos riscos listados no Formulário FMEA, pode ser determinada a porcentagem de cada risco no risco total do sistema, através de um cálculo simples de soma ponderada, através do produto do somatório dos riscos pelo o risco individual, utilizando a Equação 6.

$$P = \left(\frac{R_1}{\sum_1^n} \right) \quad (6)$$

P= Ponderação;
 R₁ = Risco Individual;
 n= Quantidade de Risco;
 Σ_R = Soma de Todos os Riscos.

4.1.3 - Cálculo do risco total

Após as etapas de ponderação dos riscos individuais e estatística e classificação dos dados, foi possível o cálculo do risco total de um ponto, calculado através da soma de todos os produtos da multiplicação da classificação do indicador pela ponderação do seu respectivo risco.

Tendo em vista que a metodologia FMEA é aplicada apenas ao mesmo conjunto de dados, foi necessário atribuir uma classificação àqueles pontos nos quais não foram feitas análises de coliformes totais e bactérias heterotróficas. Essa atribuição levou em consideração que já no ponto P0 (entrada da rede) foram detectados coliformes totais e bactérias heterotróficas e que esta situação se repetiu na pós-reservação o que nos leva a presumir que o perigo referente a estes parâmetros se propaga da mesma forma para todo o sistema, por se tratar de um sistema pequeno e cíclico, como argumentado anteriormente. Desta forma, foi atribuído a estes pontos a mesma classificação encontrada para os pontos em que foram feitas as análises de coliformes totais e bactérias heterotróficas. O risco total máximo foi determinado para os dois grupos de pontos, grupo1 (P0 e P1) e grupo 2 (P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10 e P12). O risco total máximo para o grupo 1 é de 4,7 e para o grupo 2 é de 4,5. Estes valores ocorrem devido à existência de alguns riscos excludentes, o que está relacionado aos parâmetros que têm valores máximos e mínimos. Por exemplo: se houver o perigo de alta concentração de CRL, não existe o perigo de baixa concentração de CRL e vice-versa, é o que ocorre também para o indicador pH.

Com o risco calculado, é necessário classificá-lo para facilitar o entendimento e para isso, foi criada uma classificação em 5 faixas, a classificação segue a mesma feita por Ogata (2011), os intervalos das faixas de risco

representam o sistema estudado. Devido aos fatores citados anteriormente, foi criada a Tabela 4.2 de classificação do risco total.

Tabela 4.2 – Classificação do risco total para os Grupos 1 e 2

Grupo 1	
Faixa (intervalo do risco)	Classificação
$0 \leq x \leq 0,94$	Desprezível
$0,94 < x \leq 1,88$	Baixo
$1,88 < x \leq 2,82$	Moderado
$2,82 < x \leq 3,76$	Alto
$3,76 < x \leq 4,7$	Crítico
Grupo 2	
Faixa (intervalo do risco)	Classificação
$0 \leq x \leq 0,9$	Desprezível
$0,9 < x \leq 1,8$	Baixo
$1,8 < x \leq 2,7$	Moderado
$2,7 < x \leq 3,6$	Alto
$3,6 < x \leq 4,5$	Crítico

Fonte: A autora

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da monitoração das variáveis de qualidade da água foram inicialmente analisados através da estatística descritiva e da verificação da ocorrência de conformidade/não-conformidade com a Portaria MS Nº 2914/11, para os 14 pontos de coleta (Tabelas 5.1 a 5.3).

Tabela 5.1 – Estatística descritiva e frequência de conformidades e não- conformidades de indicadores sentinelas da qualidade da água para os pontos P0, P1, P2, P3 e P4.

Ponto	Variável	Média	Mediana	Desvio padrão	Conformidade		Não-conformidade	
					Nº	%	Nº	%
P0	CRL	0,66	0,7	0,17	35	100,0	0	0,0
	CRC	0,14	0,13	0,09	0	0,0	35	100,0
	Turbidez	0,16	0,2	0,13	35	100,0	0	0,0
	pH	7,50	7,49	0,22	35	100,0	0	0,0
	BH	15,66 7	2	27,67	30	100,0	0	0,0
	CT	-	-	-	6	20,0	24	80,0
P1	CRL	0,48	0,49	0,21	32	91,4	3	8,5
	CRC	0,13	0,11	0,09	0	0,0	35	100,0
	Turbidez	0,20	0,2	0,19	35	100,0	0	0,0
	pH	7,52	7,54	0,21	35	100,0	0	0,0
	BH	-	-	-	-	-	-	-
	CT	-	-	-	-	-	-	-
P2	CRL	0,66	0,7	0,17	6	17,1	29	82,8
	CRC	0,078	0,08	0,05	0	0,0	35	100,0
	Turbidez	0,13	0,1	0,12	35	100,0	0	0,0
	pH	7,69	7,76	0,29	35	100,0	0	0,0
	BH	-	-	-	-	-	-	-
	CT	-	-	-	-	-	-	-
P3	CRL	0	0	0,01	6	17,1	29	82,8
	CRC	0,105	0,12	0,07	0	0,0	35	100,0
	Turbidez	0,14	0,2	0,11	35	100,0	0	0,0
	pH	7,83	7,89	0,23	35	100,0	0	0,0
	BH	59,73 3	32	56,899	29	96,67	1	3,33
	CT	-	-	-	0	0,0	30	100,0
P4	CRL	0,02	0	0	10	28,5	25	71,4
	CRC	0,09	0,1	0,06	0	0,0	35	100,0
	Turbidez	0,14	0,2	0,12	35	100,0	0	0,0
	pH	7,86	7,91	0,2	35	100,0	0	0,0
	BH	106,6 2	62,5	121,91	29	96,67	1	3,33
	CT	-	-	-	0	0,0	30	100,0

Durante o período analisado, foi verificado que em 13 dos 14 pontos de coletas analisados ocorreram violações em relação às concentrações de cloro residual livre preconizadas pela Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde, que estabelece uma concentração mínima de 0,2 mgCl₂/l em qualquer ponto da rede de distribuição, caracterizando, desta forma, uma situação de potencial risco à saúde da população atendida no Hospital de Trauma, levando em consideração que o problema torna-se ainda mais grave, por se tratar, na maioria, de pessoas doentes e, portanto, com a imunidade debilitada.

Tabela 5.2 – Estatística descritiva e frequência de conformidades e não-conformidades de indicadores sentinelas da qualidade da água nos pontos P5, P6, P7, P8 e P9.

Ponto	Variável	Média	Mediana	Desvio padrão	Conformidade		Não-conformidade	
					N°	%	N°	%
P5	CRL	0,02	0	0,03	10	28,5	25	71,4
	CRC	0,09	0,08	0,06	0	0,0	35	100,0
	Turbidez	0,16	0,2	0,13	35	100,0	0	0,0
	pH	7,93	7,97	0,21	35	100,0	0	0,0
	BH	-	-	-	-	-	-	-
	CT	-	-	-	-	-	-	-
P6	CRL	0,01	0	0,02	8	22,8	27	77,1
	CRC	0,09	0,09	0,06	0	0,0	35	100,0
	Turbidez	0,16	0,2	0,12	35	100,0	0	0,0
	pH	7,90	7,94	0,19	35	100,0	0	0,0
	BH	-	-	-	-	-	-	-
	CT	-	-	-	-	-	-	-
P7	CRL	0,02	0	0,02	13	37,1	22	62,8
	CRC	0,07	0,07	0,05	0	0,0	35	100,0
	Turbidez	0,16	0,2	0,12	35	100,0	0	0,0
	pH	7,90	7,94	0,21	35	100,0	0	0,0
	BH	-	-	-	-	-	-	-
	CT	-	-	-	-	-	-	-
P8	CRL	0,01	0	0,01	6	17,1	29	82,8
	CRC	0,03	0,02	0,04	0	0,0	35	100,0
	Turbidez	0,17	0,2	0,16	35	100,0	0	0,0
	pH	7,66	7,71	0,19	35	100,0	0	0,0
	BH	134,86	122,5	108,43	28	93,33	2	6,67
	CT	-	-	-	-	-	30	100,0
P9	CRL	0	0	0,01	4	11,4	31	88,6
	CRC	0,095	0,11	0,08	0	0,0	35	100,0
	Turbidez	0,11	0,2	0,09	35	100,0	0	0,0
	pH	7,64	7,67	0,2	35	100,0	0	0,0
	BH	-	-	-	-	-	-	-
	CT	-	-	-	-	-	-	-

Os pontos que apresentaram a maior frequência das análises em desacordo com o padrão se localizam na pós-reservação (P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10,

P11, P12 e P13) ratificando a hipótese de que a falta de manutenção dos reservatórios de distribuição e acumulação e no sistema de abastecimento predial causa degradação da qualidade da água consumida no hospital.

