



**Universidade Federal de Minas Gerais  
Instituto de Ciências Biológicas  
Programa de Pós-Graduação em Microbiologia**

**Marcelo Barbosa Motta**

**AVALIAÇÃO DE PERIGOS E CATEGORIZAÇÃO DO  
GRAU DE RISCO MICROBIOLÓGICO EM UM  
SISTEMA DE TRATAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE  
ÁGUA LOCALIZADO EM UM MUNICÍPIO DO  
INTERIOR DE MINAS GERAIS, BRASIL**

Belo Horizonte  
2018

Marcelo Barbosa Motta

**AVALIAÇÃO DE PERIGOS E CATEGORIZAÇÃO DO  
GRAU DE RISCO MICROBIOLÓGICO EM UM  
SISTEMA DE TRATAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE  
ÁGUA LOCALIZADO EM UM MUNICÍPIO DO  
INTERIOR DE MINAS GERAIS, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Departamento de Microbiologia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito para obtenção do título de Mestre em Microbiologia Aplicada. Orientadora: Professora Doutora Elisabeth Neumann.

Belo Horizonte  
2018

043 Motta, Marcelo Barbosa.

Avaliação de perigos e categorização do grau de risco microbiológico em um sistema de tratamento e distribuição de água localizado em um município do interior de Minas Gerais, Brasil [manuscrito] / Marcelo Barbosa Motta. – 2018.

95 f. : il. ; 29,5 cm.

Orientadora: Professora Doutora Elisabeth Neumann.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas. Departamento de Microbiologia.

1. Microbiologia. 2. Vigilância em Saúde Pública. 3. Análise da Água. 4. Qualidade da água. I. Neumann, Elisabeth. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. III. Título.

CDU: 579

## RESUMO

O consumo de água não potável é um relevante problema de saúde pública devido à possibilidade de veiculação de inúmeros contaminantes químicos e microbiológicos, representando maior perigo à saúde de crianças menores de cinco anos, grupo etário mais suscetível a doenças. Em 2005, o Ministério da Saúde Brasileiro criou o Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIAGUA), com a finalidade primordial de gerenciar riscos relacionados ao fornecimento de água a populações humanas no território brasileiro. Entretanto, o VIGIAGUA não possui uma metodologia capaz de caracterizar ou gerenciar riscos, mas alguns pesquisadores têm apresentado propostas para caracterização do perigo, considerado como a primeira etapa do gerenciamento de risco. Na perspectiva de contribuir para uma avaliação de perigos e categorização de riscos associados ao fornecimento de água, este estudo ensejou criar um modelo de trabalho para transformar dados brutos dos parâmetros básicos analisados pelo sistema de vigilância, exigidos pela Portaria/MS 2.914/2011, em dados conceituais relacionados aos níveis de risco classificados em baixo, médio e alto. Os dados utilizados na aplicação do modelo foram obtidos através das análises realizadas pela Gerência Regional de Saúde de Itabira, em um município do Estado de Minas Gerais com menos de 10 mil habitantes, cujo histórico de contaminação da água é alarmante. Foram coletadas 12 amostras/mês entre maio de 2017 e abril de 2018, totalizando 144 (108 de água tratada e 36 não tratada). Os resultados das análises de água tratada foram classificados segundo a presença de perigos e categorizados em níveis de risco. As análises estatísticas foram realizadas através dos testes qui-quadrado e Wilcoxon-Mann-Whitney. Os resultados demonstraram 83,3% de contaminação por coliformes totais na saída do tratamento e 91,6% na rede de distribuição. A contaminação por *Escherichia coli* foi de 16,7% nas amostras da saída do tratamento e 45,2% na rede de distribuição. Todas as amostras apresentaram valores de cloro residual livre muito abaixo do parâmetro legal. A maioria dos valores médios de turbidez foram satisfatórios, entretanto, 25% dos resultados individuais encontrados na saída do tratamento e duas amostras na rede de distribuição apresentaram valores acima do preconizado. A análise de amostras de água não tratada foi realizada com a finalidade de conhecer o padrão de contaminação da água bruta da região, resultando em 100% de contaminação por coliformes totais e 97,2% de contaminação por *E. coli*. Os resultados encontrados refletem a incapacidade do sistema de abastecimento analisado em conter a presença de bactérias e sugerem a presença de falhas no tratamento e distribuição de água deste município, sendo categorizado como de “Alto Risco”.

Palavras Chave: Análise da Água, Qualidade da água, Vigilância em saúde.

## ABSTRACT

---

Consumption of non-potable water is a relevant public health problem due to the possibility of transporting numerous chemical and microbiological contaminants, posing a greater danger to the health of children under five years of age, an age group more susceptible to diseases. In 2005, the Brazilian Ministry of Health created the National Program of Surveillance in Environmental Health related to the Quality of Water for Human Consumption (VIGIAGUA), with the primary purpose of managing risks related to water supply to human populations in Brazilian territory. However, VIGIAGUA does not have a methodology capable of characterizing or managing risks, but some researchers have presented proposals for characterization of the hazard, considered as the first stage of risk management. In order to contribute to a hazard assessment and categorization of risks associated with water supply, this study created a work model to transform raw data of the basic parameters analyzed by the surveillance system, required by Administrative Rule 2.914/ 2011, in conceptual data related to low, medium and high risk levels. The data used in the application of the model were obtained through the analyzes of water quality surveillance conducted by the Regional Health Management of Itabira, in a municipality of the State of Minas Gerais with less than 10 thousand inhabitants, whose history of water contamination is alarming. Twelve samples/month were collected between May 2017 and April 2018, totaling 144 (108 treated water and 36 untreated). The results of the treated water analysis were classified according to the presence of hazards and categorized into risk levels. Statistical analyzes were performed using chi-square and Wilcoxon-Mann-Whitney tests. The results showed 83.3% contamination by total coliforms at the treatment withdrawal and 91.6% in the distribution system. The *Escherichia coli* contamination was 16.7% in the treatment withdrawal samples and 45.2% in the distribution system. All samples presented values of free residual chlorine well below the legal parameter. Most average turbidity values were satisfactory, however, 25% of the individual results found at the treatment withdrawal and two samples in the distribution system presented values above that recommended. The analysis of untreated water samples was carried out with the purpose of knowing the contamination pattern of the raw water of the region, resulting in 100% contamination by total coliforms and 97.2% contamination by *E. coli*. The results reflect the inability of the supply system analyzed to contain the presence of bacteria and suggest the presence of failures in the treatment and distribution of water of this city, and it was categorized as "high risk".

Key words: Surveillance health, Water Analysis, Water Quality.

## **AGRADECIMENTOS**

---

A Deus, por me oportunizar a vida e as possibilidades de crescimento.

À minha orientadora Dra. Elisabeth Neumann, por acreditar neste trabalho.

À professora Dra. Erna Geessien Kroon, pelo apoio e habilidade na coordenação do curso.

À professora Dra. Paula Prazeres Magalhães, pela contribuição técnica e bibliográfica.

À professora Dra. Joana Ribeiro da Glória, pelas análises estatísticas.

Ao professor e amigo Dr. Nery Cunha Vital, pelo apoio e recomendações.

Aos colegas da Gerência Regional de Saúde de Itabira: Alexandre de Faria Martins da Costa, Vaner Citty Martins da Costa, Maurício Geraldo Marques e Isabella Vitório Coletto, pelas suas fundamentais contribuições.

## **DEDICATÓRIA**

---

À minha esposa Patrícia, pelo amor e companheirismo.

À minha filha Victória, força que sustenta minha caminhada.

Aos meus pais Antônio e Lêda, pelos incentivos e oportunidades de estudo.

A todos que de forma direta e indireta contribuíram para o meu aperfeiçoamento profissional.

*Há uma força motriz mais poderosa que o vapor,  
a eletricidade e a energia atômica: a vontade.*

*Albert Einstein*

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

---

<b>APHA</b>	American Public Health Association
<b>AWWA</b>	American Water Works Association
<b>CRAS</b>	Centro de referência em assistência social
<b>FUNED</b>	Fundação Ezequiel Dias
<b>GAL</b>	Gerenciador de Ambiente Laboratorial
<b>GRS-Itabira</b>	Gerência Regional de Saúde de Itabira
<b>HAV</b>	Vírus da hepatite A
<b>HEV</b>	Vírus da hepatite E
<b>IB</b>	Índice bacteriológico
<b>ICRL</b>	Índice de cloro residual livre
<b>IT</b>	Índice de turbidez
<b>MS</b>	Ministério da Saúde
<b>MUG</b>	4-umbeliferil- $\beta$ -D-glucuronídeo
<b>NBR ISO/IEC</b>	Norma Brasileira ISO/International Electrotechnical Commission
<b>OMS</b>	Organização Mundial de Saúde
<b>ONPG</b>	Orto-nitrofenil- $\beta$ -D-galactopiranosídeo
<b>Sisagua</b>	Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano
<b>SRS</b>	Superintendência Regional de Saúde
<b>SUS</b>	Sistema Único de Saúde
<b>URS</b>	Unidade Regional de Saúde
<b>uT</b>	Unidade turbidimétrica
<b>VIGIAGUA</b>	Vigilância Ambiental da Qualidade da Água para Consumo Humano
<b>WEF</b>	Water Environment Federation

## LISTA DE FIGURAS

---

	<b>p.</b>
Figura 1. Cadeia de interações envolvidas no processo saúde-doença associada à contaminação da água	17
Figura 2. Mapa da divisão assistencial em Minas Gerais por macrorregião de saúde	18
Figura 3. Mapa da macrorregião centro dividida em microrregiões assistenciais	19
Figura 4a. Mapa da microrregião de João Monlevade	19
Figura 4b. Mapa da microrregião de Itabira	20
Figura 4c. Mapa da microrregião de Guanhães	20
Figura 5. Inter-relação entre a vigilância e o controle da qualidade da água para consumo humano	23
Figura 6. Esquema de tratamento de ciclo completo	24
Figura 7. Fluxo esquemático de captação, armazenamento e distribuição da água na área urbana do Município estudado-MG	50
Figura 8. Valores médios de turbidez por grupos de coleta na rede de distribuição entre maio/2017 a abril/2018 na zona urbana do Município estudado-MG	55
Figura 9. Percentual de contaminação por coliformes totais na área urbana nos períodos chuvoso e seco do Município estudado-MG	56
Figura 10. Percentual de contaminação por <i>E. coli</i> na área urbana nos períodos chuvoso e seco do Município estudado-MG	56
Figura 11. Mediana dos valores de turbidez na rede de distribuição da área urbana nos períodos chuvoso e seco do Município estudado-MG	57
Figura 12. Mediana dos valores de turbidez medidos nas estações ETA-1 e ETA-2 nos períodos chuvoso e seco do Município estudado-MG	57
Figura 13. Mediana dos valores de turbidez medidos nas estações ETA-1 e ETA-2 entre maio/2017 a abril/2018 do Município estudado-MG	58

## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 1. Frequência de contaminação por <i>E.coli</i> em amostras de água das áreas prioritárias de coleta entre os anos de 2010 a 2016 do Município estudado-MG	<b>p.</b> 43
Tabela 2. Frequência de contaminação por coliformes totais em amostras de água tratada nas áreas prioritárias de coleta entre maio/2017 a abril/2018 do Município estudado-MG	52
Tabela 3. Frequência de contaminação por <i>E.coli</i> em amostras de água tratada nas áreas prioritárias de coleta entre maio/2017 a abril/2018 do Município estudado-MG	53
Tabela 4. Valores médios de cloro residual livre em amostras de água tratada por áreas prioritárias de coleta entre maio/2017 a abril/2018 do Município estudado-MG	53
Tabela 5. Valores médios e medianas de turbidez em amostras de água tratada por áreas prioritárias de coleta entre maio/2017 a abril/2018 do Município estudado-MG	54
Tabela 6. Distribuição mensal de contaminação por coliformes totais e <i>E. coli</i> entre maio/2017 a abril/2018 em amostras de água tratada na zona urbana do Município estudado-MG	55
Tabela 7. Frequência de contaminação por <i>E.coli</i> , valores médios e medianas de turbidez em amostras de água não tratada nas áreas prioritárias de coleta entre maio/2017 a abril/2018 do Município estudado-MG	58

## LISTA DE QUADROS

---

	<b>p.</b>
Quadro 1. Valores preconizados para os parâmetros básicos definidos pela Portaria 2.914/2011	34
Quadro 2. Agentes patogênicos veiculados pela água e de transmissão fecal-oral e sua importância para o abastecimento de água	35
Quadro 3. Número mínimo mensal de amostras que devem ser analisadas para os parâmetros cloro residual livre, turbidez, coliformes totais/ <i>E. coli</i> , segundo faixa populacional do município	45
Quadro 4. Relação das áreas prioritárias de coleta de amostras mensais	47
Quadro 5. Avaliação dos itens segundo a presença ou ausência de perigo	51
Quadro 6. Proposta de categorização do risco associado ao consumo de água no município estudado, avaliado segundo a presença ou ausência de perigos	66

## SUMÁRIO

---

	<b>p.</b>
1. INTRODUÇÃO	14
1.1 VIGIAGUA	15
1.1.1 Caracterização do VIGIAGUA na Gerência Regional de Saúde de Itabira	18
1.1.2 SISAGUA	21
1.1.3 Controle e vigilância	22
1.1.4 Tratamento de água convencional	24
1.2 Histórico normativo	25
1.2.1 Regulação dos serviços de água e esgoto	27
1.3 Alguns estudos sobre qualidade da água para consumo humano	28
1.4 Identificação de perigos	29
1.5 Parâmetros indicadores da qualidade da água	31
1.5.1 Bioindicadores: coliformes totais e <i>E. coli</i>	31
1.5.2 Turbidez	32
1.5.3 Cloro residual	33
1.6 Agentes patogênicos de veiculação hídrica	34
1.6.1 <i>Shigella</i> spp.	36
1.6.2 <i>Salmonella</i> spp.	36
1.6.3 <i>Yersinia enterocolitica</i>	36
1.6.4 <i>Vibrio cholerae</i>	37
1.6.5 <i>Campylobacter</i> spp.	37
1.6.6 <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	37
1.6.7 <i>Aeromonas</i> spp.	38
1.6.8 <i>Legionella</i>	38
1.6.9 <i>Adenovirus</i>	38
1.6.10 <i>Enterovirus</i>	39
1.6.11 Vírus da Hepatite A (HAV)	39
1.6.12 Vírus da Hepatite E (HEV)	39
1.6.13 <i>Norovirus</i>	40
1.6.14 <i>Rotavirus</i>	40
1.6.15 <i>Entamoeba histolytica</i>	40

1.6.16	<i>Giardia lamblia</i>	41
1.6.17	<i>Cryptosporidium parvum</i>	41
2.	JUSTIFICATIVA	42
3.	OBJETIVO GERAL	44
3.1	Objetivos específicos	44
4.	METODOLOGIA	45
4.1	Plano de amostragem	45
4.2	Técnicas de coleta e transporte de amostras	46
4.3	Análise dos bioindicadores: coliformes totais e <i>E. coli</i>	48
4.4	Análise de cloro residual livre	48
4.5	Análise de turbidez	48
4.6	Tratamento estatístico	48
4.7	Caracterização do sistema de abastecimento de água	50
4.8	Avaliação de perigos	51
5.	RESULTADOS	52
6.	DISCUSSÃO	59
7.	CONCLUSÃO	66
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
9.	ANEXOS	76

## 1. INTRODUÇÃO

---

A intensa utilização da água em atividades industriais acarreta a geração de fontes poluidoras, aumentando sua escassez e a deterioração da qualidade. Além da contaminação química, a presença de efluentes sanitários em água destinada ao consumo humano representa um importante problema de saúde pública, principalmente para grupos mais vulneráveis como as crianças menores de cinco anos, exigindo um rigoroso controle de qualidade em sistemas que abastecem populações humanas (Santos & Mohr 2013).