Tabela 5.3 – Estatística descritiva e frequência de conformidades e não- conformidades de indicadores sentinelas da qualidade da água para os pontos P10, P11, P12 e P13

Pon to	Variável	Média	Mediana	Desvio padrão	Conformidade		Não-conformidade	
					Nº	%	Nº	%
P10	CRL	0,01	0	0,01	7	20,0	28	80,0
	CRC	0,09	0,1	0,07	0	0,0	35	100,0
	Turbidez	0,15	0,2	0,13	35	100,0	0	0,0
	pH	7,84	7,9	0,23	35	100,0	0	0,0
	BH	-	-	-	-	-	-	-
	CT	-	-	-	-	-	-	-
P11	CRL	0,01	0	0,02	7	20,0	28	80,0
	CRC	0,09	0,1	0,06	0	0,0	35	100,0
	Turbidez	0,15	0,2	0,13	35	100,0	0	0,0
	pH	7,86	7,93	0,21	35	100,0	0	0,0
	BH	-	-	-	-	-	-	-
	CT	-	-	-	-	-	-	-
P12	CRL	0,01	0	0,02	11	31,4	24	68,6
	CRC	0,09	0,11	0,07	35	100,0	0	0,0
	Turbidez	0,15	0,2	0,13	35	100,0	0	0,0
	pH	7,86	7,87	0,19	35	100,0	0	0,0
	BH	-	-	-	-	-	-	-
	CT	-	-	-	-	-	-	-
P13	CRL	0,01	0	0,02	12	34,3	23	65,7
	CRC	0,01	0	0,02	0	0,0	35	100,0
	Turbidez	0,16	0,2	0,14	35	100,0	0	0,0
	pH	7,78	7,82	0,25	35	100,0	0	0,0
	BH	-	-	-	-	-	-	-
	CT	-	-	-	-	-	-	-

Quanto à turbidez, é possível perceber que em nenhum dos pontos o padrão estabelecido pela Portaria Nº 2914/2011 foi violado; esta preconiza que o limite máximo para qualquer ponto do sistema de distribuição deve ser de 5,0 uT. Tal grau de conformidade também ocorreu para pH e CRC; a Portaria Nº 2914/2011 do MS recomenda que o pH seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5, enquanto o CRC têm VMP de 4 mg/L.

Para o indicador bactérias heterotróficas, nos quatro pontos monitorados, houve um crescimento significativo em sua contagem, sendo que os pontos que

ultrapassaram o limite máximo estabelecido pela Portaria Nº 2914/2011, que é de 500 UFC/ML foram P3, P4 e P8, sendo que os dois primeiros apresentaram 3,3 % de irregularidade e o último 6,67%. Para esses mesmos pontos houve também a detecção da presença de coliformes totais. No ponto P0, foram detectados coliformes em 80% das amostras, enquanto nos pontos P3, P4 e P8 100% apresentaram coliformes totais. Os dados mostram a necessidade da criação de um plano de manutenção corretiva e preventiva do sistema de abastecimento de água do Hospital, procurando, desta forma, evitar as contaminações no sistema de abastecimento e que suas prováveis consequências negativas tornem-se mais graves.

Após o tratamento estatístico dos dados, através de medidas de tendência central, estes foram classificados segundo as faixas descritas na Figura 3.10. As Tabelas 5.4 e 5.5 resumem os valores de tendência central para cada indicador em cada ponto de amostragem, bem como a classificação desses; esta classificação, posteriormente, será utilizada para quantificar o risco individual de cada ponto amostrado.

Tabela 5.4– Resumo das medidas de tendência central e classificação dos parâmetros para os pontos P0, P1, P2 e P3

	Ponto de Amostragem	CRL (mg/l)	Turbidez (UT)	CRC (mg/L)	pH	CT	BH (UFC/mL)
Média	P0	0,66	0,16	0,14	7,50	P	15,67
Classificação		2 *	4	4	1 *	5	2
Média	P1	0,48	0,20	0,13	7,52	-	-
Classificação		3*	4	4	1 *	5	2
Média	P2	0,01	0,13	0,08	7,77	-	-
Classificação		5 *	4	4	1 *	5	2
Média	P3	0,01	0,14	0,11	7,83	P	59,73
Classificação		5*	4	4	1**	5	2

* Padrão mínimo** Padrão máximo

Tabela 5.5 – Resumo das medidas de tendência central e classificação dos parâmetros para os pontos P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12 e P13

	Ponto de Amostragem	CRL (mg/l)	Turbidez (UT)	CRC (mg/L)	pH	CT	BH (UFC/mL)
Média	P4	0,01	0,14	0,09	7,8648	P	107,59
Classificação		5 *	4	4	1 **	5	2
Média	P5	0,01	0,16	0,09	7,9280	-	-
Classificação		5 *	4	4	1**	5	2
Média	P6	0,01	0,16	0,09	7,9023	-	-
Classificação		5 *	4	4	1**	5	2
Média	P7	0,01	0,16	0,07	7,9014	-	-
Classificação		5*	4	4	1 *	5	2
Média	P8	0,01	0,17	0,03	7,6640	P	134,86
Classificação		5 *	4	4	1 *	5	2
Média	P9	0,00	0,11	0,09	7,6443	-	-
Classificação		5 *	4	4	1 *	5	2
Média	P10	0,01	0,15	0,09	7,8351	-	-
Classificação		5 **	4	4	1**	5	2
Média	P11	0,01	0,15	0,09	7,8560	-	-
Classificação		5*	4	4	1**	5	2
Média	P12	0,01	0,15	0,10	7,8597	-	-
Classificação		5 *	4	4	1*	5	2
Média	P13	0,01	0,01	0,09	7,7794	-	-
Classificação		5 *	4	4	1**	5	2

* Padrão mínimo ** Padrão máximo

5.1 Formulário FMEA para o Grupo1

Durante a reunião da equipe de especialistas foram preenchidos dois formulários FMEA (Tabelas 5.6 e 5.8). Para o formulário referente ao Grupo 1 o

escore de severidade atribuído ao perigo da baixa concentração de CRL foi 3, uma vez que a ocorrência desse perigo resulta na probabilidade da presença de microrganismos patogênicos, que podem vir a causar efeitos severos à saúde humana que podem persistir durante toda a vida. O escore da ocorrência foi considerado 1, pois de um total de 35 amostras, nenhuma delas estava em desacordo com o padrão mínimo estabelecido pela Portaria Nº 2914/2011 do MS. A detecção teve um escore 2, porque a forma de medição é simples e a abrangência foi considerada de valor 1, pois o perigo não atinge ninguém, visto que os pontos que compõem este grupo estão na parte externa do hospital, não existindo a possibilidade da existência de danos causados pelo consumo direto da água nesses pontos, pois o consumo ocorre apenas após a reservação. Pelo produto entre os escores, resultou num risco de 6.

Ainda para este grupo, o perigo de alta concentração de CRL obteve escore de severidade igual a 1, pelos mesmos motivos explicitados para o perigo anterior. Uma vez que não houve ocorrência deste evento o escore de ocorrência foi considerado 1. A detecção obteve escore 2, pela mesma condição do perigo de baixa concentração de CRL. A abrangência foi considerada 1, pois o perigo não chega ao consumidor, ainda que tenha havido a ocorrência deste evento o CRL tende a diminuir com o passar do tempo, diminuindo assim a probabilidade de ocorrência dos riscos. O risco total para a elevada concentração de CRL foi estimado como 2.

Outro perigo referente ao grupo 1 é o da alta turbidez na água potável, levando a um escore de severidade 3, pois além de interferir na desinfecção, é um indicador de ocorrência de oocistos e cistos de protozoários, podendo vir a causar efeitos severos e/ou agudos à saúde humana. A ocorrência obteve escore 1, pois num universo de 35 amostras, nenhuma delas apresentou não-conformidade. O escore da detecção foi considerado 2, uma vez que a faixa que interessa à potabilidade da água não é possível de ser detectada sem o auxílio de uma aparelhagem simples. A abrangência foi baixa, escore 1, pois a alta turbidez, neste grupo de pontos, pode ser diminuída devido à reservação. O risco foi então estimado em 6.

A alta concentração de CRC, para o grupo 1, obteve severidade 2, pois apesar de causar problemas à saúde humana, estes são apenas de leves ou moderados que não persistem com o tempo, isso porque o CRC possui um poder

oxidativo bem menor que o do CRL. Na ocorrência foi considerado um escore 1, pois não houve ocorrência deste evento no universo amostral. À detecção foi atribuído escore 2, visto que o método analítico utilizado em sua detecção é similar ao do CRL. O escore de abrangência foi igual a 1, pois o perigo não chega ao consumidor, e também sua concentração tende a diminuir com o tempo, pois a tricloramina, último estágio de oxidação do CRC, é extremamente volátil. A multiplicação desses resultados gerou um risco de 4.

Para o perigo de baixo pH, o escore de severidade foi 2, uma vez que ele auxilia na desinfecção, apesar de poder causar corrosão das tubulações podendo vir a contribuir com a existência de vazamentos que comprometem a qualidade da água. O escore da ocorrência foi 1, dado que nenhuma não-conformidade foi verificada com a Portaria Nº 2914/2011 do MS, em um universo de 35 amostras. A detecção obteve escore 2, em função do mesmo grau de dificuldade do perigo anteriormente analisado. A abrangência foi baixa, recebendo escore 1, pois não afeta ninguém. Neste caso, o resultado do risco foi 2.

O alto pH é mais um perigo da vigilância da qualidade da água, tendo obtido escore de severidade 2, pois o pH assume importância no que diz respeito ao estado de conservação das tubulações, já que a combinação de valores de pH muito altos e águas duras pode causar incrustações nas canalizações. Essa característica também ajuda na transformação do CRL em CRC, que tem menor poder desinfetante que o primeiro, aumentando as chances de causar algum agravo à saúde. A ocorrência obteve escore 1, visto que não houve nenhuma não-conformidade com a Portaria Nº 2914/2011 do MS. A detecção recebeu escore 2, pois é necessário um pHmetro para determinar o valor do pH na água. O escore de abrangência foi 1, pois este perigo não atinge ninguém para esse grupo de pontos. Para este perigo o valor estimado para o risco foi de 4.

Para o perigo de alta concentração de bactérias heterotróficas, o escore de severidade foi 3, apesar de não serem bactérias patogênicas, mas elas formam biofilmes nas tubulações, os quais podem servir de abrigo para microrganismos patogênicos, interferindo no processo de desinfecção. A ocorrência obteve escore 1, por não haver não-conformidades. A detecção obteve escore 3, pois sua determinação ocorre por mais complexo, que requer um grande investimento, demanda tempo e pessoal especializado. O escore de abrangência foi 1, pois esse perigo não afeta diretamente os consumidores. O risco resultante foi 9.

Tabela 5.6 – Formulário FMEA preenchido para o grupo 1

Perigo	Efeito	Causa	S	O	D	A	R	Medidas Mitigadoras
Baixa Concentração de CRL	Aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos	Deficiência na manutenção dos reservatórios, presença de substâncias redutoras ou ausência de manutenção na rede.	3	1	2	1	6	Manutenção da rede e dos reservatórios prediais
Alta Concentração de CRL	Intoxicação (diarreia, alteração da flora intestinal); bronquite; asma; irritação das membranas mucosas; eczemas	Falha na desinfecção	1	1	2	1	2	Utilização de doses ótimas de desinfetante
Alta Turbidez	Aspecto desagradável e interferência na desinfecção	Aumento de sólidos suspensos no manancial, falha na coagulação, floculação, decantação ou filtração.	3	1	2	1	6	Melhorias no processo de remoção de Turbidez
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	1	4	Remoção de nitrogênio amoniacal ou manutenção da rede
Baixo pH	Corrosão da tubulação	Falha nos processos e operações unitárias da ETA.	1	1	2	1	1	Utilização de substâncias tampão (cal)
Alto pH	Incrustações na tubulação	Falha nos processos e operações unitárias da ETA.	2	1	2	1	4	Utilização de substâncias tampão (cal)
Alta Concentração de Bactérias Heterotróficas	Aumento da 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	1	3	1	9	Manutenção da rede e dos reservatórios prediais; continuidade da distribuição
Presença de coliformes totais	Aumento da 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	3	3	1	27	Manutenção da rede e dos reservatórios prediais; continuidade da distribuição

Por fim, para este grupo de pontos, ao perigo da presença de coliformes totais foi atribuído escore 3 para severidade, por este ser um indicativo da presença de microrganismos patogênicos, conseqüentemente, pode trazer agravos significativos à saúde. A ocorrência obteve escore 3, por haver não-conformidades em mais de 95% das análises. A presença de coliformes totais, não significa necessariamente contaminação fecal, sendo, contudo, um forte indicador das condições higiênicas do processo. A detecção obteve escore 3, pelos mesmos motivos atribuídos ao perigo analisado anteriormente. O escore de abrangência foi 1, pois, esse perigo não alcança diretamente os consumidores. O risco resultante foi 27.

5.2 Importância de cada risco para o grupo 1

Aplicando o cálculo de soma ponderada, descrito na metodologia, resultou a Tabela 5.7 que mostra a porcentagem de influência do risco individual no risco total do sistema de abastecimento de água do Hospital de Trauma.

Tabela 5.7 – Resultado da ponderação dos riscos individuais no risco total para o grupo 1

Risco	Resultado do risco	Cálculo	Porcentagem
Baixa Concentração de CRL	6	$6/60= 0,1$	10%
Alta Concentração de CRL	2	$2/60= 0,0333$	3,33%
Alta Turbidez	6	$6/60= 0,1$	10%
Alta Concentração de CRC	4	$4/60= 0,0667$	6,67%
Baixo pH	2	$2/60= 0,0333$	3,33%
Alto pH	4	$4/60=0,0667$	6,67%
Alta Concentração de Bactérias Heterotróficas	9	$9/60=0,15$	15%
Presença de coliformes totais	27	$27/60=0,45$	45%
Risco Total	60	$60/60=1$	100%

Os riscos da baixa concentração de cloro residual livre, alta turbidez, alta concentração de bactérias heterotróficas e presença de coliformes totais são os mais influentes entre os listados, o que já era esperado, pois esses perigos são os que estão mais intimamente ligados a uma possível presença de microrganismos patogênicos. Dividem o lugar a alta concentração de CRC e o alto pH, com 6,67% de participação cada. O terceiro mais influente foi o de alta concentração de CRL, com 3,33%, isto porque apesar de trazer problemas imediatos à saúde humana, este risco vai diminuindo com o passar do tempo. O baixo pH tem baixa influência, principalmente por não trazer qualquer risco direto à saúde humana.

5.3 Formulário FMEA para o grupo 2

Para o formulário referente ao grupo 2 (Tabela 5.8), o escore de severidade atribuído à baixa concentração de CRL foi 3, porque a ocorrência desse perigo reflete uma incapacidade de desinfecção da água podendo vir a causar efeitos agudos à saúde humana. O escore da ocorrência foi considerado 3, pois todos os pontos, deste grupo, apresentaram um valor médio de cloro residual livre zero ou aproximadamente zero, em desacordo com o padrão mínimo estabelecido pela Portaria Nº 2914/2011, refletindo a degradação da qualidade da água e, conseqüentemente, o consumo do agente desinfetante. A detecção teve um escore 2, porque a forma de medição é simples e a abrangência foi considerada de valor 3, pois o perigo chega aos pacientes, funcionários e acompanhantes. O risco resultante foi 54.

O perigo de alta concentração de CRL obteve escore de severidade igual a 2, pois a ocorrência de um evento deste tipo pode vir a causar efeitos leves ou moderados, tais como alergias e irritações. A ocorrência teve peso 1, uma vez que não foram constatadas irregularidades com o padrão. A detecção obteve escore 2, pela mesma situação do perigo de baixa concentração de CRL. A abrangência foi considerada 3, pois a ocorrência deste evento afetará todo o hospital. O risco total foi estimado como 12.

Outro perigo é o da alta turbidez, associado ao controle da qualidade da água, que apresentou uma severidade alta com escore 3, devido à interferência na desinfecção que pode trazer agentes patogênicos à saúde humana. A ocorrência foi

baixa com escore igual a 1, pois em um total de 35 amostras, nenhuma estava em desconformidade com a Portaria 2914/2011. A detecção apresentou um escore igual a 2, porque foi necessária a utilização de um turbidímetro portátil. A abrangência foi considerada alta, com escore igual a 3, porque a alta turbidez pode interferir negativamente na desinfecção afetando todo o sistema de abastecimento. O risco produzido foi de 18.

A alta concentração de CRC, para o grupo 2, obteve severidade 2, pois apesar de causar problemas à saúde humana, estes são apenas leves ou moderados que não persistem com o tempo. Na ocorrência foi considerado um escore 1, pois não houve ocorrência deste evento no universo amostral. À detecção foi atribuído escore 2, visto que o método analítico utilizado em sua detecção é similar ao do CRL. O escore de abrangência foi igual a 3, pois chega ao consumidor. A multiplicação desses resultados gerou um risco de 12.

O perigo de baixo pH, obteve escore de severidade 1, uma vez que ele auxilia na desinfecção, apesar de poder causar corrosão, O escore da ocorrência foi 1, dado que nenhuma não-conformidade foi verificada com a Portaria 2914/2011 do MS, em um universo de 35 amostras. A detecção obteve escore 2, em função da fácil medição. A abrangência foi alta, obtendo escore 3, pois, uma vez ocorrendo, atinge todo o sistema, Neste caso, o resultado do risco foi 6.