As diretrizes globais de potabilidade da água recomendam que bactérias indicadoras fecais, preferencialmente *Escherichia coli*, não devem ser detectáveis em qualquer alíquota de 100 mL de amostra. Entretanto, relatórios de qualidade da água em âmbito mundial têm descrito contaminação fecal em fontes de água destinadas ao consumo humano, sobretudo em países de baixa renda, onde os sistemas de abastecimento não são suficientes para a contenção da viabilidade de microrganismos em água, favorecendo a ocorrência de agravos à saúde, principalmente doenças diarreicas (Bain et al. 2014).

O estudo de Queiroz et al. (2009), realizado na cidade de Vitória-ES, reforçou importante associação entre ocorrência de diarreia com parâmetros inadequados de turbidez, coliformes totais e termotolerantes e, apesar de não afirmar que a água fornecida pelo sistema de abastecimento municipal representava a principal fonte de infecção, sugeriu medidas protetivas na rede de distribuição de água, considerando o histórico de alta incidência de diarreia no Brasil.

A diarreia, relacionada ao consumo de água não potável, é uma das principais causas de morbidade e mortalidade entre crianças menores de cinco anos. Estima-se que anualmente mais de 800.000 crianças morrem no mundo em decorrência de consumo de água contaminada, e que existem 2,4 bilhões de pessoas sem saneamento adequado (Darvesh et al. 2017). No cenário brasileiro, a taxa de diarreia entre menores de cinco anos diminuiu nas últimas décadas, de 1.346.506 registros em 1998 para 511.893 em 2015, atribuída a melhores coberturas vacinais e otimização da gestão de recursos hídricos (Oliveira et al. 2017).

Considerando sua relevância na carga global de doenças, a gestão eficiente dos recursos hídricos e abastecimento de água potável foi reconhecida pela Organização Mundial de Saúde (OMS) em 2013, através da meta 7c dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio. Esta meta determinou que até 2015, a proporção da população mundial sem acesso sustentável a água potável necessitava ser reduzida para 50,0% (Shields & Bartram 2014).

Entretanto, a falta de água potável continua sendo um problema para a saúde pública em muitos países em desenvolvimento, cujos principais obstáculos estão relacionados à ausência de estrutura adequada para o monitoramento de microrganismos em longo prazo, e pouco conhecimento sobre sua distribuição em ambientes tropicais (Newall et al. 2015). Os programas de monitoramento da qualidade da água acompanham um processo global, em resposta às políticas internacionais de desenvolvimento sobre a expansão do acesso a água potável (Bartram et al. 2014). No Brasil, o monitoramento da qualidade da água distribuída à população é atribuição do Sistema Único de Saúde (SUS), realizado através do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano – VIGIAGUA (BRASIL 2005). Em nível Estadual, o Programa é executado pelas Unidades Regionais de Saúde (URS) e nos municípios, pelas Secretarias Municipais de Saúde.

## 1.1 VIGIAGUA

Para prevenir a ocorrência de doenças veiculadas pela água é importante educar a sociedade quanto ao uso adequado deste recurso e sensibilizar autoridades políticas sobre a importância da implantação de um sistema de abastecimento capaz de cumprir as exigências legais de potabilidade (Coswosk et al. 2013).

O documento base do VIGIAGUA foi publicado pelo Ministério da Saúde, por intermédio da Secretaria de Vigilância em Saúde, no ano de 2005, com o propósito de prevenir doenças veiculadas pela água (BRASIL 2005). O Programa consiste em um conjunto de ações contínuas, visando garantir a manutenção do fornecimento de água dentro dos padrões de potabilidade definidos em legislações e normas técnicas. Através da análise de informações sobre a qualidade da água fornecida, busca identificar situações de perigo e propor medidas de intervenção para reduzir os riscos de ocorrência de doenças.

Também objetiva melhorar as condições sanitárias das diversas formas de abastecimento, avaliar e gerenciar o risco à saúde imposto pelas condições sanitárias das formas de abastecimento, monitorar a qualidade da água consumida pela população, informar a população sobre a qualidade da água e possíveis riscos à saúde em caso de desvio do padrão de potabilidade, além de apoiar o desenvolvimento de ações de educação em saúde e mobilização social em todo território nacional.

As ações do VIGIAGUA preveem a realização de análises microbiológicas qualitativas para identificação da presença de coliformes totais e *E. coli*, associadas às análises físico-químicas de turbidez e cloro residual livre, denominadas parâmetros básicos de

vigilância, expressando seus resultados em números absolutos de ensaios realizados por município. Estas ações são coordenadas nacionalmente pelo Ministério da Saúde e desenvolvidas pelas Secretarias de Saúde Estaduais, Municipais e do Distrito Federal.

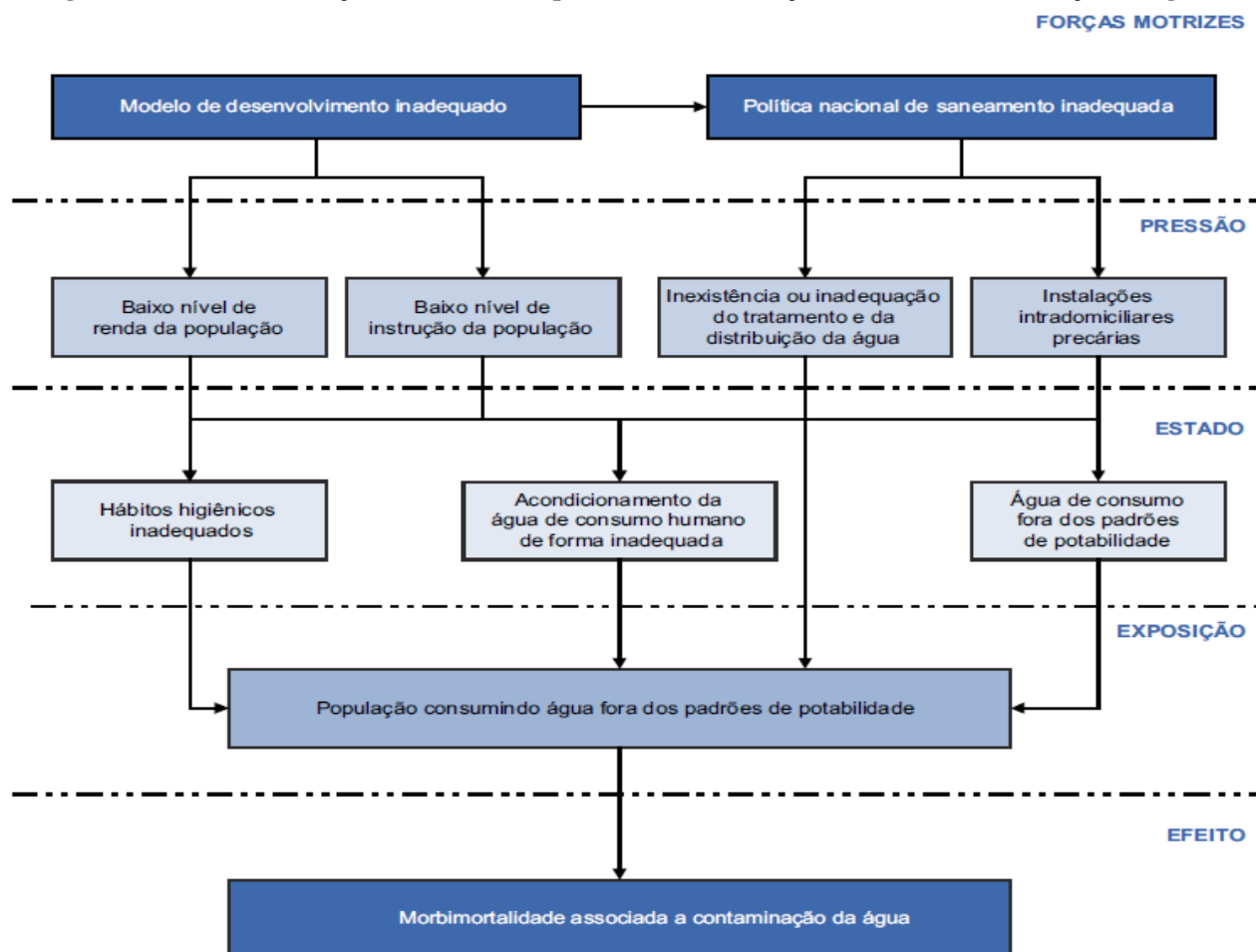
O Governo Federal tem responsabilidade na definição das diretrizes do Programa, no estabelecimento de prioridades, objetivos, metas e indicadores de vigilância da qualidade da água, além de realizar o acompanhamento e avaliação das ações de vigilância em todo território nacional, em articulação com as Secretarias de Saúde Estaduais, Municipais e do Distrito Federal. As Secretarias de Saúde dos Estados devem promover e acompanhar a vigilância da qualidade da água, em articulação com os municípios e com os responsáveis pelo controle da qualidade, desenvolver atividades inerentes aos laboratórios de saúde pública e executar as ações de vigilância da qualidade da água de forma suplementar, em situações de carência técnica, financeira ou estrutural do município. Compete às Secretarias de Saúde Municipais a execução das ações de vigilância da qualidade da água em âmbito local, inspecionar o controle da qualidade da água produzida/distribuída, e manter articulação com as entidades de regulação quando detectadas falhas relativas à qualidade dos serviços de abastecimento de água. Ao Distrito Federal competem as atribuições reservadas aos Estados e aos Municípios (BRASIL 2011<sup>b</sup>).

Para alcançar seu ideal de implementação em todo território nacional, o VIGIAGUA apresenta instrumentos que devem ser articulados entre as diferentes esferas de governo, setores institucionais e controle social. O principal instrumento incorporado pelo Programa foi o modelo conceitual desenvolvido pela OMS em 1995, denominado FPSEEA (força motriz, pressão, situação (estado), exposição, efeito e ação) (Figura 1). A estrutura do modelo cria uma hierarquia para os determinantes das doenças, desde os mais gerais até os mais específicos.

A força motriz representa as características mais gerais relacionadas ao modelo de desenvolvimento adotado pela sociedade e que influenciam os processos ambientais podendo afetar a saúde (exemplo: baixo desenvolvimento econômico e social). A pressão corresponde às características culturais (baixos níveis de renda e instrução) e estruturais (inexistência ou tratamento de água inadequado, e precariedade das instalações intradomiciliares). A situação (estado) refere-se aos níveis ambientais gerais que se encontram em frequente modificação, dependendo das pressões que recebem. São os fatores de risco (exemplo: nível de poluição, acondicionamento inadequado da água e consumo de água não potável). A exposição envolve a relação direta entre o ambiente imediato e a população ou grupos expostos (exemplo: população consumindo água contaminada). Os efeitos são as manifestações na população

resultantes de uma exposição, podendo variar em função do tipo, magnitude e intensidade (exemplo: morbimortalidade ou intoxicação). Estes fatores deverão desencadear ações corretivas no sentido de minimizar seus impactos sob a saúde da população exposta a determinado perigo/risco.

**Figura 1. Cadeia de interações envolvidas no processo saúde-doença associada à contaminação da água**



Fonte: (BRASIL 2005)

A vigilância possui três grandes componentes: a) análise permanente e sistemática da informação sobre a qualidade da água, para confirmar se o manancial, o tratamento e a distribuição atendem aos objetivos e regulamentos estabelecidos na legislação vigente; b) avaliação sistemática das diversas modalidades de fornecimento de água às populações, seja coletiva ou individual, de forma a verificar o grau de risco representado à saúde pública em função do manancial abastecedor, adequabilidade do tratamento e questões de ordem operacional; e c) análise da evolução da qualidade física, química e microbiológica da água, e sua correlação com enfermidades específicas, a fim de determinar o impacto na saúde dos consumidores.