O perigo associado ao alto pH, obteve escore de severidade 2, pois este auxilia na desinfecção. A ocorrência obteve escore 1, uma vez que não houve não-conformidades. A detecção recebeu escore 2, por ser necessário método simples para sua medição. O escore de abrangência foi 3, pois uma vez ocorrendo atinge todo o sistema. Para este perigo o valor estimado para o risco foi de 12.

Para o perigo de alta concentração de bactérias heterotróficas, o escore de severidade foi 3, pelos mesmos motivos aplicados para o grupo 1. A ocorrência obteve escore 2, pois não foram detectadas não-conformidades em mais de 5% das análises. A detecção obteve escore 3, por se tratar de um teste complexo, que demanda pessoal especializado e investimento financeiro alto. O escore de abrangência foi 3, pois, esse perigo afeta diretamente os consumidores. O risco resultante foi 54.

Tabela 5.8 – Formulário FMEA preenchido para o grupo 2

Perigo	Efeito	Causa	S	O	D	A	R	Medidas Mitigadoras
Baixa Concentração de CRL	Aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos	Deficiência na manutenção dos reservatórios, presença de substâncias redutoras ou ausência de manutenção na rede.	3	3	2	3	54	Manutenção da rede e dos reservatórios prediais
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 interferência na desinfecção	Aumento de sólidos suspensos no manancial, falha na coagulação, floculação, decantação ou filtração.	3	1	2	3	18	Melhorias no processo de remoção de Turbidez
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	Utilização de substâncias tampão (cal)
Alta Concentração de Bactérias Heterotróficas	Aumento da 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	Manutenção da rede e dos reservatórios prediais; continuidade da distribuição
Presença de coliformes totais	Aumento da 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	3	3	3	81	Manutenção da rede e dos reservatórios prediais; continuidade da distribuição

Para o último perigo listado, presença de coliformes totais, foi atribuído escore 3 para severidade, pois no caso deste evento há probabilidade da presença de organismos patogênicos, que podem causar danos severos e persistentes à saúde. A ocorrência obteve escore 3, por haver não-conformidades em mais de 95% das análises. A detecção obteve escore 3, pelos mesmos motivos atribuídos ao perigo analisado anteriormente. O escore de abrangência foi 3, pois esse perigo afeta todos os pontos analisados pós-reservação. O risco resultante foi 81.

5.4 Importância de cada risco para o grupo 2

Assim como para o grupo grupo 1, os riscos mais influentes no grupo 2, foram baixa concentração de cloro residual livre, alta concentração de bactérias heterotróficas e presença de coliformes totais, com 22,22%, 22,22% e 33,3%, respectivamente, reafirmando a hipótese de que tais perigos estão diretamente relacionados à presença de microrganismos patogênicos no sistema. Estes organismos quando atingem o corpo humano, tanto externamente quanto internamente, podem causar uma série de estados mórbidos ou indesejáveis. O problema se torna ainda mais grave, quando se leva em consideração que são pessoas, na maioria, doentes e, portanto, com a imunidade debilitada. A Tabela 5.9 traz a ponderação dos riscos individuais para o grupo 2.

Tabela 5.9 – Resultado da ponderação dos riscos individuais no risco total para o grupo 2

Risco	Resultado do risco	Cálculo	Porcentagem
Baixa concentração de CRL	54	$54/243=0,2222$	22,22%
Alta concentração de CRL	12	$12/243=0,0494$	4,94%
Alta turbidez	18	$18/243=0,0741$	7,41%
Alta concentração de CRC	12	$12/243=0,0494$	4,94%
Baixo pH	6	$6/243=0,0247$	2,47%
Alto pH	12	$12/243=0,0494$	4,94%
Alta concentração de bactérias heterotróficas	54	$54/243=0,2222$	22,22%
Presença de coliformes totais	81	$81/243=0,333$	33,3%
Risco Total	243	$243/243=1$	100%

Outro perigo relacionado à presença de microrganismos patogênicos é a turbidez, mas só contribuiu com 7,41%, porque não houve ocorrência de não-conformidade no sistema.

Alta concentração de cloro residual livre, alta concentração de cloro residual combinado, baixo pH e alto pH tiveram baixa influência, isto porque não houve ocorrência de eventos deste tipo.

5.5 Mapa de risco

Aplicando os cálculos exemplificados na metodologia para quantificar os riscos, com as ponderações e os valores de medidas centrais, foi estimado o risco total para cada ponto de amostragem, o qual está classificado e ilustrado nas Figuras de 5.1 a 5.3. Nesta situação o risco total em todos os pontos foi categorizado como alto, o que denota uma má qualidade da água de abastecimento. A Tabela 5.10 resume a categorização consolidada dos riscos associados a todos os pontos.

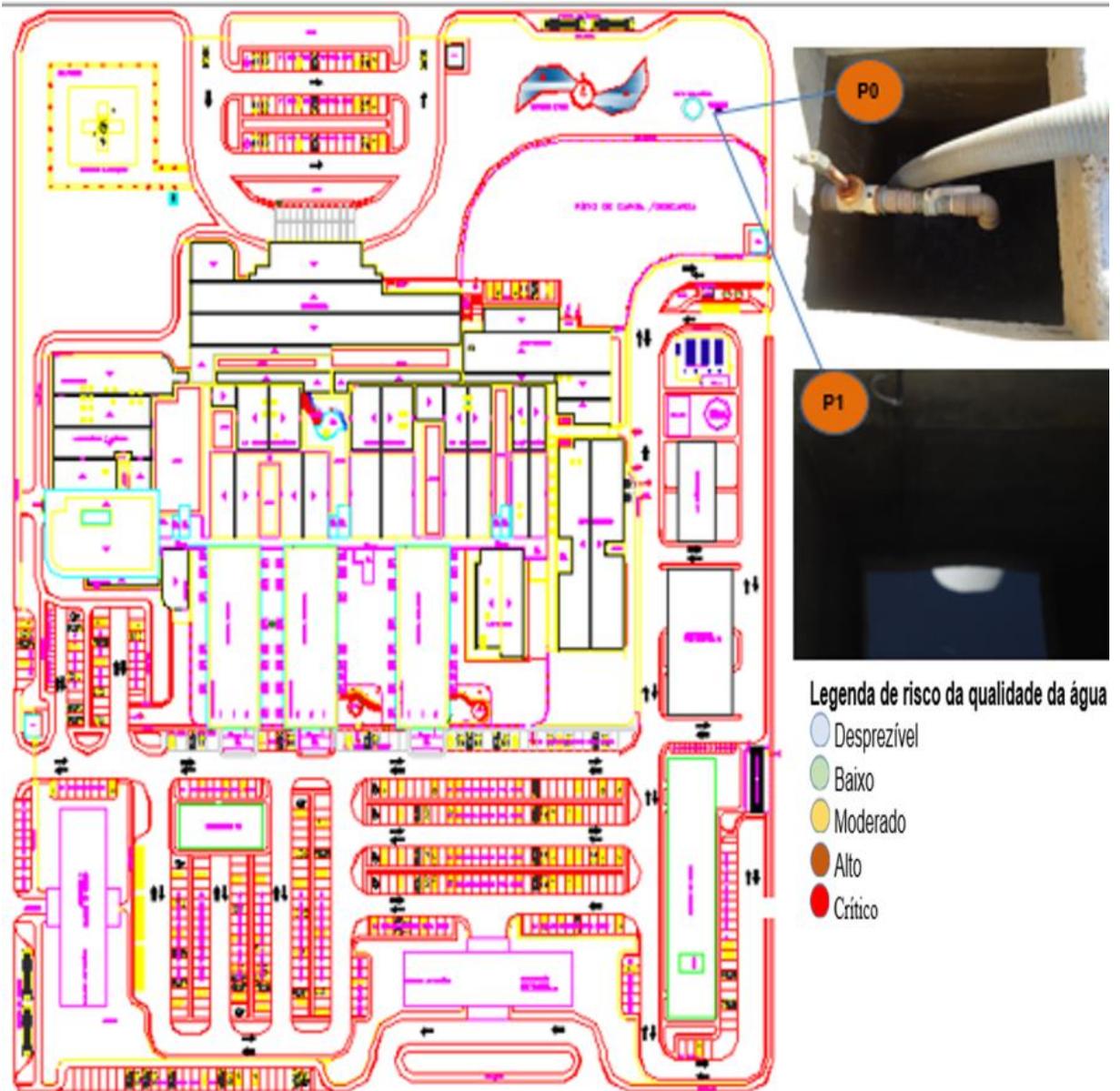
Tabela 5.10 - Risco total do sistema de abastecimento de água de cada ponto de amostragem