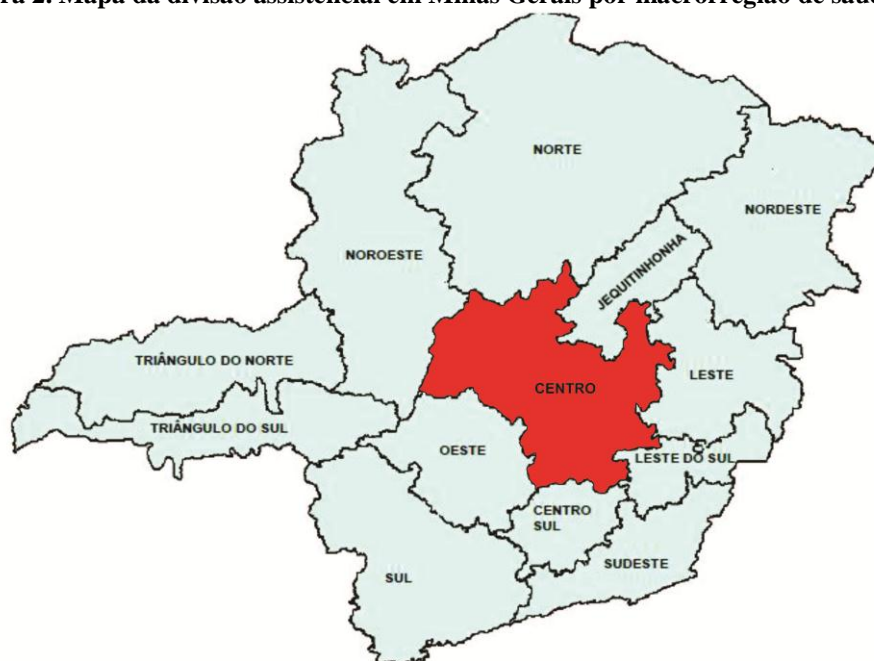
As alterações na qualidade da água são verificadas desde o manancial, pelo lançamento de efluentes e resíduos, passando pelo sistema de distribuição onde fatores como precariedade e manutenção deficiente podem estar presentes, e nos domicílios pela qualidade das instalações hidráulico-sanitárias, manutenção dos reservatórios e manuseio inadequado da água (Amaral et al. 2003).

Pelos motivos apresentados, o VIGIAGUA atua sobre todas as formas de abastecimento, sejam coletivas ou individuais, em áreas urbanas ou rurais, de gestão pública ou privada, incluindo as instalações intradomiciliares e os mananciais, vislumbrando a preservação da qualidade da água para consumo humano através do monitoramento dos parâmetros de controle e vigilância (Queiroz et al. 2012).

### 1.1.1 Caracterização do VIGIAGUA na Gerência Regional de Saúde de Itabira

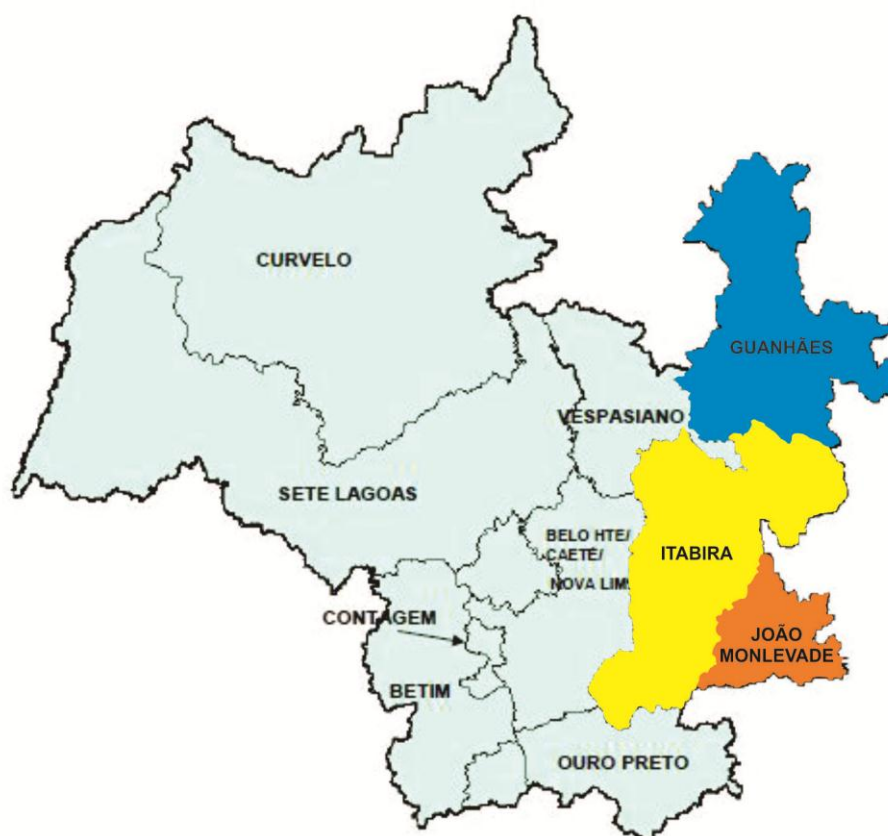
A Secretaria de Saúde do Estado de Minas Gerais, utilizando a lógica de territórios sanitários para promover a descentralização da cogestão e organização dos serviços de saúde em redes, dividiu os 853 municípios do Estado em 13 macrorregiões de saúde (Figura 2). Dentro de cada macrorregião estão inseridas as Superintendências (SRS) e Gerências Regionais de Saúde (GRS), organizadas por microrregiões administrativas (MINAS GERAIS 2010). O município objeto deste trabalho está inserido na macrorregião centro (Figura 3) e GRS-Itabira, a qual é composta pelas microrregiões de João Monlevade (Figura 4a), Itabira (Figura 4b) e Guanhães (Figura 4c), totalizando 25 municípios adscritos.

**Figura 2. Mapa da divisão assistencial em Minas Gerais por macrorregião de saúde**



Fonte: [http://www.saude.mg.gov.br/images/anexos/PDR/Apresentacao\\_cartografica\\_PDR-2014.pdf](http://www.saude.mg.gov.br/images/anexos/PDR/Apresentacao_cartografica_PDR-2014.pdf)

**Figura 3. Mapa da macrorregião centro dividida em microrregiões assistenciais**



Fonte: [http://www.saude.mg.gov.br/images/anexos/PDR/Apresentacao\\_cartografica\\_PDR-2014.pdf](http://www.saude.mg.gov.br/images/anexos/PDR/Apresentacao_cartografica_PDR-2014.pdf)

**Figura 4a. Mapa da microrregião de João Monlevade**



Fonte: [http://www.saude.mg.gov.br/images/anexos/PDR/Apresentacao\\_cartografica\\_PDR-2014.pdf](http://www.saude.mg.gov.br/images/anexos/PDR/Apresentacao_cartografica_PDR-2014.pdf)

**Figura 4b. Mapa da microrregião de Itabira**



Fonte: [http://www.saude.mg.gov.br/images/anexos/PDR/Apresentacao\\_cartografica\\_PDR-2014.pdf](http://www.saude.mg.gov.br/images/anexos/PDR/Apresentacao_cartografica_PDR-2014.pdf)

**Figura 4c. Mapa da microrregião de Guanhães**



Fonte: [http://www.saude.mg.gov.br/images/anexos/PDR/Apresentacao\\_cartografica\\_PDR-2014.pdf](http://www.saude.mg.gov.br/images/anexos/PDR/Apresentacao_cartografica_PDR-2014.pdf)

Em cumprimento à legislação vigente, a partir do ano de 2010 a GRS-Itabira implantou o VIGIAGUA, realizando análises para os municípios adscritos, exceto o município de Itabira, o qual realiza as análises em laboratório próprio, com base no Art. 21, da Portaria/MS 2.914/2011, o qual define que:

“As análises laboratoriais para controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano podem ser realizadas em laboratório próprio, conveniado ou subcontratado, desde que se comprove a existência de sistema de gestão da qualidade, conforme os requisitos especificados na NBR ISO/IEC 17025:2005.”

### 1.1.2 SISAGUA

A principal ferramenta do VIGIAGUA é um sistema computacional de acesso via internet denominado Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA), no qual são inseridos resultados de análises microbiológicas e físico-químicas, informações sobre a população abastecida, vazão e localização do sistema de abastecimento. Os dados registrados neste sistema têm por objetivo auxiliar as autoridades de saúde pública, em todas as esferas de gestão do SUS, na identificação de vulnerabilidades ambientais capazes de alterar a qualidade da água fornecida, facilitando o desenvolvimento de ações corretivas, quando necessárias (Freitas & Freitas 2005).

O SISAGUA (disponível em: <http://sisagua.saude.gov.br/sisagua/login.jsf>) é estruturado em cinco grupos de informação. Tabelas básicas: para registro das instituições prestadoras, mananciais superficiais, localidades (divididas em áreas ou locais) urbanas ou rurais, e regionais de saúde. Cadastro: para registro dos sistemas de abastecimento de água (SAA), soluções alternativas coletivas (SAC) e soluções alternativas individuais (SAI). Controle: onde o prestador registra os resultados mensais e semestrais das análises laboratoriais de controle da qualidade, realizadas em sistemas e soluções alternativas coletivas. Vigilância: onde os resultados das análises laboratoriais da vigilância da qualidade da água são registrados pela Secretaria de Saúde Municipal (neste grupo, o Sistema também disponibiliza uma opção de consulta do plano de amostragem mensal de cada município adscrito à Unidade Regional de Saúde). Relatórios: esta função emite relatórios sobre a implementação do VIGIAGUA, informando sobre o percentual de cumprimento das atividades de cadastro, controle e vigilância, por município adscrito; fornece dados sobre o percentual da população abastecida, número de amostras analisadas pela vigilância,

cumprimento do plano de amostragem da diretriz nacional, mananciais de captação utilizados para o abastecimento e relação das formas de abastecimento (SAA, SAC e SAI) utilizadas pelos municípios.

As informações supracitadas têm importância na rotina de trabalho da vigilância da qualidade da água para consumo humano, pois os técnicos dos serviços públicos de vigilância em saúde, epidemiológica, ambiental e sanitária da União, Estados, Municípios e Distrito Federal, podem utilizá-las para elaboração de relatórios técnicos sobre a situação de captação, armazenamento, tratamento e distribuição da água nos municípios.

### 1.1.3 Controle e vigilância

Os conceitos de controle e vigilância são fundamentais para a compreensão das diferenças de responsabilidades institucionais (público/privado) relativas às áreas geográficas de atuação e planos de amostragem.

A Portaria/MS 2.914 de 12 de Dezembro de 2011 adota os seguintes conceitos para o controle e vigilância:

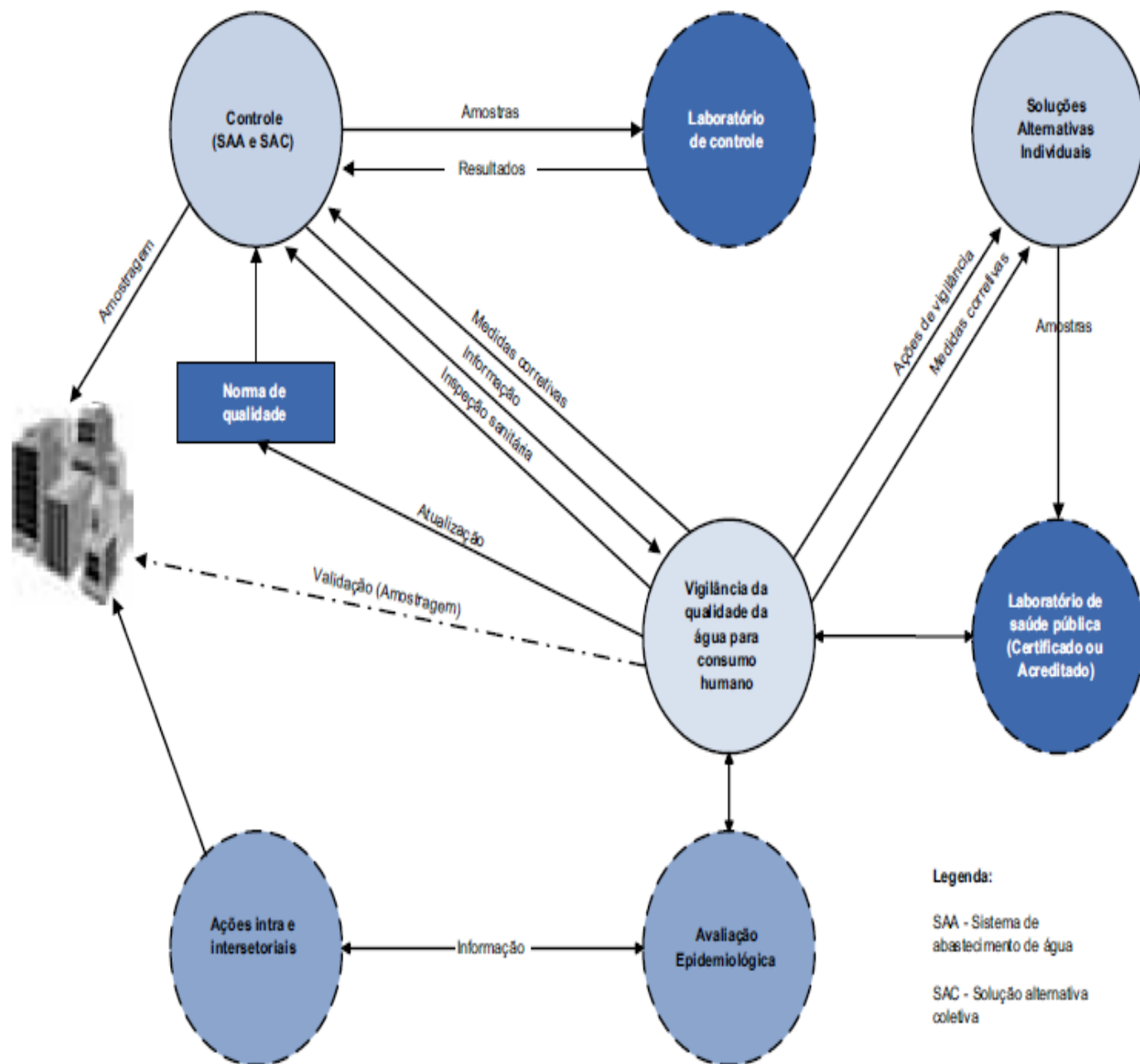
controle da qualidade da água para consumo humano: conjunto de atividades exercidas regularmente pelo responsável pelo sistema ou por solução alternativa coletiva de abastecimento de água, destinado a verificar se a água fornecida à população é potável, de forma a assegurar a manutenção desta condição.

vigilância da qualidade da água para consumo humano: conjunto de ações adotadas regularmente pela autoridade de saúde pública para verificar o atendimento a esta Portaria, considerados os aspectos socioambientais e a realidade local, para avaliar se a água consumida pela população apresenta risco à saúde humana.