Ponto de Amostragem	Risco Total	Classificação do Risco
P0	3,12	Alto
P1	3,22	Alto
P2	3,52	Alto
P3	3,52	Alto
P4	3,52	Alto
P5	3,52	Alto
P6	3,52	Alto
P7	3,49	Alto
P8	3,49	Alto
P9	3,49	Alto
P10	3,52	Alto
P11	3,52	Alto
P12	3,52	Alto
P13	3,52	Alto

É possível perceber que o risco, como se previa, abrange o sistema praticamente de maneira uniforme dado ao fato de se tratar de um sistema pequeno, onde ocorre pouca ou quase nenhuma alteração na qualidade da água de um ponto a outro. Contudo, devido à escolha do método da soma ponderada para relacionar

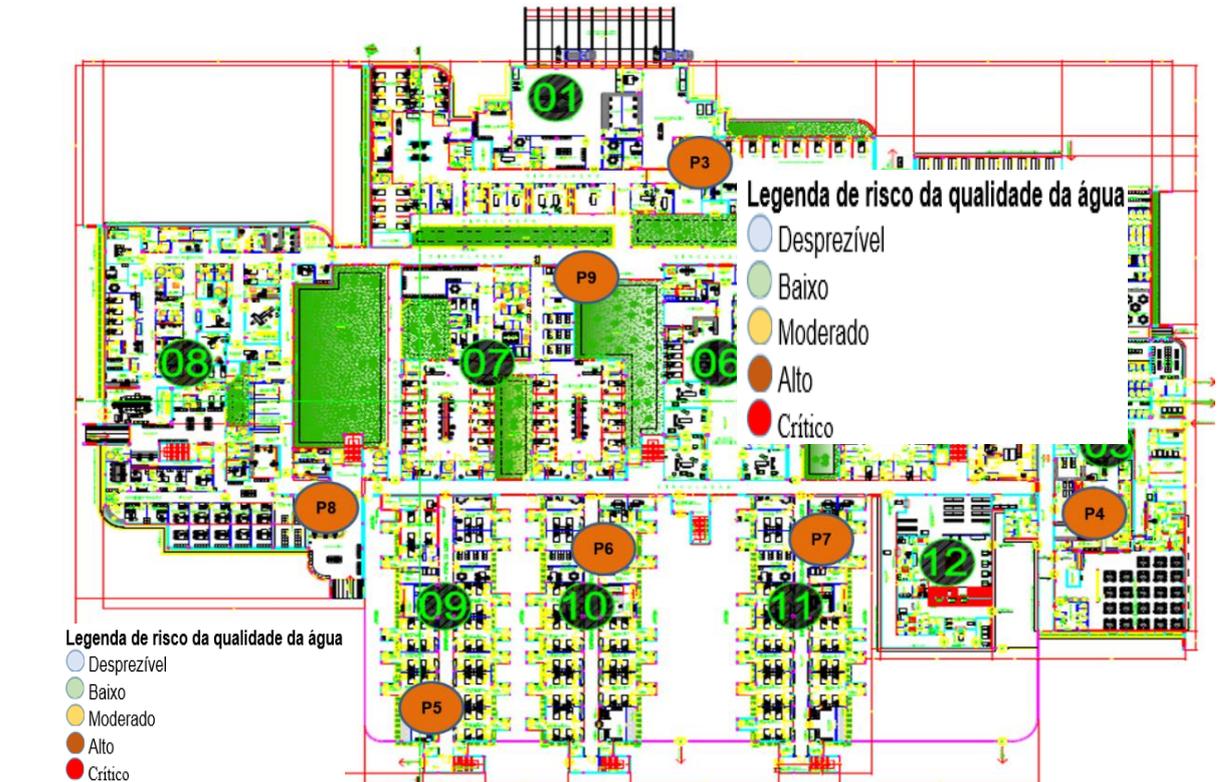
os dados coletados com a avaliação de risco, houve um amortecimento dos principais riscos devido o pH, o CRC e a turbidez estarem sempre em conformidade com o padrão estabelecido. Desta forma, se fossem considerados apenas os principais perigos o risco tenderia a crítico no entanto, a condição encontrada já é uma situação preocupante

Figura 5.1 – Mapa de risco da qualidade da água referente ao grupo 1

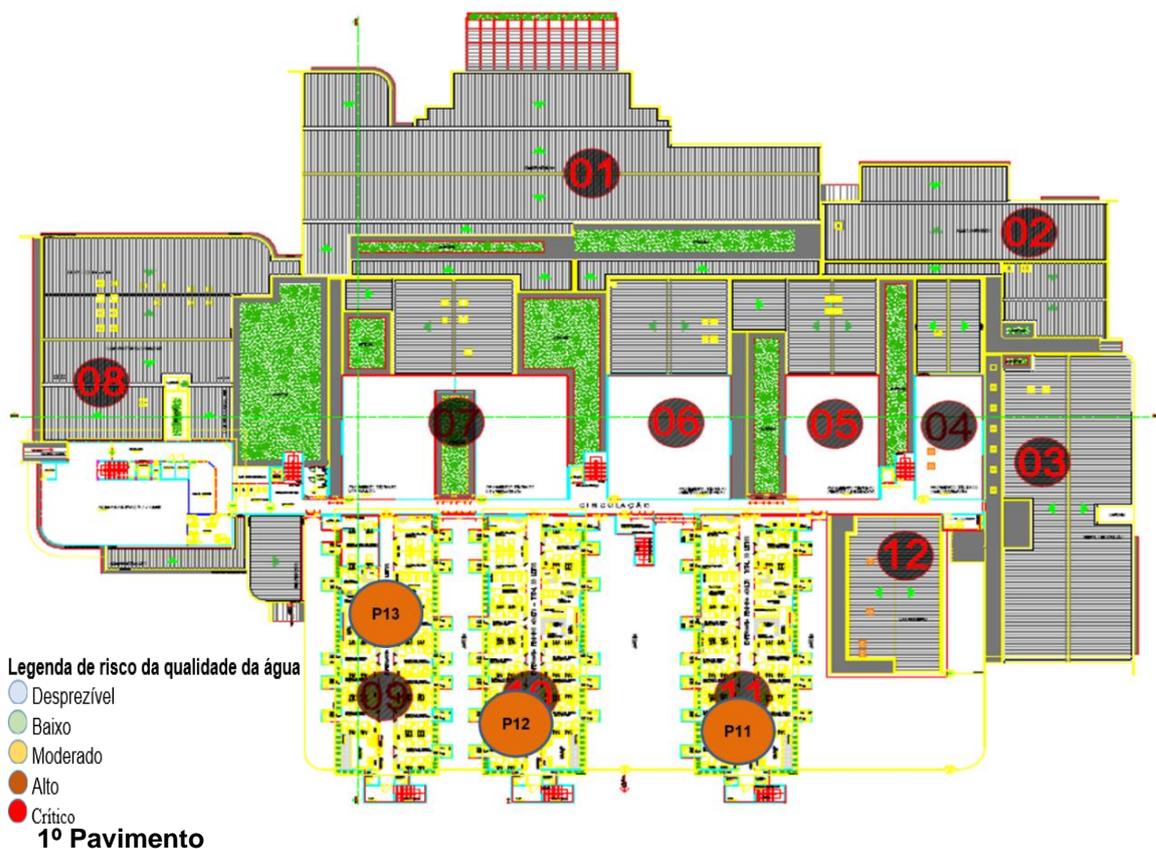


Fonte: Superintendência de Obras do Plano de Desenvolvimento do Estado (SUPLAN)

Figura 5.2 – Mapa de risco da qualidade da água referente ao grupo 2 do Pavimento Térreo e 1º Pavimento