Esta portaria determina que atividade de controle da qualidade é atribuição do prestador de serviço, abrangendo o sistema de abastecimento de água e solução alternativa coletiva (SAA e SAC), e que vigilância é atividade inerente ao setor público, o qual deve realizar análises dos parâmetros básicos nas três formas de abastecimento (SAA, SAC e SAI). Os resultados das análises do controle e vigilância são confrontados e interpretados no contexto epidemiológico municipal.

A Figura 5 representa a inter-relação entre vigilância e controle em sistemas de abastecimento de água, demonstrando como as ações de vigilância em saúde ambiental relacionadas à qualidade da água devem articular-se entre os diversos atores do processo, setores público e privado, além de atuarem em consonância com as políticas e programas no contexto da vigilância em saúde.

Figura 5. Inter-relação entre a vigilância e o controle da qualidade da água para consumo humano



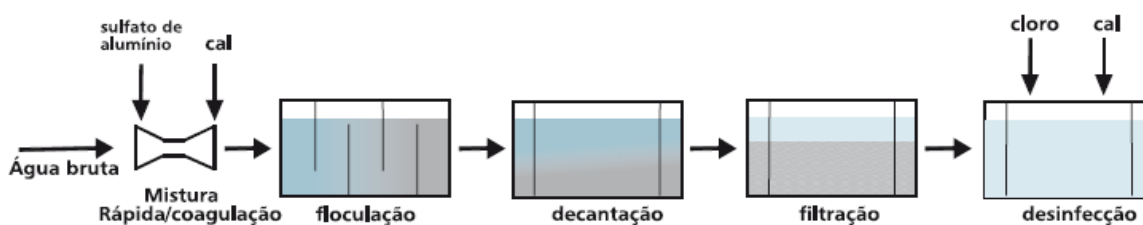
Fonte: (BRASIL 2005)

### 1.1.4 Tratamento de água convencional

Denomina-se tratamento convencional ou completo quando a estação de tratamento de água conta com a sequência dessas quatro operações: coagulação, floculação, decantação/sedimentação e filtração, seguida da desinfecção e da correção de pH (BRASIL 2006<sup>b</sup>).

A escolha do processo de tratamento depende do tipo de manancial de captação. Para captações superficiais, o processo deve apresentar minimamente as etapas de clarificação (processo de remoção de impurezas), desinfecção (para inativação ou remoção de vírus e bactérias), fluoretação (para prevenção de cáries dentárias, conforme determinado na Portaria MS nº 635/1975 e Portaria de Consolidação nº 5/2017 – Anexo XXI) e controle de corrosão e incrustações (através da correção de pH, cuja faixa legalmente determinada é 6,0 – 9,5). Para captações subterrâneas, normalmente é dispensada a etapa de clarificação, em função dos baixos níveis de turbidez. Considerando que o sistema de abastecimento de água do município estudado possui captação superficial, a estrutura da estação de tratamento deve organizar-se conforme a sequência de operações mostrada na Figura 6 (BRASIL 2006<sup>a</sup>).

**Figura 6. Esquema de tratamento de ciclo completo**



Fonte: BRASIL 2006<sup>b</sup>

As operações de coagulação (adição de coagulante, ex. sulfato de alumínio, para desestabilização das partículas), mistura rápida (homogeneização do coagulante), floculação (formação de flocos mediante o contato das partículas desestabilizadas), decantação (separação dos flocos por ação da gravidade) e filtração (passagem da água por um leito de material granular, usualmente areia, com remoção das partículas não retidas no decantador), fazem parte da etapa de clarificação, a qual tem por objetivo a garantia da aparência estética da água, a remoção de protozoários e otimização do processo de desinfecção, pois o excesso de sólidos dispersos pode proteger microrganismos da ação dos desinfetantes químicos. A desinfecção é usualmente realizada com a utilização de oxidantes químicos, normalmente

cloro, dióxido de cloro ou ozônio. A correção de pH é usualmente realizada pela adição de óxido de cálcio (cal) (BRASIL 2006<sup>a</sup>).

## 1.2 Histórico normativo

Após a segunda guerra mundial (1939-1945) houve um grande desenvolvimento econômico no mundo, impulsionando a realização de grandes obras, principalmente a construção de hidrelétricas. No período entre os anos 1945 a 1960 o Brasil realizou obras hidráulicas de pequeno porte, e entre 1960 a 1970 realizou grandes empreendimentos hidrelétricos, marcando o início da pressão ambiental com a deterioração da qualidade da água de rios e lagos próximos a centros urbanos. A ênfase no desenvolvimento de hidrelétricas agravou o problema da qualidade da água, o que forçou a criação de legislações ambientais no período entre o final dos anos 1970 a 1990. Nos anos seguintes, as bases normativas sobre o tema da qualidade da água foram aperfeiçoadas e têm sido revisadas até os dias atuais (Tucci et al. 2000).

A primeira normatização relacionada à qualidade da água para consumo humano no Brasil iniciou-se através do Decreto nº 79.367 de 9 de março de 1977, que delegou ao Ministro de Estado da Saúde a incumbência de fixar em Portaria os parâmetros de potabilidade, salientando que deveriam abranger definições, características de qualidade de água potável, amostragem e métodos de análise.

A partir deste Decreto foi publicada a Portaria nº 56, em 14 de março de 1977, estabelecendo normas, padrão de potabilidade da água para consumo humano, além de atribuir a fiscalização e o controle do seu cumprimento às Secretarias de Saúde Estaduais e órgãos equivalentes nos territórios e Distrito Federal (BRASIL 2012).

Em 1988 iniciou-se a revisão da Portaria nº 56 culminando com a Portaria/GM nº 36, publicada em 19 de janeiro de 1990, a qual exigiu a realização das atividades de controle e vigilância, introduziu o conceito de sistema de abastecimento de água<sup>1</sup> e sugeriu adequações quanto aos parâmetros químicos e microbiológicos.

---

<sup>1</sup> **Sistema de abastecimento de água (SAA):** instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição.

Em 29 de dezembro de 2000 foi publicada a Portaria nº 1.469, cujas principais contribuições foram adotar a definição de solução alternativa de abastecimento de água<sup>2</sup>, atribuindo ao poder público de saúde o dever de realizar a vigilância da qualidade da água e às empresas de abastecimento, geridas pelo poder público ou privado, o dever de realizar o controle da qualidade da água distribuída à população. Outras inovações diziam respeito à introdução da pesquisa de cianobactérias e cianotoxinas, além de recomendar que o processo de filtração tenha eficiência adequada para remoção de cistos de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp.. Em 25 de março de 2004 a Portaria/MS nº 518 substituiu a Portaria nº 1.469, reproduzindo inteiramente seu conteúdo (Freitas & Freitas 2005).

Em 4 de maio de 2005 foi publicado o Decreto 5.440, instituindo mecanismos e instrumentos para divulgação de informações ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano. A elaboração do Decreto baseou-se na Lei nº 8.078/1990, a qual dispõe sobre a proteção e defesa do consumidor, na Lei 8.080/1990 – Lei Orgânica do Sistema Único de Saúde, Lei 9.433/1997 relativa à Política Nacional de Recursos Hídricos e na Portaria 518/2004, então vigente à época, Art. 9º, inciso VI, determinando aos responsáveis pela operação de sistema de abastecimento de água o fornecimento aos consumidores, nos termos do código de defesa do consumidor, de informações sobre a qualidade da água distribuída, com periodicidade mínima anual, contendo informações sobre descrição dos mananciais de abastecimento, parâmetros de qualidade detectados na água e seus significados, origem e efeitos sobre a saúde, além de ocorrência de não conformidade com o padrão de potabilidade e as medidas corretivas desencadeadas (BRASIL 2010).

Em 5 de janeiro de 2007, a Lei nº 11.445 estabeleceu as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Esta lei faz menção aos princípios fundamentais do SUS ao definir, em seu Art. 2º, incisos I e II, que os serviços públicos de saneamento básico serão prestados, além de outros, com base nos princípios da Universalização do acesso e Integralidade com base nas necessidades da população. O Art. 3º, inciso I, alínea “a”, conceitua como parte do saneamento básico o abastecimento de água potável, envolvendo infraestruturas e instalações necessárias ao fornecimento de água desde a captação até as ligações prediais. O inciso IV do mesmo artigo define o controle social como um conjunto de mecanismos capazes de assegurarem à população e representantes técnicos, informações necessárias à tomada de decisões.

---

<sup>2</sup> **Solução alternativa coletiva (SAC):** modalidade de abastecimento coletivo destinada a fornecer água potável, com captação subterrânea ou superficial, com ou sem canalização e sem rede de distribuição.

**Solução alternativa individual (SAI):** modalidade de abastecimento de água para consumo humano que atenda a domicílios residenciais com uma única família, incluindo seus agregados familiares.

Atualmente a norma que regula a qualidade da água de consumo humano no Brasil é a Portaria/MS nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011, a qual foi incorporada à Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, anexo XX. A Portaria 2.914/2011 possui 14 tabelas (como anexos) contendo parâmetros de contaminação microbiológica, turbidez para água pré e pós-desinfecção, metas de turbidez para filtração rápida e lenta, tempo de contato mínimo para desinfecção pelo cloro, cloramina e dióxido de cloro (em relação ao pH e temperatura), e valor máximo permitido para substâncias químicas (inorgânicas, orgânicas, agrotóxicos, desinfetantes e produtos secundários da desinfecção).

A Portaria nº 2.914/2011 encontra-se em processo de revisão, conforme o endereço: [http://abes-dn.org.br/ctabes/ctsaudeambiental/wp-content/uploads/sites/14/2018/09/Linhas-norteadoras\\_revisao-2914\\_rkxb\\_09.2018.pdf](http://abes-dn.org.br/ctabes/ctsaudeambiental/wp-content/uploads/sites/14/2018/09/Linhas-norteadoras_revisao-2914_rkxb_09.2018.pdf).

### **1.2.1 Regulação dos serviços de água e esgoto**

Entre os anos de 1950 a 1970, a regulação da prestação de serviços públicos limitava-se à expedição de normas e regulamentos pelo poder executivo, mantendo este modelo até o final dos anos 1980. No contexto do saneamento básico, a falta de capacidade dos entes federados para regular os serviços favoreceu a instauração da lógica de contratos, mas este formato de regulação possui desvantagens associadas ao acompanhamento contínuo das metas e obrigações contratuais. A regulação por agências favoreceu o estabelecimento de arranjos institucionais como a criação de consórcios, viabilizando sua atividade em virtude da economicidade que a agregação de várias concessões proporciona à função reguladora. Entretanto, devido às características físicas, econômicas e institucionais do setor de água e esgoto, o estabelecimento efetivo das ações regulatórias conforme os princípios legais, ainda é complexo (Junior & Paganini 2009).

A regulação do acesso e uso dos recursos hídricos de domínio da União é realizada pela Agência Nacional de Águas (ANA), a qual foi criada pela Lei Federal 9.984, de 17 de julho de 2000. A ANA é uma autarquia vinculada ao ministério do Meio Ambiente, com autonomia financeira e administrativa, cabendo-lhe supervisionar, controlar e avaliar o cumprimento da legislação federal relacionada aos recursos hídricos.

No Estado de Minas Gerais, a fiscalização dos prestadores de serviços públicos de água e esgoto é realizada pela Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais (ARSAE). A agência foi criada pela Lei Estadual 18.309, de 03 de agosto de 2009, como uma autarquia especial vinculada à

Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional e Política Urbana (SEDRU), com sede e foro na capital do Estado, e prazo de duração indeterminado. Além das funções de orientação e fiscalização dos prestadores, a ARSAE também edita normas técnicas, econômicas e sociais para sua regulação.

### 1.3 Alguns estudos sobre qualidade da água para consumo humano

Apesar das inúmeras publicações recentes sobre o tema, de forma geral a preocupação com a qualidade da água é antiga. Em 1992, Souza et al. conduziram uma pesquisa sobre *Salmonella* spp. e coliformes fecais em água consumida por animais, relatando dificuldades no controle das salmoneloses em decorrência da eliminação de fezes no ambiente por animais portadores de *Salmonella* spp. Os autores detectaram que os bebedouros utilizados por esses animais poderiam representar importantes fontes de contaminação. Das 113 amostras de água utilizadas pelos animais, 15 (13,3%) apresentaram resultado positivo para presença de *Salmonella* spp. Os autores argumentaram que apesar do baixo percentual, o resultado tem importante significado epidemiológico, pois um número não conhecido de animais mitigava sua sede nesses bebedouros, ficando expostos ao risco de contraírem e transmitirem infecções.

A criação de leis e normas técnicas sobre potabilidade da água gerou um profícuo campo de pesquisa e, muitos trabalhos sobre o tema têm alertado dirigentes políticos e sociedade civil quanto aos perigos químicos e principalmente microbiológicos presentes na água de consumo humano, decorrentes das pressões do sistema produtivo sobre os recursos naturais, sobretudo nos ecossistemas aquáticos (Goulart & Callisto 2003).

No trabalho de Yamaguchi et al. (2013) realizado em uma instituição de ensino em Maringá-PR, foram analisadas a presença de coliformes totais e termotolerantes em amostras de água mineral natural engarrafadas e água tratada. A pesquisa revelou que as amostras tratadas com cloro apresentavam melhor qualidade microbiológica em comparação às não tratadas, reforçando a premissa de que a falta de tratamento adequado facilita a contaminação e disseminação de doenças veiculadas pela água.

Ailes et al. (2013) avaliaram os impactos econômicos e na saúde humana decorrentes de surtos provocados por *Salmonella* Typhimurium veiculada por água de consumo humano, no ano de 2008 em Alamosa, Colorado (EUA). A estimativa total do custo para controle dos surtos foi de 1,5 milhões de dólares. Os impactos na saúde foram representados por 434 casos, com 124 confirmados laboratorialmente, 20 hospitalizações e um óbito.

Sanches et al. (2015) realizaram um estudo sobre a qualidade da água consumida por escolares na cidade de Uberaba-MG, no qual analisaram amostras provenientes de bebedouros e torneiras da cozinha de oito instituições de ensino infantil da rede pública municipal que atendiam crianças na faixa etária de 0-5 anos. Seus resultados revelaram presença de *E. coli* e coliformes totais acima e, cloro residual livre abaixo dos valores definidos pela Portaria 2.914/2011 em aproximadamente 50% das amostras analisadas.

Até o ano de 2012, estimava-se que 1,8 milhões de pessoas no mundo, principalmente crianças, morriam em decorrência de doenças gastrointestinais causadas pela presença de agentes patogênicos em água não tratada, predominando bactérias, vírus, protozoários e helmintos (Fregonesi et al. 2012).

Finalmente, muitas doenças de veiculação hídrica se enquadram na temática atual de intervenção em saúde pública centrada no conceito de “Saúde Única (One Health)”, o qual considera a abordagem de doenças que envolvem interações complexas entre pessoas, animais e o meio ambiente, como uma maneira de desenvolver e implementar estratégias de controle e prevenção de doenças (Cleaveland et al. 2017). A situação descrita no estudo de Souza et al. (1992) é um exemplo de possibilidade de aplicação da intervenção One Health.

#### 1.4 Identificação de perigos

Os termos perigo e risco são frequentemente percebidos de forma equivocada ou entendidos como sinônimos, o que de fato não são. Perigo é uma situação com potencial para causar um problema e risco é a probabilidade de ocorrência do problema (Singley 2004).

A proposta deste trabalho está ajustada a uma categorização qualitativa do risco, através da identificação de perigos. Não pretende, portanto, realizar uma análise clássica de risco, cujos princípios consideram, além da identificação de perigos (verificação do potencial patogênico do agente), avaliação da relação dose-resposta (relação entre a dose infectante e a incidência de danos em humanos), avaliação da exposição (contato pessoa-agente em diferentes condições e frequências) e caracterização de riscos (identificação da incidência estimada dos efeitos adversos na população em estudo) (Freitas 2002).

As mudanças ocorridas, nos últimos anos, nos perfis de distribuição de doenças e processos produtivos, têm gerado necessidades de utilização de ferramentas de diagnóstico em vigilância em saúde mais qualificadas. Em relação à vigilância ambiental da qualidade da água, Carmo et al. (2008) adaptaram algumas sugestões apresentadas no Manual de Procedimentos de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para

Consumo Humano, incentivando a aplicação de novas ideias neste campo (BRASIL 2006<sup>b</sup>). A partir dos parâmetros de presença/ausência de *E. coli*, turbidez e cloro residual livre, associados à avaliação do cumprimento do plano mínimo de amostragem e estrutura da rede de distribuição, os autores sugeriram uma classificação de perigos e categorização de riscos microbiológicos, em um sistema de abastecimento de água localizado em um município da Zona da Mata Mineira, utilizando dados das análises de controle de qualidade, atividade inerente ao prestador do serviço de fornecimento de água, conforme definido no Art. 5º, item XV, da Portaria 2.914/2011 (o presente trabalho utilizou dados da vigilância, atividade inerente à autoridade de saúde pública, conforme o Art. 5º, item XVI, da mesma Portaria).

A multifatorialidade associada aos problemas de saúde decorrentes do consumo de água contaminada, como estado nutricional, hábitos individuais, falta de informações e acesso aos serviços de saúde, dificultam o planejamento de ações preventivas, reforçando a importância da implantação de um modelo de identificação de perigos relacionados à qualidade da água para consumo humano (Silva & Araújo 2003).

A identificação dos perigos associados ao fornecimento de água em desconformidade aos padrões legais de potabilidade consiste na primeira etapa de análise do risco, envolvendo a avaliação do conhecimento disponível e a descrição de efeitos adversos à saúde associados a uma situação ou qualquer condição ambiental capaz de alterar as características da água, tornando-a imprópria para o consumo (BRASIL 2006<sup>b</sup>).

Considerando que a maioria das doenças de veiculação hídrica são transmitidas pela rota fecal-oral e estão relacionadas com patógenos entéricos de origem animal ou humana, pode-se inferir que a contaminação de mananciais por dejetos orgânicos representa um perigo iminente relacionado ao abastecimento de água (Amaral et al. 2003). Este padrão de transmissão de doenças requer atenção especial para o tratamento adequado e concomitante de água e esgoto, devido à possibilidade de contaminação da água para consumo humano por efluentes domésticos contendo inúmeros agentes potencialmente patogênicos, incluindo patótipos de *E. coli* com potencial para causar doenças graves, como *E. coli* enteropatogênica e enterohemorrágica, respectivamente associadas à diarreia infantil grave e, diarreia sanguinolenta e síndrome hemolítico-urêmica (Yang et al. 2014).

## 1.5 Parâmetros indicadores da qualidade da água

A vigilância da qualidade da água tem um caráter preventivo e rotineiro, com objetivo de manter uma avaliação sistemática e permanente dos riscos à saúde humana, relacionados aos sistemas e soluções alternativas de abastecimento. Assume também caráter investigativo, pois atua em conjunto com as vigilâncias epidemiológica e sanitária em situações de emergências e surtos suspeitos de estarem relacionados à água para consumo humano. Portanto, seus procedimentos analíticos são independentes daqueles realizados pelo controle e a qualidade microbiológica da água é avaliada por meio da presença de indicadores microbianos e físico-químicos capazes de refletir a eficiência do tratamento (BRASIL 2005).

No Brasil, os seguintes indicadores são utilizados para aferir a qualidade da água consumida: coliformes totais e *E. coli* – bioindicadores de contaminação; turbidez – indicador sanitário da eficiência da filtração durante o processo de tratamento, e cloro residual livre – indicador de potabilidade microbiológica por meio da inativação de bactérias e vírus (BRASIL 2015). As Secretarias de Saúde dos Estados, do Distrito Federal e dos municípios possuem autonomia para a incorporação de análises de outras substâncias e patógenos de importância para a saúde pública local (BRASIL 2016).

### 1.5.1 Bioindicadores: coliformes totais e *E. coli*

Em virtude de limitações técnicas e financeiras, em geral não é viável a realização de análises da água para identificação de todos os patógenos conhecidos, portanto, usualmente a OMS recomenda a utilização de coliformes totais e *E. coli* como indicadores da eficiência dos processos de desinfecção e como organismos índice para a potencial presença de contaminação fecal e agentes patogênicos transmitidos pela água (Gruber et al. 2014).

A função indicadora está relacionada às características de resistência a tratamentos e persistência em ambientes aquáticos semelhantes aos dos microrganismos substitutos (vírus e protozoários), e o índice está relacionado à ocorrência de microrganismos substitutos e materiais fecais remanescentes. Tradicionalmente, as bactérias de origem fecal são consideradas detentoras das duas funções, mas atualmente esta característica é controversa, pois não compartilham da resistência a tratamentos ou persistência no ambiente como os vírus, e não distinguem a fonte de contaminação (poluição humana ou animal). Por estas razões há um interesse crescente em aumentar o espectro de indicadores disponíveis (García-Aljaro et al. 2018).

Os coliformes totais são bacilos Gram negativos, identificados pela sua capacidade de fermentar a lactose e produzir gás à 35–37 °C. Os gêneros *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*, membros da família *Enterobacteriaceae*, representam este grupo de bactérias (Cabral 2010).

A *E. coli* é um dos microrganismos mais versáteis da natureza e o mais abundante na microbiota intestinal humana. Contudo vários clones adquiriram atributos específicos de patogenicidade, permitindo adaptação a novos nichos e ocorrência de amplo espectro de doenças associadas a três síndromes clínicas gerais: doença entérica/diarreica, infecções do trato urinário e meningite (Villamil & Garcia 2015).

Os clones com características patogênicas bem descritas são *E. coli* enteropatogênica (EPEC), *E. coli* enterohemorrágica (EHEC) produtoras de toxina Shiga (Stx), *E. coli* enterotoxígena (ETEC), *E. coli* enteroagregante (EAEC) e *E. coli* enteroinvasiva (EIEC). Estes patotipos, denominados diarreio gênicos, surgiram através de combinações específicas mediante transferência horizontal de genes, e de forma geral, surtos de doenças causadas por estes microrganismos estão relacionados a baixas condições socioeconômicas, afetando principalmente crianças menores de cinco anos (Gomes et al. 2016).

A *E. coli* enteropatogênica é uma das principais causas de diarreia infantil grave em países em desenvolvimento. Este patotipo induz uma histopatologia característica, conhecida como lesão anexadora e de efeito, evidenciada pelo desaparecimento das microvilosidades do intestino e pela ligação íntima das bactérias à superfície epitelial (Hu & Torres 2015).

Apesar das normas técnicas brasileiras e de outros países adotarem bactérias do grupo coliformes no monitoramento da qualidade da água, como um dos indicadores de risco para saúde pública, apenas *E. coli* é extensivamente identificada nas fezes de animais, incluindo humanos (Allen et al. 2015). Portanto, apesar dos conhecimentos atuais sobre organismos indicadores, a *E. coli* ainda é considerada a melhor bactéria indicadora de contaminação fecal e seu valor de referência para água potável é “ausência em 100 mL” (Quadro 1) nas amostras da saída do tratamento e rede de distribuição (Kostyla et al. 2015; BRASIL 2011<sup>b</sup>).

### 1.5.2 Turbidez

A turbidez é o grau de interferência à passagem da luz através de um líquido em decorrência da presença de material em suspensão, representando a propriedade óptica que faz a luz ser dispersa ou absorvida em vez de ser transmitida em linha reta através da amostra, sendo expressa por unidades de turbidez (uT) ou nefelométricas (APHA 2012).

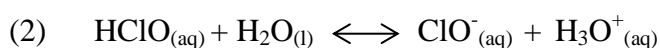
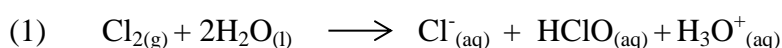
Como indicador de eficiência da filtração no sistema de tratamento, a turbidez é um parâmetro importante da qualidade parasitológica da água. Considerando que cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* não são inativados com as doses convencionais de cloro, valores de turbidez acima de 5,0 uT, máximo permitido em toda extensão do sistema de distribuição pela Portaria/MS 2.914/2011 (Quadro 1), podem representar perigos associados à presença destes organismos (BRASIL 2006<sup>a</sup>).

### 1.5.3 Cloro residual

A utilização do cloro como agente desinfetante em sistemas de abastecimento de água teve início na Bélgica no ano de 1902, seguido pelos Estados Unidos em 1908 e Canadá em 1916. Atualmente, a maioria dos países do mundo utiliza cloração como medida de controle da qualidade microbiológica da água para consumo humano (Chowdhury 2012).

Em contato com a água (H<sub>2</sub>O), o cloro gasoso (Cl<sub>2</sub>) se hidrolisa em íons cloreto (Cl<sup>-</sup>) e ácido hipocloroso (HClO), conforme a reação (1). O ácido hipocloroso se dissocia gerando íons hipoclorito (ClO<sup>-</sup>), conforme reação (2). A soma das concentrações do ácido hipocloroso e do íon hipoclorito é conhecida como cloro residual livre. A inativação dos microrganismos ocorre mediante ataque do cloro aos seus principais constituintes, gerando desarranjo estrutural nos vírus e inativação de enzimas metabólicas, interferência na síntese de proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas e parede celular nas bactérias (Soares et al. 2016).

Reações:



Segundo o Art. 34 da Portaria 2.914/2011, a concentração de cloro residual livre em toda extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede) deve ser no mínimo 0,2 mg/L e, segundo o Art. 39, § 2º, o teor recomendado para qualquer ponto do sistema de abastecimento não deve ultrapassar 2 mg/L (Quadro 1).

**Quadro 1. Valores preconizados para os parâmetros básicos definidos pela Portaria 2.914/2011**

Parâmetro	Saída do tratamento	Rede de distribuição
Coliformes totais	Ausência em todas as amostras	<sup>(a)</sup> Apenas uma amostra mensal <sup>(b)</sup> Ausência em 95% das amostras mensais
<i>E. coli</i>	Ausência em todas as amostras	Ausência em todas as amostras
Turbidez	95% das amostras com valor $\leq 1,0$ uT	Todas as amostras com valor $\leq 5,0$ uT
Cloro residual livre	Concentração entre 0,2 – 2,0 mg/L em todas as amostras	Concentração entre 0,2 – 2,0 mg/L em todas as amostras

(a) Sistemas que abastecem menos de 20.000 habitantes

(b) Sistemas que abastecem mais de 20.000 habitantes

uT – Unidade turbidimétrica

## 1.6 Agentes patogênicos de veiculação hídrica

Os vírus são os patógenos mais perigosos encontrados em água, devido à sua potencial capacidade de causar doenças graves em crianças, idosos e imunocomprometidos. Esta habilidade patogênica é condicionada pela sua baixa dose infectante, possibilidade de sofrer mutações, impossibilidade de tratamento com antibióticos, resistência à desinfecção e facilidade de sobrevivência e transporte através da água devido ao seu pequeno tamanho, entre 10 a 300 nm (O'Brien et al. 2017). Os vírus mais frequentemente encontrados em água contaminada são os adenovírus, rotavírus, vírus da hepatite A e enterovírus. Todos eles foram respectivamente identificados em surtos de conjuntivites, gastroenterites e diarreias em todo o mundo (Katukiza et al. 2013).

Através de fezes contaminadas, os protozoários também podem ser encontrados em água para consumo humano, com potencial para ocasionar doenças parasitárias endêmicas e epidêmicas, sobretudo em países desenvolvidos e subdesenvolvidos. Os principais gêneros identificados em água são *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. (Omarova et al. 2018).

Apesar de não incluí-los nas análises de rotina, o VIGIAGUA considera os vírus, protozoários e outras bactérias além do grupo coliformes, como importantes agentes potencialmente patogênicos, entretanto reconhece a *E. coli* como a principal bactéria indicadora de contaminação fecal recente, devido à sua persistência moderada em água (Quadro 2), porém, esta persistência tem sido questionada.

Abberton et al. (2016) monitoraram e detectaram as mudanças temporais e espaciais na dinâmica de *E. coli* em uma comunidade microbiana mista de três amostras da bactéria (uma originária do solo e duas comensais), as quais foram inoculadas em água clorada e sua viabilidade acompanhada em diferentes temperaturas, através da contagem em placas, reação em cadeia da polimerase em tempo real (qPCR) e por transcriptase reversa (RT-PCR). Muitas

amostras de *E. coli* permaneceram viáveis por longos períodos (mais de 70 dias) e embora seja comumente aceito que temperaturas mais altas favoreçam seu metabolismo, houve maior persistência da bactéria em temperaturas mais baixas (5°C a 8°C), dependendo da estirpe.