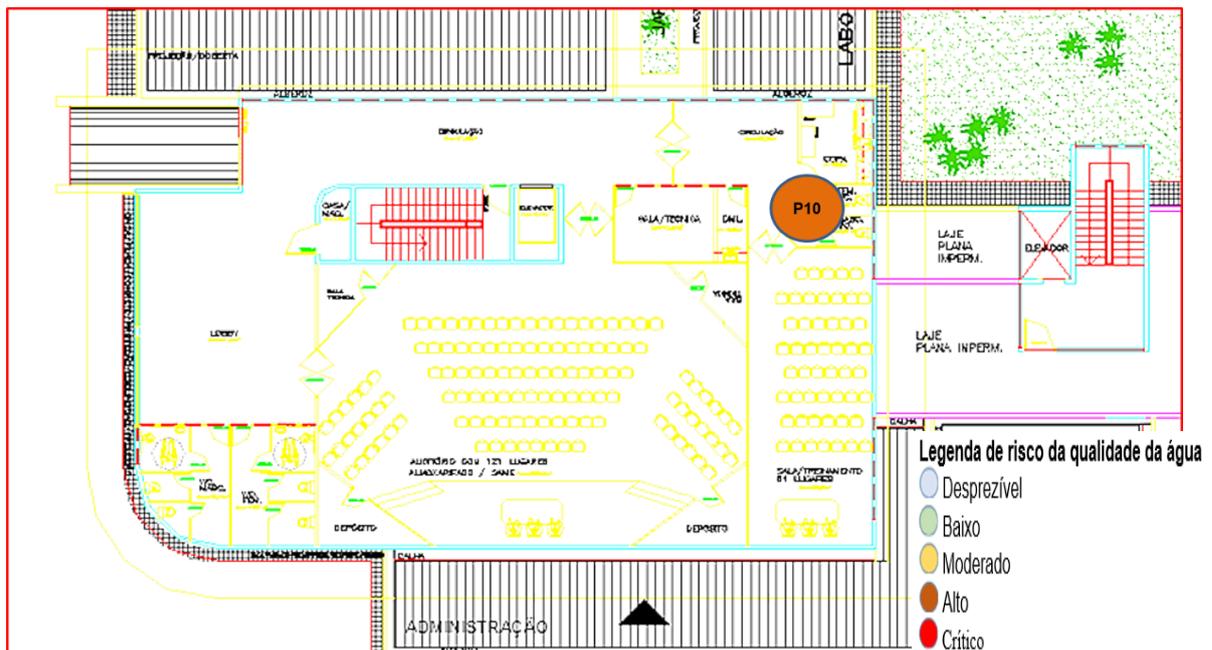


Pavimento Térreo



Fonte: Superintendência de Obras do Plano de Desenvolvimento do Estado (SUPLAN)

Figura 5.3 – Mapa de risco da qualidade da água referente ao grupo 2 do 2º pavimento



Fonte: Superintendência de Obras do Plano de Desenvolvimento do Estado (SUPLAN)

Para o grupo 1 os indicadores coliformes totais e alta concentração de bactérias heterotróficas foram os principais responsáveis pelo nível de risco desses pontos, sendo o primeiro indicador responsável por 45% do risco total e o segundo por 15%, seguidos pela baixa concentração do CRL e alta turbidez, ambos com 10% de contribuição no risco total. Apesar da ocorrência destes indicadores não necessariamente, indicar a existência de microrganismos patogênicos, só o fato de haver bactérias do grupo coliforme na água de abastecimento, já é um fato que requer atenção, uma vez que o risco mais comum e disseminado para a saúde da população está frequentemente ligado ao consumo de água com presença de microrganismos que podem ocasionar danos graves à saúde humana.

Já para o grupo 2, além da alta concentração de bactérias heterotróficas e presença de coliformes totais, outro fator que também contribuiu para o enquadramento do risco como alto foi a baixa concentração de cloro residual livre, pois este perigo esteve, na grande maioria das amostras, abaixo do padrão mínimo estabelecido pela Portaria Nº 2914/2011 do MS. Um risco alto para o grupo 2 é adequado, pois a ausência de CRL torna a água muito mais suscetível à presença de microrganismos, premissa confirmada com a detecção de bactérias heterotróficas e coliformes totais. A menor influência do perigo de baixa concentração de cloro

residual livre no risco do grupo 1 deve-se à inexistência de não-conformidades, entretanto, é fato que o cloro não foi capaz de inibir a presença de coliformes totais para este grupo de pontos.

A presença dos microrganismos também pode estar associada pelas interrupções no abastecimento de água e a baixa pressão da rede de abastecimento. As interrupções e a baixa pressão podem estar relacionadas a três fatores: a demanda atual do hospital ser maior que a demanda projetada; o hospital localizar-se ao fim de um longo trecho de tubulação e ainda falha nas boias. Esta última hipótese é apontada como causa pela própria concessionária de água responsável pelo abastecimento do hospital. No entanto, no decorrer da pesquisa o que ficou constatado é que a hipótese que melhor justifica a ocorrência destes eventos é a primeira, pois foi observado que eram nos dias de maior fluxo de pessoas no hospital, que estes eventos ocorriam.

Um outro fator verificado é que a qualidade da água do Hospital de Trauma é afetada negativamente pelas falhas na manutenção do sistema, visto que existe uma degradação do cloro residual livre devido à reservação. Segundo os responsáveis, os reservatórios, desde que o hospital foi inaugurado, nunca passaram por uma manutenção. Os reservatórios com grande capacidade de acumulação, como é o caso dos reservatórios do Hospital de Trauma, levam ao crescimento de bactérias heterotróficas nos sedimentos e à propagação de biofilmes.

A contaminação da água também pode ocorrer devido à entrada de contaminantes externos originados de animais, vento e chuva, visto que não se tem nenhum cuidado em manter a vigilância nas aberturas que permitem o contato da água reservada com o meio externo. As aberturas de ventilação e inspeção são pontos bastante vulneráveis do sistema estudado. As inspeções sanitárias periódicas de reservatórios e demais unidades, além de serem importante parte do PSA são elementos essenciais para os pequenos sistemas, nos quais a verificação da qualidade da água não seja feita frequentemente.

Diante de tal situação se faz necessária uma melhor observância dos preceitos legais destinados à manutenção da qualidade da água por parte dos envolvidos nesse setor, visando garantir água em quantidade e qualidade de acordo com as normas e padrões de potabilidade.

6.0 CONCLUSÕES

A proposta desta dissertação em analisar a pertinência da avaliação de risco no controle da qualidade de água em um hospital foi plenamente atendida.

Com exceção de P0 E P1, os demais pontos monitorados apresentaram uma grande deficiência com relação à desinfecção, uma vez que foi constatada uma alta frequência de concentrações nulas de CRL, em mais de 90% das medições se situaram abaixo do mínimo recomendado pela legislação em vigor. Isso caracteriza uma situação de risco de contaminação da água sendo atribuído a fatores relacionados à inexistência de manutenção preventiva periódica nos reservatórios e na rede de distribuição prediais.

A metodologia proposta mostrou ser eficaz na identificação e caracterização dos riscos, categorizando como principais perigos a baixa concentração de CRL, a alta concentração de bactérias heterotróficas e presença de coliformes totais, pois estes perigos estão associados a uma maior probabilidade de ocorrência de microrganismos patogênicos na água. Destes, o perigo que mais contribuiu para esta classificação foi o da presença de coliformes totais com contribuição máxima para os dois grupos de pontos.

Apesar do ótimo desempenho do método FMEA, a escolha do método da soma ponderada para relacionar os dados coletados com a avaliação de risco, trouxe um amortecimento dos principais riscos.

Por fim, é importante ressaltar a necessidade da implementação de um plano baseado em medidas que minimizem a degradação da qualidade da água desde a chegada ao ramal predial até as instalações internas do hospital. Isto exige um planejamento integrado das atividades de controle e vigilância da qualidade da água para Hospital de Trauma de Campina Grande.

7.0 RECOMENDAÇÕES

Diante da avaliação de riscos realizada, recomenda-se que o Hospital de Trauma elabore um plano para a manutenção preventiva e corretiva do sistema de distribuição predial, buscando, desta forma, uma melhor qualidade da água consumida pelos usuários do hospital.

A avaliação de risco por si só não é suficiente, é preciso acrescentar a ela uma adequada gestão para ser possível controlar os riscos em sistemas de abastecimento de água. Para tanto, deve haver um detalhamento de medidas de controle, definição de um monitoramento adequado e a comunicação de riscos.

Em virtude da avaliação de risco não se tratar de um produto acabado, é recomendável, sua contínua atualização e aperfeiçoamento, com inserção de novos conhecimentos e novas formas dos riscos serem avaliados e gerenciados ou, mesmo o uso de outros parâmetros para avaliação de risco.