**Quadro 2. Agentes patogênicos veiculados pela água e de transmissão fecal-oral e sua importância para o abastecimento de água**

Agente patogênico	Importância para saúde	Persistência na água <sup>a</sup>	Resistência ao cloro <sup>b</sup>	Dose infecciosa relativa <sup>c</sup>	Reservatório animal importante
<b>Bactérias:</b>					
<i>Campylobacter jejuni</i> , <i>C. coli</i>	Considerável	Moderada	Baixa	Moderada	Sim
<i>Escherichia coli</i> patogênica	Considerável	Moderada	Baixa	Alta	Sim
<i>Salmonella typhi</i>	Considerável	Moderada	Baixa	Alta <sup>d</sup>	Não
Outras salmonelas	Considerável	Prolongada	Baixa	Alta	Sim
<i>Shigella</i> spp.	Considerável	Breve	Baixa	Moderada	Não
<i>Vibrio cholerae</i>	Considerável	Breve	Baixa	Alta	Não
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Considerável	Prolongada	Baixa	Alta(?)	Sim
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> <sup>e</sup>	Moderada	Podem multiplicar-se	Moderada	Alta(?)	Não
<i>Aeromonas</i> spp.	Moderada	Podem multiplicar-se	Baixa	Alta(?)	Não
<b>Vírus:</b>					
Adenovírus	Considerável	?	Moderada	Baixa	Não
Enterovírus	Considerável	Prolongada	Moderada	Baixa	Não
Hepatite A	Considerável	?	Moderada	Baixa	Não
Hepatite transmitida por via entérica, hepatite E	Considerável	?	?	Baixa	Não
Vírus de Norwalk	Considerável	?	?	Baixa	Não
Rotavírus	Considerável	?	?	Moderada	Não (?)
<b>Protozoários:</b>					
<i>Entamoeba histolytica</i>	Considerável	Moderada	Alta	Baixa	Não
<i>Giardia lamblia</i>	Considerável	Moderada	Alta	Baixa	Sim
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Considerável	Prolongada	Alta	Baixa	Sim

(Fonte: BRASIL 2006<sup>a</sup>)

Legenda:

(?) Não conhecido ou não confirmado.

(a) Período de detecção da fase infecciosa na água a 20°C: breve, até uma semana; moderada, de uma semana a um mês; prolongada, mais de um mês.

(b) Quando a fase infecciosa encontra-se em estado livre na água tratada com doses e tempos de contato tradicionais. Resistência moderada, o agente pode não acabar completamente destruído; resistência baixa, o agente acaba completamente destruído.

(c) A dose necessária para causar infecção em 50% dos voluntários adultos são; no caso de alguns vírus, basta uma unidade infecciosa.

(d) Segundo os resultados de experimentos com seres humanos voluntários.

(e) A principal via de infecção é o contato cutâneo, porém pacientes com câncer ou imunodepressão podem ser infectados por via oral.

### 1.6.1 *Shigella* spp.

Bactérias do gênero *Shigella* (família *Enterobacteriaceae*), são anaeróbios facultativos, Gram negativos e imóveis. Possuem quatro sorogrupos responsáveis por infecções intestinais em humanos: *Shigella flexneri*, *Shigella dysenteriae*, *Shigella boydii* e *Shigella sonnei*, produzindo um estado mórbido iniciado por diarreia, denominado shigelose (Killackey et al. 2016). Fenotipicamente, *Shigella* spp. e *E. coli* compartilham muitas características comuns, diferenciando-se em relação aos aspectos clínicos e epidemiológicos (Ragupathi et al. 2018). Surtos e epidemias de shigelose normalmente estão relacionados com *S. dysenteriae*, enquanto *S. flexneri* e *S. sonnei* são responsáveis por doenças endêmicas em países em desenvolvimento e desenvolvidos, respectivamente (Taneja & Mewara 2016).

### 1.6.2 *Salmonella* spp.

O gênero *Salmonella* (família *Enterobacteriaceae*) é representado por bactérias Gram negativas e anaeróbias facultativas (Holschbach & Peek 2017). São patógenos entéricos divididos entre as espécies *Salmonella bongori* e *Salmonella enterica*, envolvidas em infecções de répteis e animais de sangue quente, respectivamente. A espécie *S. enterica* é dividida em sete subespécies, destacando-se a *S. enterica* subsp. *enterica* como a única capaz de causar infecções em mamíferos e provocar doenças humanas. As infecções por *Salmonella* representam uma das mais prevalentes em 27 estados membros da União Europeia, onde os surtos de salmonelose associados a frutas e vegetais frescos estão se tornando comuns e novos sorotipos foram identificados em surtos recentes (Ilyas et al. 2017; Wadamori et al. 2017).

### 1.6.3 *Yersinia enterocolitica*

A *Yersinia enterocolitica* (família *Enterobacteriaceae*) é uma bactéria Gram negativa, psicrófila, com capacidade de sobrevivência por longos períodos em alimentos congelados. Embora existam espécies não patogênicas, os sintomas clínicos humanos da yersinose, causada por espécies dotadas de fatores de patogenicidade, variam entre enterites autolimitadas a enterites agudas (principalmente em crianças), linfadenite mesentérica e ileíte terminal. A infecção ocorre através da ingestão de água e alimentos contaminados, principalmente carne de porco, e o maior número de casos são registrados na União Europeia (Petsios et al. 2016).

#### 1.6.4 *Vibrio cholerae*

*Vibrio cholerae* é uma bactéria Gram negativa, membro da família *Vibrionaceae*, encontrada em águas costeiras e estuários. Apresenta melhor desenvolvimento em condições de maior salinidade, mas também se desenvolve em ambientes com menor concentração de sal desde que haja disponibilidade de nutrientes e clima quente. São conhecidos mais de 200 sorogrupos, classificados de acordo com o antígeno O, porém somente os sorogrupos O1 e O139 causam cólera epidêmica (Harris et al. 2012). A ingestão de água e produtos marinhos contaminados representam a principal via de contaminação por *V. cholerae* e as manifestações clínicas estão associadas à toxina colérica, a qual induz diarreia acentuada, com grande perda de água e eletrólitos (Banerjee et al. 2014).

#### 1.6.5 *Campylobacter* spp.

As bactérias do gênero *Campylobacter* são organismos móveis, microaerófilos, Gram negativos (Sahin et al. 2017), incluindo 22 espécies, inseridas na família *Campylobacteriaceae*, das quais *Campylobacter jejuni* e *Campylobacter coli* são as mais conhecidas devido à capacidade de causar gastroenterites humanas. *Campylobacter* spp. é um microrganismo comensal do intestino de muitos animais (pato, gaivota, porco, cão e gato) e sua transmissão ao ser humano ocorre através da via fecal-oral, pela ingestão de alimentos e água contaminados. As manifestações clínicas da infecção por este gênero de bactérias variam entre diarreia aquosa e inflamatória, com dor abdominal e febre, apresentando como principais sequelas a síndrome de Guillain-Barré, artrite reativa e síndrome do intestino irritável (Facciola et al. 2017).

#### 1.6.6 *Pseudomonas aeruginosa*

As bactérias da espécie *Pseudomonas aeruginosa* são bacilos Gram negativos móveis pertencentes à família *Pseudomonadaceae*. Devido a grande versatilidade metabólica são amplamente distribuídas no ambiente, principalmente na água e solo. Raramente causam doenças em indivíduos saudáveis, mas são patógenos oportunistas capazes de causar infecções em pessoas imunocomprometidas ou com doença crônica subjacente como fibrose cística, câncer e queimaduras, além de colonizarem cateteres urinários e vasculares, aumentando as chances de infecções (Vincent 2014).

### 1.6.7 *Aeromonas* spp.

O gênero *Aeromonas* é composto por bacilos Gram negativos móveis, aeróbios, pertencentes à família *Aeromonadaceae*. Existem 30 espécies conhecidas, das quais *Aeromonas dhakensis*, *Aeromonas hydrophila*, *Aeromonas caviae*, *Aeromonas veronii* e *Aeromonas salmonicida* são relevantes em infecções humanas e em animais. Estas bactérias estão distribuídas no ambiente aquático representando agentes patogênicos oportunistas, causando enterites, infecções de feridas, bacteremia e menos frequentemente infecções respiratórias, hepatobiliares, peritonite, infecções oculares e do trato urinário (Reboul et al. 2017).

### 1.6.8 *Legionella*

As bactérias do gênero *Legionella* não estão relacionadas pelo VIGIAGUA entre os agentes patogênicos veiculados pela água, mas possuem grande importância na vigilância da qualidade da água para consumo humano, pois são naturalmente encontradas em lagos, rios, riachos, piscinas, fontes termais e sistemas de tubulação de água (Khaledi et al. 2018). São bacilos patogênicos Gram negativos, intracelulares obrigatórios, móveis, incluídos nas famílias *Legionellaceae* e *Coxiellaceae*, cujas principais espécies são *Legionella pneumophila* e *Coxiella burnetii*, envolvidas respectivamente na doença dos legionários (pneumonia) e febre Q (zoonose de ampla distribuição mundial). A infecção em humanos ocorre através da inalação de partículas contaminadas da água e aerossóis gerados por sistemas de água artificiais (Duron et al. 2018).

### 1.6.9 *Adenovirus*

A família *Adenoviridae* é composta por vírus com diâmetro entre 70 a 90 nm, não envelopados, com simetria icosaédrica e genoma DNA de fita dupla medindo entre 26–45 kb, agrupados nos gêneros *Mastadenovirus*, *Aviadenovirus*, *Siadenovirus*, *Atadenovirus* e *Ichtadenovirus*. Nas infecções em mamíferos, o gênero *Mastadenovirus* é identificado e caracterizado mais frequentemente. A infecção por adenovírus em humanos é geralmente branda, mas pode ser fatal em indivíduos imunocomprometidos, podendo afetar os olhos, trato respiratório, trato gastrointestinal, trato urogenital, fígado e sistema nervoso central (Zhang & Ehrhardt 2017).

### 1.6.10 *Enterovirus*

O *Enterovirus* é o maior gênero inserido na família *Picornaviridae*, a qual agrupa 31 gêneros de vírus não envelopados, incluindo poliovírus, coxsackievirus A e B, echovirus, enterovirus numerados como EVA71 e EV-D68, além de rinovírus. Possuem capsídio com simetria icosaédrica e genoma +RNA de 7,5 kb. Infecções causadas por *Enterovirus* não pólio podem resultar em grande variedade de sintomas incluindo febre aftosa, conjuntivite, meningite, sepse neonatal e paralisia flácida aguda (Bauer et al. 2017). O coxsackievirus B é particularmente importante pela sua ampla distribuição em ambientes aquáticos e transmissão por via fecal-oral. As infecções por este vírus normalmente causam febre bifásica, cefaleia, faringite, náusea, vômito, diarreia e erupção maculopapular não pruriginosa nas palmas das mãos e plantas dos pés, além de uma síndrome chamada doença de Bornholm, caracterizada por costochondrite (inflamação das cartilagens) e conhecida popularmente como “aperto do diabo” (Valestra et al. 2016).

### 1.6.11 Vírus da Hepatite A (HAV)

O HAV é um vírus não envelopado, inserido na família *Picornaviridae* e gênero *Hepatovirus*, com genoma +RNA de 7,5 kb. A infecção por este microorganismo geralmente resulta da exposição à água e alimentos contaminados, causando hepatites agudas e ocasionalmente insuficiência hepática, com taxa de letalidade maior entre idosos. Em países desenvolvidos, a transmissão deste vírus é baixa em decorrência da melhoria das condições de saneamento (Kanda et al. 2015).

### 1.6.12 Vírus da Hepatite E (HEV)

O HEV é um vírus não envelopado, inserido na família *Hepeviridae*, com genoma +RNA de 7,2 kb. É dividido em várias espécies e genótipos, cujos principais agentes causadores de doenças em humanos estão relacionados aos genótipos 1,2,3,4 e 7. Os genótipos HEV 1 e 2 do *Orthohepevirus A* são transmitidos aos seres humanos através da ingestão de água contaminada e normalmente causam infecções autolimitadas com quadros clínicos agudos, produzindo sintomas de anorexia, náuseas, vômitos, dor abdominal e icterícia com duração máxima de um mês, apresentando quadros mais graves em idosos e pessoas

imunocomprometidas. A transmissão do HEV ocorre principalmente em regiões pobres e deficientes em saneamento (Nimgaonkar et al. 2017).

#### **1.6.13 *Norovirus***

O *Norovirus* pertence à família *Caliciviridae*, é desprovido de envelope e possui genoma +RNA com 7,6 kb de comprimento. Recebeu inicialmente o nome de Norwalk Vírus, em decorrência de um surto ocorrido em 1972 em Norwalk, Ohio nos Estados Unidos, mas a partir do ano de 2002, durante o Congresso Internacional de Virologia em Paris, recebeu a denominação atual. Apresenta uma única espécie, dividida em seis genogrupos (GI – GVI), subdivididos em mais de 40 genótipos. Os genogrupos GI, GII e GIV estão relacionados à infecções em humanos, gerando episódios de vômitos seguidos de diarreia com duração máxima de quatro dias, mas os sintomas podem ser mais graves em idosos e pessoas imunocomprometidas (Hartono et al. 2016).

#### **1.6.14 *Rotavirus***

O *Rotavirus* representa um dos 15 gêneros da família *Reoviridae*, diferenciados em dez grupos (A-I; J) de acordo com a reatividade sorológica e variabilidade genética da proteína estrutural VP6. Possui genoma dsRNA com 11 segmentos. A via mais importante de transmissão deste vírus é a fecal-oral, assim como a diarreia é o principal sintoma clínico da infecção, sobretudo em crianças menores de cinco anos (Desselberger 2017).