Sugere-se também a aplicação do formulário FMEA, para cada ponto analisado, pois assim poderiam ser levadas em consideração as vicissitudes de cada setor analisado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTON, A. **Uma metodologia para auxiliar no gerenciamento de riscos e na seleção de alternativas e investimentos em segurança**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade Federal de Santa Catarina/ Escola de Engenharia de Produção, 1996.
- ALEXANDRE, C. **Planos de Segurança da Água em Portugal: Implementação e Regulamentação**. Revista Águas & Resíduos, [pdf] Maio a Agosto 2008, p. 4-11. 2008.
- ANAISSIE, E.J.; STRATTON, S.L.M.; DIGNANI, M.C.; SUMMERBELL, R.C.; REX, J.H.; MONSON, T.P.; SPENCER, T.; KASAI, M.; FRANCESCONI, A.; WALSH, T.J. **Pathogenic *Aspergillus* species recovered from a hospital water system: A 3-year Prospective Study**. CID 2002; 34:780-789.
- ANGELBECK, J. A; ORTOLANO, G.A; CANONICA, F.P; CERVIA, J. S. **Hospital Water: A Source of Concern for Infections. Managing Infection Control**. 2006.
- APHA, AWWA, AND WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 21st ed. American Public Health Association, Washington, D.C. 2005.
- ARAÚJO, M. C. S. P. de. **Indicadores de Vigilância da Qualidade da Água de Abastecimento da Cidade de Areia (PB)**. Campina Grande – PB: UFCG, 2010. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande. 2010.
- ARAÚJO, M. C. S. P. **Indicadores de Vigilância da Qualidade da Água de Abastecimento da Cidade de Areia (PB)**. Campina Grande – PB: UFCG, 2010. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande. 2010.
- BARBOSA, F. L. **Avaliação da Qualidade de Água Consumida em um Hospital Público da Cidade de Campina Grande - PB**. Campina Grande – PB: UFCG, 2010. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande. 2010.
- BARCELLOS, C.; QUITÉRIO, L. A. D. Vigilância ambiental em saúde e sua implantação no Sistema Único de Saúde. **Rev. Saúde Pública** 2006; 40 (1):170-177.
- 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. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 328-362.
- BRANCO, S. M. **Hidrologia aplicada à engenharia sanitária**. 3a ed. São Paulo, CETESB/ASCETESB, 640 p., 1991.

BRASIL.IDSUS. Índice de Desenvolvimento do SUS. Brasília: Ministério da Saúde, 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria MS Nº 2.914 DE 12/12/2011 (Federal)**. 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 nº 36/Bsb, de 19 de janeiro de 1990. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 21 de janeiro. Poder Executivo. 1990. Seção 1, pág. 10.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria da Vigilância em Saúde. Coordenação - Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. **Comentários sobre a Portaria MS nº 518/2004: subsídios para implementação**. Coordenação- Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Brasília: Editora do Ministério da Saúde. 91p. 2005b.

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. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Em Saúde. **Guia de Boas práticas em sistema em abastecimento de água**. Brasília, 2006. 274.p.

BRASIL. Ministério da Saúde; Conselho Nacional de Saúde. **Subsídios para construção da Política Nacional de Saúde Ambiental**. Brasília: Ministério da Saúde, 2007b.

BRILHANTE, O. M.; CALDAS, L.Q.A. (Coords.). **Gestão e avaliação de risco em saúde ambiental**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 1999. 155p.

BUSWELL, C.M et al. **Extended survival and persistence of Campylobacter spp. in water and aquatic biofilms and their detection by immunofluorescent-antibody and -rRNA staining**. Applied and Environmental Microbiology, 1998, 64(2):733–741.

CABRAL, F. **Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho**. 39ª Edição. Volume 1. Verlag Dashöver. Lisboa. 2010.

CARDELLA, B. **Segurança no trabalho e prevenção de acidentes: uma abordagem holística**. São Paulo. Editora Atlas. 254p. 1999.

CARNEIRO. F.C.S. **Avaliação de riscos: Aplicação a um processo de construção**. Dissertação (Engenharia Civil) Universidade de Aveiro, 2010.

CONWAY, R.A. Introduction to Environmental Risk Analysis. In: **Environmental Risk Analysis for Chemicals**. New York: van Nostand Reinhold Company, 1982.

Craun G.F. **Waterborne diseases in the United States**. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, USA. 1986.

CRAUN G.F; CALDERON R.L. **Waterborne disease outbreaks: their causes, problems, and challenges to treatment barriers**. AWWA manual M-48: waterborne pathogens. American Water Works Association, Denver, USA. 1999.

DANTAS, A. K. D.; SOUZA. C.; FERREIRA, M. S.; ANRADE, M. A.; ANDRADE, D.; WATANABE, E. Qualidade microbiológica da água de bebedouros destinada ao consumo humano. *Revista Biociências UNITAU*, Taubaté, v. 16, n. 2, p. 132-138, 2010.

DESPLACES N, PICARDEAU M, DINH V, et al. Spinal infections due to *Mycobacterium xenopi* after discectomies. In: **Program and abstracts of the 35th Interscience Conference on Antimicrobial Agents and Chemotherapy**: September 17-20, San Francisco – California, 1995. Abstract J-145.

DOUGLAS, M. **Les Études de Perception du Risque: Un État de L'Art**. In: Fabiani, J-L. et Theys, J. (orgs). *La Société Vulnérable - Évaluer et Maîtriser les Risques*. Paris: Presses de L'École Normale Supérieure, p. 55-60. 1987.

EMMERSON, A.M. **Emerging Waterborne Infections in Health-Care Settings** *Emerging Infectious Disease*. 2001;7:272-276.

FIELDS, B. S.; BENSON, R. F.; BESSER, R. E. Legionella and Legionnaires' disease: 25 years of investigation. *Clin Microbiol Rev* **15**, p.506–526. 2002.

FLEMMING H.C. **Sorption sites in biofilms**. *Water Science and Technology* 1995; 32(8):27–33.

FREITAS, C.M. **Avaliação de risco como ferramenta para a vigilância ambiental em saúde**. *Informe Epidemiológico do SUS*. v.11, n.4, p.227-239. 2002

FREITAS, L. **Gestão da segurança e saúde no trabalho – Volume 1**. 1.ª Edição. Edições Universitárias Lusófonas, Lisboa. 2003.

FREITAS, L. **Segurança e saúde do trabalho**. 1.ª Edição. Lisboa, Edições Sílabo. 2008.

FREITAS, M. B.; FREITAS, C. M. **A Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano – Desafios e Perspectivas para o Sistema Único de Saúde**. Rio de Janeiro: Revista Ciência & Saúde Coletiva, 2005. 12 p.

GRAY, N, F. **Drinking water quality: problems and solutions**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.

Guarapuava, Paraná, Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina. 27(1): 107-110, 2006.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: UFMG, 2006. 859p.

Hunter, P. **Waterborne disease: epidemiology and ecology**. John Wiley & Sons, Chichester, UK. 1997.

IMCA. **FMEA Management Guide**. IMCA M 178.2005.

INHABER, H. **Energy Risk Assessment**. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1982.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**, 2011.

Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR), 2005. **A Carta de Bona para o Abastecimento Seguro de Água para Consumo Humano**. Traduzido do Inglês por Nuno Coelho. Lisboa: ERSAR. Disponível em: http://www.iwahq.org/contentsuite/upload/iwa/Document/Bonn_Charter_POR.pdf. Acessado 17 de dezembro de 2012.

INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION (IWA), **THE BONN CHARTER FOR SAFE DRINKING WATER**. PDF. INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION. SEPTEMBER 2004, LONDON.

JARVIS, W.R.; TEMPRADO, C. S.; ROBLES, B. **Prevention of Nosocomial Blood Stream Infections: A National and International Priority**. *Infection Control and Hospital Epidemiology* 1996; 17:272-274.

KAUPPINEN, J.; NOUSIAINEN, T.; JANTUNEN, E.; MATTILA, R.; KATILA, M.L. et al. **Hospital water supply as a source of disseminated *Mycobacterium fortuitum* infection in a leukemia patient**. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 1999;20:343-345.

LEVI, Y. **Minimizing potencial for changes in microbial quality of treated water**. In: **Safer Piped Water: managing microbial water quality in Piped Distribution Systems**. Editado por Richard Ainsworth. IWAPublishing. London, UK. 2004.

LOWRY, P.W. et al. **A cluster of Legionella sternal-wound infections due to postoperative topical exposure to contaminated tap water**. *New England J Medicine* 1991; 324:109-113.

MATTOS, M. L. T.; SILVA, M. **Controle da Qualidade Microbiológica das Águas de Consumo na Microbacia Hidrográfica Arroio Passo do Pilão**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Rio Grande do Sul, 2002.

MEIRA, C. M. B. S.; OLIVEIRA, R.D.; COURA, M.D.A.; GALDINO, F. A.G.; GOMES, T.N. **Monitoração de indicadores sentinelas para a vigilância da qualidade da água de abastecimento de Campina Grande (PB)**, 2009.

MORENO, JOSÉ. **Avaliação e gestão de riscos no controle da qualidade da água em redes de distribuição: estudo de caso**. Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento) Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2010.

MURGA, R.; FORSTER, T.S; BROWN, E; PRUCKLER, J. M; FIELDS, B. S; DONLAN, R. M. Role of biofilms in the survival of *Legionella pneumophila* in a model potable-water system. *Microbiology*, 147, p.3121–3126. 2001.

NARDOCCI, A.C. **Risco como Instrumento de Gestão Ambiental**. Tese (Doutorado). Faculdade de Saúde Pública. Universidade de São Paulo, 1999.

NRC. **Drinking Water Distribution Systems: Assessing and Reducing Risks**. Washington, D.C. The National Academies Press, 2006. 404p.

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.

OLIVEIRA, A. C. S.; TERRA, A. P. S. Detecção de coliformes totais e fecais em água dos bebedouros do campus I da Faculdade de Medicina do Triângulo Mineiro. **Revista Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 18, n. 125, p. 57-63, out. 2004.

OPS - ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. **Água e Saúde**. Organização Panamericana de Saúde. 2001b.

PAYMENT P.; ROBERTSON W. The microbiology of piped distribution systems and public health. In: **Safe Piped Water: managing microbial water quality in Piped Distribution Systems**. Ed. Richard Ainsworth. IWA Publishing. London, UK. 2004. p.

PEPE RAZZOLINI, M.T.; NARDOCCI, A.C. Avaliação de Risco Microbiológico: Etapas e sua aplicação na análise da qualidade da água. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**. São Paulo. v.1, n.1, n.2. 2006.

RAMAN, R. **Risk perceptions and problems in interpreting risks result**. 18th Australasian Chemical Engineering Conference CHEMECA '90. August, Auckland, New Zealand. 1990

REX, J.H.; WALSH T.J, ANAISSIE E.J. **Fungal infections in iatrogenically compromised hosts**. *Adv Intern Med*. 1998; 43:p.321-3711.

SALERMO, L.S. **Aplicação de ferramentas da mentalidade enxuta e da manutenção autônoma aos serviços de manutenção dos sistemas prediais de água**. Estudo de Caso: Hospital Das Clínicas da UNICAMP, 2005.

SANTOS, S. G. dos. **Distribuição Espacial de Bactérias Heterotróficas na Rede de Distribuição de Água de Campina Grande – PB**. Campina Grande – PB: UFCG, 2011. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande. 2011.

SILVA; S. A.; OLIVEIRA, R, **Manual de análise físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias**. Campina Grande, PB: O Autor, 2001. 266p.

SOTO L.E.; BOBADILLA, M.; VILLALOBOS, Y.; **Post-surgical nasal cellulites outbreak due to *Mycobacterium chelonae***. *J Hosp Infect*. 1991;19:99-106.

SOUZA, E. A. **O treinamento industrial e a gerencia de riscos. Uma proposta de instrução programada.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade Federal de Santa Catarina, 1995.

STOUT, J.E.; YU, V.L. **Legionella in the Hospital watersupply: a plea for decisionmakingbasedonevidence-based medicine.** *InfectionControland Hospital Epidemiology* 2001; 22:670-672.

SZEWZYK, U. et al. **Microbiologicalsafetyofdrinkingwater [review].** *AnnualReviewofMicrobiology*, 54:81-127. 2000.

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

TRAUTMANN, M.; MICHALSKY, T.; HEIDEMAIRE, W.; RADOSAVLJEVIC, V.; RUHNKE, M. **TapwatercolonizationwithPseudomonasaeruginosa in a surgicalintensivecareunit (ICU) andrelationtoPseudomonasinfections of ICU patients.** *InfectControlHospEpidemiol* 2001; 22:49-52.

TSUTIYA, M. T. **ABASTECIMENTO DE ÁGUA.** 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p.

Usepa. **25 yearsofthe safe drinkingwateract: historyand trends.** (2006a). Disponível em: <http://water.epa.gov/drink/index.cfm>. Acessado em 26 de novembro de 2012.

VIEIRA, J. M. P. Uma abordagem estratégica para a implementação de Planos de Segurança da Água à escala nacional. **Revista Água & Resíduos**, [pdf] Setembro a Dezembro 2010, pp. 4-13. 2010.

VIEIRA, J.; MORAIS, C. **Planos de segurança da água para consumo humano em sistemas públicos de abastecimento.** Lisboa: Instituto Regulador de Águas e Resíduos.2005. Disponível em: http://www.cepis.org.pe/bvsacg/red_lac_psa/casos/portugal/planos.pdf. Acessado em 26 de dezembro de 2012).

VIEIRA, J.M.P.;MORAIS C. **Planos de Segurança da Água para consumo humano em sistemas públicos de abastecimento.** Instituto Regulador de Águas e Resíduos e Universidade do Minho. Portugal, 2005b.

Von Reyn C.; Maslow J.N.; Barber T.W.; Falkinham J.O.; Arbeit R.D.; **Persistentcolonizationofpotablewater as a sourceofMycobacterium aviuminfection in AIDS.** *Lancet* 1994; 343:1137- 1141

WALKER, J.T.; MACKERNESS, C.W; ROGERS, K; KEEVIL, C.W. Heterogeneousmosaicbiofilm — a haven for waterborne pathogens. In: **Costerton JW &Lappin-Scott HM**, eds. *Microbial biofilms.* University Press, Cambridge, 1995,196–204.

WHO. **Guidelines for Drinking-waterQuality.** 3a.edição, Volume 1, World Health Organizativo, Genebra.513p.2004.

WHO. **Guidelines for Drinking-Water Quality**. 4^a ed. [Online] Genebra, Suíça: World Health Organization. 2011. Disponível em: http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf [Acedido em 26 de Julho de 2013.]

WHO. **Water Safety Plans- Managing drinking-water quality from catchment to consumer**. World Health Organization. Genebra. 2005a.

WHO/UNICEF. **Progress on Sanitation and Drinking-water: 2010 Update**. Genebra: WHO, 2010. 60 p.

ZOCCHIO, A. **Política de segurança e saúde no trabalho: elaboração, implantação, administração**. São Paulo: LTr, 2000.

ZULPO, D. L.; PERETTI, J.; ONO, L. M.; GARCIA, J. L. Avaliação microbiológica da água consumida nos bebedouros da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, Paraná, Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina. 27(1): 107-110, 2006.

APÊNDICE A –Formulário FMEA

Perigo	Efeito	Causa	S	O	D	A	R	Medidas Mitigadoras
Baixa Concentração de CRL	Aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos	Deficiência na manutenção dos reservatórios, presença de substâncias redutoras ou ausência de manutenção na rede.						Manutenção da rede e dos reservatórios prediais
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 interferência na desinfecção	Aumento de sólidos suspensos no manancial, falha na coagulação, floculação, decantação ou filtração.						Melhorias no processo de remoção de Turbidez
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)

Continua

Perigo	Efeito	Causa	S	O	D	A	R	Medidas Mitigadoras
Alto pH	Incrustações na tubulação	Falha nos processos e operações unitárias da ETA						Utilização de substâncias tampão (cal)
Alta Concentração de Bactérias Heterotróficas	Aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos	Falha na desinfecção, falta de manutenção na rede, grande quantidade de matéria orgânica na água; estagnação na distribuição;						Manutenção da rede e dos reservatórios prediais; continuidade da distribuição
Presença de coliformes totais	Aumento da probabilidade de presença de organismos patogênicos;	Falha na desinfecção; falta de manutenção na rede, grande quantidade de matéria orgânica na água; estagnação na distribuição;						Manutenção da rede e dos reservatórios prediais; continuidade da distribuição

Conclusão

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 do perigo		Classificação
Alta	O perigo afeta pacientes, funcionários e acompanhantes.	3
Baixa	O perigo não afeta ninguém	1

ANEXO A – Tabela de escore para um FMEA aplicado ao sistema de abastecimento de água de Campina Grande-PB

Severidade do perigo		
Escore para Severidade		
Severidade da não-conformidade		Classificação
Alta	Substâncias muito danosas ao meio ambiente causa efeitos graves a saúde humana, apresentam características de corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.	3
Moderada	Substâncias danosas ao meio ambiente causam efeitos leves à saúde humana (irritações ou alergias), com longo tempo de decomposição.	2
Baixa	Substâncias pouco danosas ao meio ambiente causam efeitos negativos a saúde humana e possuem curto tempo de decomposição.	1
Escore para Ocorrência		
Ocorrência da não-conformidade		Classificação
Alta	O impacto ambiental ocorre diariamente ou semanalmente. (mais de 53 não-conformidades no ano).	3
Moderada	O impacto ambiental ocorre mensalmente. (entre 12 e 53 não-conformidades no ano).	2
Baixa	O impacto ambiental ocorre semestralmente ou anualmente. (menos de 12 não-conformidades no ano).	1
Escore para Detecção		
Detecção da não-conformidade		Classificação
Alta	Para detectar a não-conformidade é necessária a utilização de tecnologias sofisticadas e custosas (financeiramente e temporalmente).	1
Moderada	A não-conformidade é percebida com a utilização de medições simples. (titulações, pHmetros, turbidímetros, entre outros).	2
Baixa	A não-conformidade pode ser percebida a olho nu.	3

Continua

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 é realizada a potabilização da água (na ETA).	1
		Conclusão