#### **1.6.15 *Entamoeba histolytica***

A *Entamoeba histolytica* é um protozoário móvel, pertencente à família *Endamoebidae*, capaz de incorporar alimentos através de pseudópodes e devido à sua distribuição cosmopolita, representa perigos à saúde pública, principalmente em países onde as condições sanitárias são precárias (Santos & Soares 2008). A infecção tem início com a ingestão de água e alimentos contaminados com cistos viáveis do parasito, os quais se diferenciam em trofozoítos no intestino delgado e eventualmente chegam ao cólon, onde se aderem às células epiteliais causando colite amebiana, caracterizando a doença denominada amebíase, cujos sintomas variam entre uma infecção branda à grave diarreia sanguinolenta (Morgado et al. 2016).

#### 1.6.16 *Giardia lamblia*

A *Giardia lamblia*, também denominada *Giardia duodenalis* e *Giardia intestinalis*, é uma espécie de protozoário flagelado binucleado, pertencente à família *Giardiidae*, capaz de reproduzir-se no intestino delgado de seres humanos causando a doença denominada giardíase. A infecção inicia-se através da ingestão de água e alimentos contaminados com cistos do parasito, provocando manifestações clínicas de amplo espectro, variando entre queixas intestinais transitórias à um complexo de sintomas caracterizado por diarreia de início agudo, inchaço e cólicas abdominais, flatulência, náuseas e perda de peso (Plutzer et al. 2010).

#### 1.6.17 *Cryptosporidium parvum*

A espécie *Cryptosporidium parvum*, pertencente à família *Cryptosporidiidae*, é um parasita intracelular que infecta especialmente células epiteliais do intestino delgado, produzindo náuseas, vômitos e diarreia aquosa como principais sintomas (Petry et al. 2010). A via fecal-oral tem papel fundamental na transmissão do parasita entre as pessoas, as quais são infectadas pela ingestão de água e alimentos contaminados, demandando atenção das autoridades de saúde pública para otimização das ações de saneamento, sobretudo em países em desenvolvimento (Meireles 2010).

## 2. JUSTIFICATIVA

---

Entre os anos de 2010 e 2016, o município objeto deste estudo apresentou sistematicamente resultados insatisfatórios para o parâmetro presença de *E. coli*, conforme definições da Portaria/MS 518 de 25/03/2004, revogada pela Portaria/MS 2.914 de 12/12/2011. O excesso de resultados insatisfatórios se tornou alarmante, pois o contato com água de baixa qualidade microbiológica configura “Evento de Potencial Relevância em Saúde Pública” segundo a Portaria nº 104 de 25 de janeiro de 2011, a qual define, além de outros aspectos, as terminologias adotadas em legislação nacional, conforme o disposto no Regulamento Sanitário Internacional de 2005 (ANVISA 2009).

Com objetivo de identificar pontos críticos ou vulneráveis à contaminação da água, em março de 2017 foi realizado um levantamento nos arquivos da GRS-Itabira sobre a presença de *E. coli* em todas as amostras provenientes do município em estudo, analisadas entre os anos de 2010 e 2016. Foram identificadas 293 amostras (206 tratadas e 87 não tratadas) relacionadas às 29 áreas prioritárias de coleta, com presença de *E. coli* em 51,9%(n=152). Entre as amostras registradas como água tratada (N=206), 42,7%(n=88) apresentaram *E. coli*. Entre as amostras registradas como água não tratada (N=87), 73,6%(n=64) apresentaram *E. coli*. Outro dado alarmante neste levantamento refere-se às contaminações por *E. coli* em cinco escolas localizadas na área urbana, cuja água fornecida recebe tratamento nas estações (Tabela 1).

O levantamento supracitado justifica a importância da avaliação de perigos ou riscos microbiológicos em sistemas de abastecimento de água, pelos setores de vigilância em saúde. O gerenciamento do risco relacionado aos desvios de qualidade da água de consumo humano foi proposto pelo VIGIAGUA, desde a sua publicação no ano de 2005, entretanto o Programa ainda não apresentou uma metodologia aplicável à rotina de trabalho da vigilância, gerando um campo de trabalho desafiador para a criação de uma ferramenta capaz de responder sobre os níveis de risco em sistemas de abastecimento de água (BRASIL 2005).

Na perspectiva de contribuir para superação dos desafios do VIGIAGUA e aprimorar o Programa, o presente trabalho propõe uma avaliação de perigos e categorização de riscos microbiológicos associados a um sistema de abastecimento de água, localizado em um município mineiro com menos de 10.000 habitantes, adscrito à GRS-Itabira, como modelo de trabalho para a vigilância ambiental da qualidade da água para consumo humano. Os dados gerados neste trabalho poderão servir para a sensibilização de agentes políticos, quanto à

necessidade de manutenção da segurança da saúde pública, e permitirão a tomada de decisões alicerçadas em critérios técnicos.

**Tabela 1. Frequência de contaminação por *E.coli* em amostras de água das áreas prioritárias de coleta entre os anos de 2010 a 2016 do Município estudado-MG**

Áreas prioritárias	N	n	IB <sub>Ec</sub> %
Restaurante	1	1	100,0
Pousada – 2	2	2	100,0
Poço artesiano – Área urbana isolada (não tratada)	1	1	100,0
Pesque-Pague (não tratada)	1	1	100,0
Escola – Área urbana isolada (não tratada)	18	18	100,0
Chafariz – Área urbana isolada (não tratada)	10	10	100,0
Bica (não tratada)	2	2	100,0
Unidade de saúde – Área urbana isolada (não tratada)	14	12	85,7
Parque Ecológico	20	16	80,0
Pousada – 1	4	3	75,0
Secretaria de Assistência Social	3	2	66,7
Unidade de Saúde – 1	19	12	63,2
CRAS – Área urbana isolada (não tratada)	25	15	60,0
Prefeitura	6	3	50,0
Conselho Tutelar	8	4	50,0
Chafariz – Área urbana (não tratada)	13	6	46,1
Secretaria Municipal de Educação	10	4	40,0
Escola – 3	15	6	40,0
ETA – Saída do tratamento	14	5	35,7
Secretaria Municipal de Saúde	20	7	35,0
Secretaria Municipal de Turismo	6	2	33,3
Escola – 1	23	7	30,4
Secretaria Municipal de Obras	10	3	30,0
CRAS – Área urbana	18	5	27,8
Escola – 5	5	1	20,0
Escola – 4	5	1	20,0
Escola – 2	16	3	18,7
Fazenda (não tratada)	3	0	0,0
Secretaria de Agricultura	1	0	0,0
<b>Total de amostras coletadas x positivas</b>	<b>293</b>	<b>152</b>	<b>51,9</b>
<b>Média</b>	<b>10,1</b>	<b>5,2</b>	
<b>Desvio padrão</b>	<b>7,5</b>	<b>5,0</b>	

N – número de amostras coletadas

n – número de amostras com presença de *E. coli*

IB<sub>Ec</sub>% – Índice bacteriológico de contaminação por *E. coli*

Valor de referência: Quadro 1

### 3. OBJETIVO GERAL

---

Avaliar os perigos e categorizar os riscos relacionados à qualidade microbiológica da água para consumo humano, em um sistema de abastecimento situado em um município do interior de Minas Gerais com menos de 10 mil habitantes.

#### 3.1 Objetivos específicos

3.1.1 Determinar a presença de coliformes totais e *E. coli* em amostras de água coletadas em diversos pontos da rede de distribuição e na saída do tratamento em um município de Minas Gerais.

3.1.2 Determinar o cloro residual livre e a turbidez em amostras de água coletadas em diversos pontos da rede de distribuição e na saída do tratamento em um município de Minas Gerais.

3.1.3 Realizar a avaliação de perigos e categorização de riscos relacionados à qualidade microbiológica da água em sistemas de tratamento e incorporar esta atividade na rotina de trabalho da vigilância ambiental da GRS-Itabira.

3.1.4 Contribuir para a implantação de um sistema de gerenciamento de riscos que possa ser utilizado pelas demais URS do Estado de Minas Gerais, tornando-se uma ferramenta útil na rotina do serviço.

## 4. METODOLOGIA

As metodologias de análise empregadas neste trabalho estão descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed., de autoria das instituições American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) e Water Environment Federation (WEF), conforme determinado no Art. 22 da Portaria/MS 2.914/2011.

### 4.1 Plano de amostragem

Os municípios brasileiros devem cumprir um plano mínimo de amostragem para a avaliação dos parâmetros de coliformes totais e *E. coli*, turbidez e cloro residual livre, considerados indicadores básicos da qualidade microbiológica da água para consumo humano (Quadro 3). O município objeto deste estudo possui população entre 5.001 a 10.000 habitantes (MINAS GERAIS 2010), portanto deve analisar minimamente nove amostras mensais. As áreas prioritárias de coleta foram selecionadas de acordo com os pontos que historicamente apresentaram maior frequência de contaminação (Tabela 1) e em consonância com as diretrizes do Ministério da Saúde Brasileiro, priorizando áreas públicas com grande circulação de pessoas (ex: unidades de saúde, escolas, hospitais, etc.) (BRASIL 2016).

**Quadro 3. Número mínimo mensal de amostras que devem ser analisadas para os parâmetros coliformes totais/*E. coli*, turbidez e cloro residual livre, segundo faixa populacional do município**

População (Habitantes)	0 a 5.000	5.001 a 10.000	10.001 a 50.000	50.001 a 200.000	200.001 a 500.000	Superior a 500.001
Número de amostras	6	9	8 + (1 para cada 7,5 mil habitantes)	10 + (1 para cada 10 mil habitantes)	20 + (1 para cada 20 mil habitantes)	35 + (1 para cada 50 mil habitantes)

(BRASIL 2016 – modificado)

O Quadro 4 apresenta a relação das áreas prioritárias de coleta que foram utilizadas neste estudo. Os pontos fixos da área urbana referem-se a um ponto na saída do tratamento para cada um dos dois sistemas de tratamento de água. Os outros 14 pontos variáveis (agrupados em dois grupos com sete pontos de coleta) foram amostrados em alternância a cada mês. Portanto, na área urbana foram coletadas nove amostras/mês, sendo dois pontos fixos (estações de tratamento) e sete em pontos variáveis na rede de distribuição (Grupo 1 e Grupo 2), alternados entre os meses ímpares e pares (maio/2017 a abril/2018).

Além destes pontos, foram realizadas coletas adicionais em três pontos de uma localidade pertencente ao município, considerada área urbana isolada, cuja água fornecida não recebe nenhum tipo de tratamento, sendo apenas captada, armazenada e distribuída. Para estas amostras, foram avaliados os parâmetros de coliformes totais, *E.coli* e turbidez, durante todo o período de estudo (maio/2017 a abril/2018).

Os registros do SISAGUA não consideram divisões populacionais entre a área urbana e área urbana isolada, pois segundo o Plano Diretor de Desenvolvimento Municipal (referência bibliográfica omitida para não identificação do município), estas duas áreas “são delimitadas pelos respectivos perímetros urbanos, que incorporam as áreas urbanas já ocupadas e as áreas de expansão urbana destinadas ao crescimento futuro”.

## 4.2 Técnicas de coleta e transporte de amostras

A técnica de coleta e transporte das amostras seguiu o “item 5.4.4” do Manual de coleta de amostras da Fundação Ezequiel Dias (FUNED 2015), sob o registro “NÚMERO: DIOM-DIVISASGA-MQ 0001.

As amostras para análises de coliformes totais e *E. coli* foram coletadas em bolsas plásticas estéreis contendo comprimido de tiosulfato de sódio, para neutralização do cloro. Após as coletas, as bolsas foram acondicionadas em caixas térmicas refrigeradas com gelo reciclável, mantendo-se a temperatura entre 2°C a 8°C e transportadas para o laboratório da GRS-Itabira dentro do prazo de 22 horas.

Obedecendo a rotina de trabalho, o cadastro das amostras analisadas foi realizado no Sistema Gerenciador de Ambiente Laboratorial (GAL), disponível em: <https://gal.funed.mg.gov.br>, antes de serem encaminhadas ao laboratório. O GAL é um software online disponibilizado pela FUNED, através do qual os municípios realizam o cadastro das amostras de água que serão encaminhadas para análise na GRS, permitindo ao responsável pelo laboratório regional avaliar com antecedência a origem das amostras e gerar

os laudos de análise que serão impressos através do próprio sistema pelos responsáveis municipais. As instâncias municipal e regional operam o sistema utilizando senha própria e possuem níveis de acesso diferenciados. O sistema é registrado no Instituto Nacional da Propriedade Industrial, conforme Decreto 2.556/98, sob o nº 09.382-1.

**Quadro 4. Relação das áreas prioritárias de coleta de amostras mensais**

Área urbana	Número de amostras mensais
<b><i>Pontos Fixos</i></b>	<b>2</b>
ETA – 1: Saída do tratamento	1
ETA – 2: Saída do tratamento	1
<b><i>Pontos Variáveis – Grupo 1</i></b>	<b>7</b>
Escola – 1	1
Escola – 2	1
Órgão da administração pública - 1	1
Órgão da administração pública - 2	1
Órgão da administração pública - 3	1
Unidade de saúde - 1	1
CRAS	1
<b><i>Pontos Variáveis – Grupo 2</i></b>	<b>7</b>
Escola - 3	1
Escola - 4	1
Órgão da administração pública - 4	1
Órgão da administração pública - 5	1
Órgão da administração pública - 6	1
Unidade de saúde - 2	1
Pousada	1
<b><i>Área urbana isolada</i></b>	<b>3</b>
Unidade de saúde	1
Escola	1
CRAS	1
<b>Total de amostras mensais</b>	<b>12</b>

### 4.3 Análise dos bioindicadores: coliformes totais e *E. coli*

A metodologia de identificação de coliformes totais e *E. coli* baseou-se no substrato cromogênico. A técnica utiliza os substratos hidrolizáveis orto-nitrofenil- $\beta$ -D-galactopiranosídeo (ONPG) e 4-umbeliferil- $\beta$ -D-glucuronídeo (MUG) para a detecção simultânea de enzimas de coliformes totais ( $\beta$ -D-galactosidase) e *E. coli* ( $\beta$ -glucuronidase), identificando as bactérias através da coloração amarela resultante da hidrólise do ONPG, e fluorescência resultante da hidrólise do MUG vista sob a luz Ultra Violeta em comprimento de onda longo (365nm), (APHA 2012).

### 4.4 Análise de cloro residual livre

O método utilizado para determinação do cloro residual livre se baseia na oxidação do *N,N*-dietil-*p*-fenilendiamina (DPD) pelo cloro, resultando em uma solução de cor rosada, com intensidade proporcional à concentração de cloro livre (Soares et al. 2016). Para medir a concentração de cloro foi utilizado um Clorímetro digital Policontrol®, cujos procedimentos estão descritos no manual do fabricante.

### 4.5 Análise de turbidez

As análises turbidimétricas foram realizadas com a utilização do Turbidímetro digital Policontrol®, respeitando os procedimentos descritos no manual do fabricante. O funcionamento do turbidímetro ou nefelômetro baseia-se em um detector disposto em ângulo de 90° em relação ao raio de luz incidente, que mede a reflexão da luz pelas partículas suspensas (Teixeira et al. 2004). A turbidez é expressa por unidades de turbidez (uT) ou nefelométricas (APHA 2012).

### 4.6 Tratamento estatístico

Os dados coletados foram avaliados segundo indicadores de coleta (IC), relacionados com o atendimento ao plano mínimo de amostragem para os três parâmetros básicos, índice bacteriológico (IB) (coliformes totais e *E.coli*), índice de turbidez (IT) e índice de cloro residual livre (ICRL) conforme as fórmulas abaixo:

$$IC(\%) = \frac{\text{Número de amostras coletadas nas diversas partes do sistema de abastecimento}}{\text{Número de amostras a coletar segundo o plano de amostragem da Diretriz Nacional do VIGIAGUA}} \times 100$$

$$IB(\%) = \frac{\text{Número de amostras com presença de coliformes totais ou } E. coli}{\text{Número de amostras coletadas}} \times 100$$

$$IT(\%) = \frac{\text{Número de amostras que atendem ao padrão de turbidez}}{\text{Número de amostras coletadas}} \times 100$$

$$ICRL(\%) = \frac{\text{Número de amostras que atendem ao padrão de cloro residual livre}}{\text{Número de amostras coletadas}} \times 100$$

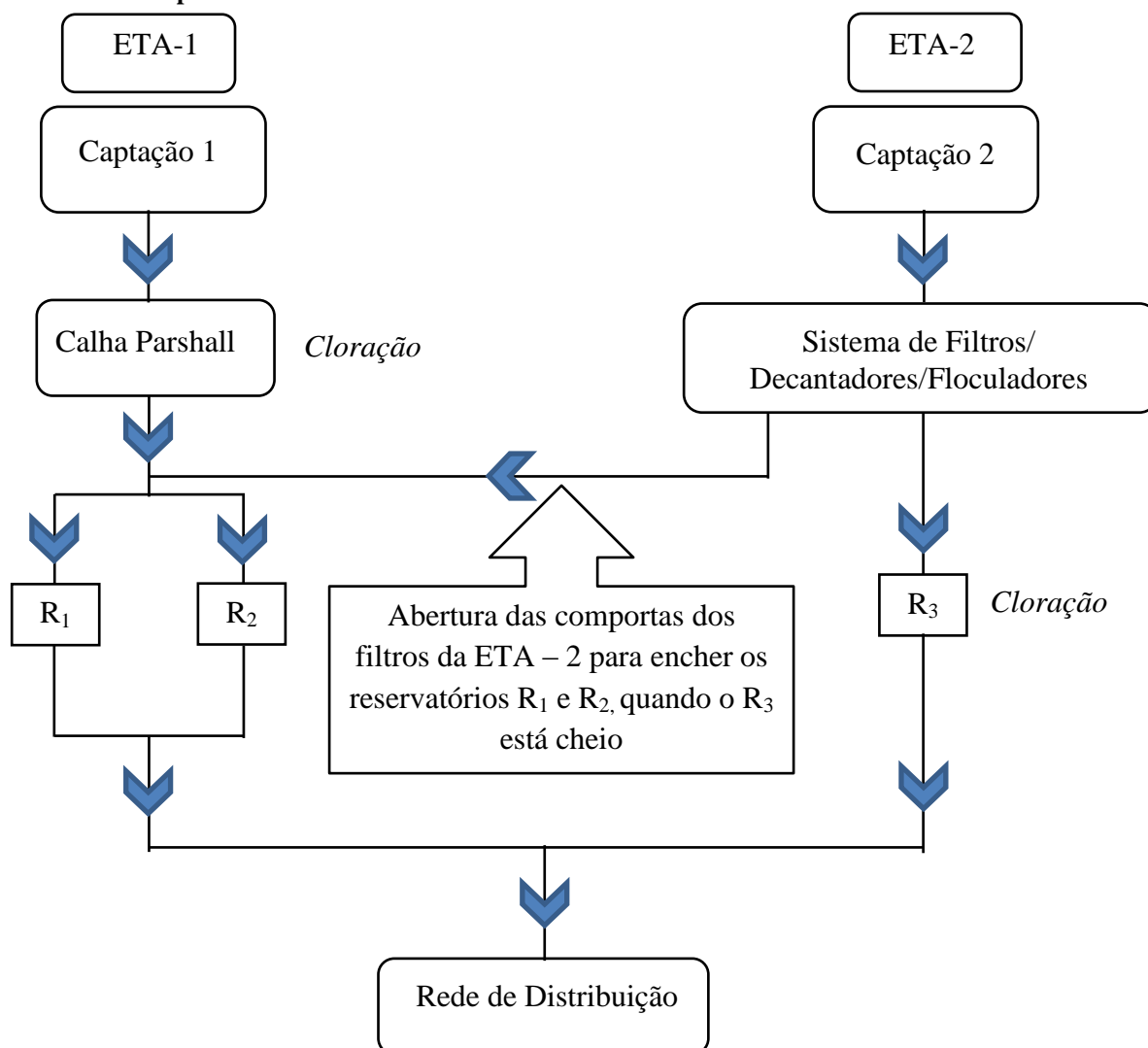
Através de tabelas de contingência, o teste qui-quadrado de Pearson (*p*Valor 0,05) foi aplicado para avaliar a significância estatística nos períodos seco e chuvoso em relação à presença de *E. coli* e coliformes totais em amostras coletadas na rede de distribuição da área urbana (água tratada) e nas estações de tratamento.

O teste de Wilcoxon-Mann-Whitney (*p*Valor 0,05) foi aplicado para avaliar a significância estatística entre os valores das medianas dos resultados de turbidez na rede de distribuição da área urbana (água tratada), durante os períodos chuvoso e seco. Nas estações de tratamento, o teste foi aplicado comparando todo período de análise e durante os períodos chuvoso e seco.

#### 4.7 Caracterização do sistema de abastecimento de água

A população da área urbana é abastecida por um sistema que contempla duas estruturas diferentes de tratamento, localizadas na mesma área, quase lado a lado. A primeira (ETA-1) não possui sistema convencional de tratamento, com filtro, decantador e floculador. A água captada recebe cloro por meio de gotejamento ao passar pela Calha Parshall e em seguida é armazenada nos reservatórios ( $R_1$  e  $R_2$ ), a partir dos quais chega à rede de distribuição. A segunda (ETA-2) possui sistema convencional composto por filtro, decantador e floculador. A água captada recebe cloro por gotejamento no reservatório  $R_3$  e segue para a rede de distribuição. O “ $R_3$ ” atinge sua capacidade máxima antes dos “ $R_1$ ” e “ $R_2$ ”. Quando isto acontece, comportas dos filtros da ETA-2, contendo água sem tratamento, são abertas para auxiliar no preenchimento dos reservatórios “ $R_1$ ” e “ $R_2$ ” (Figura 7).

**Figura 7. Fluxo esquemático de captação, armazenamento e distribuição da água na área urbana do Município estudado-MG**



## 4.8 Avaliação de perigos

A proposta de avaliação de perigos foi elaborada conforme sugerido por Carmo et al. (2008) (Quadro 5), utilizando os resultados das análises anuais da vigilância.

**Quadro 5. Avaliação dos itens segundo a presença ou ausência de perigo**

Aspectos relacionados ao padrão de potabilidade		
Item avaliado	Saída do tratamento	Rede de distribuição
Atendimento ao plano mínimo de amostragem (IC)	Cinza claro - atende Cinza escuro – não atende	Cinza claro – atende Cinza escuro – não atende
Avaliação da qualidade bacteriológica da água: coliformes totais (IB <sub>CT</sub> )	Cinza claro - ausência em 100% das amostras Cinza escuro – presença em pelo menos uma amostra	<sup>(*)</sup> Cinza claro – presença em no máximo uma amostra mensal Cinza escuro – presença em mais do que uma das amostras mensais
Avaliação da qualidade bacteriológica da água: <i>E. coli</i> (IB <sub>EC</sub> )	Cinza claro - ausência em 100% das amostras Cinza escuro – presença em pelo menos uma amostra	Cinza claro – ausência em 100% das amostras Cinza escuro – presença em pelo menos uma amostra
Avaliação da qualidade da água: turbidez (IT)	Cinza claro - 95% das amostras com valor $\leq 1,0$ uT Cinza escuro – mais de 5% das amostras com valor $> 1,0$ uT	Cinza claro – 100% das amostras com valor $\leq 5,0$ uT Cinza escuro – pelo menos uma amostra com valor superior a 5,0 uT
Avaliação da qualidade da água: cloro (ICRL)	Cinza claro – 100% das amostras com concentração entre 0,2 – 2,0 mg/L Cinza escuro – pelo menos uma amostra com a concentração fora da faixa de 0,2 – 2,0 mg/L	Cinza claro – 100% das amostras com concentração entre 0,2 – 2,0 mg/L Cinza escuro – pelo menos uma amostra com a concentração fora da faixa de 0,2 – 2,0 mg/L
Aspectos de caráter geral – Tratamento estatístico		
Diferença estatisticamente significativa para presença de coliformes totais na rede de distribuição em área com água tratada nos períodos chuvoso/seco	Cinza claro – Resultado desejável Cinza escuro – Resultado indesejável	
Diferença estatisticamente significativa para presença de <i>E. coli</i> na rede de distribuição em área com água tratada nos períodos chuvoso/seco	Cinza claro – Resultado desejável Cinza escuro – Resultado indesejável	
Diferença estatisticamente significativa para turbidez na rede de distribuição na área com água tratada nos períodos chuvoso/seco	Cinza claro – Resultado desejável Cinza escuro – Resultado indesejável	
Diferença estatisticamente significativa para turbidez entre ETA-1 e ETA-2 nos períodos chuvoso/seco	Cinza claro – Resultado desejável Cinza escuro – Resultado indesejável	
Diferença estatisticamente significativa para turbidez entre ETA-1 e ETA-2 durante todo período	Cinza claro – Resultado desejável Cinza escuro – Resultado indesejável	

(Carmo et al. (2008) – modificado)

<sup>(\*)</sup> Parâmetros para coliformes totais no sistema de distribuição, para SAA ou SAC que abastecem:

Menos de 20.000 habitantes: apenas uma amostra, entre as amostras examinadas no mês, poderá apresentar resultado positivo. Mais de 20.000 habitantes: Ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês.

Considerando uma avaliação de perigos utilizando os resultados anuais das análises dos parâmetros básicos, o percentual aceitável de presença para coliformes totais na rede de distribuição, em um sistema que abastece menos de 20.000 habitantes será calculado conforme abaixo:

Rede de distribuição: sete amostras coletadas/mês; é aceitável pelo menos uma amostra/mês com presença de coliformes totais, portanto em um ano serão coletadas 84 amostras e aceitas 12 com presença de coliformes totais, referente ao percentual de 14,28%.

## 5. RESULTADOS

Foram coletadas 12 amostras mensais entre maio de 2017 e abril de 2018, totalizando 144 amostras, divididas em 108 tratadas e 36 não tratadas.

Entre as 108(N) amostras de água tratada, 89,8%(n=97) foram positivas para presença de coliformes totais e 38,9%(n=42) para *E. coli*, (Tabelas 2 e 3). Em relação aos parâmetros físico-químicos, todas as amostras apresentaram não conformidade para o parâmetro cloro residual livre (Tabela 4) e conformidade para turbidez, exceto as amostras referentes aos pontos de coleta da Escola 1, Órgão da Administração Pública 1 e nas estações de tratamento (ETA 1 e ETA 2), cujos valores médios eventualmente poderiam ultrapassar o limite desejável, em função do desvio padrão amostral (Tabela 5).

**Tabela 2. Frequência de contaminação por coliformes totais em amostras de água tratada nas áreas prioritárias de coleta entre maio/2017 a abril/2018 do Município estudado-MG**

Áreas prioritárias	N	n	IB <sub>CT</sub> %
Escola – 2	6	6	100,0
Órgão da Administração Pública – 1	6	6	100,0
Órgão da Administração Pública – 3	6	6	100,0
Unidade de Saúde – 1	6	6	100,0
Escola – 4	6	6	100,0
Órgão da Administração Pública – 4	6	6	100,0
Unidade de Saúde – 2	6	6	100,0
ETA – 1 Saída do tratamento	12	10	83,3
ETA – 2 Saída do tratamento	12	10	83,3
Escola – 1	6	5	83,3
Órgão da Administração Pública – 2	6	5	83,3
CRAS	6	5	83,3
Escola – 3	6	5	83,3
Órgão da Administração Pública – 5	6	5	83,3
Órgão da Administração Pública – 6	6	5	83,3
Pousada	6	5	83,3
<b>Total de amostras coletadas x positivas</b>	<b>108</b>	<b>97</b>	<b>89,8</b>
<b>Média</b>	<b>6,7</b>	<b>6,0</b>	
<b>Desvio padrão</b>	<b>2,0</b>	<b>1,6</b>	

N – número de amostras coletadas

n – número de amostras com presença de coliformes totais

IB<sub>CT</sub>% – Índice bacteriológico de contaminação por coliformes totais

Valor de referência: Quadro 1

**Tabela 3. Frequência de contaminação por *E.coli* em amostras de água tratada nas áreas prioritárias de coleta entre maio/2017 a abril/2018 do Município estudado-MG**

Áreas prioritárias	N	n	IB <sub>Ec</sub> %
Escola – 2	6	6	100,0
Unidade de Saúde – 1	6	5	83,3
Unidade de Saúde – 2	6	5	83,3
Órgão da Administração Pública – 2	6	4	66,7
CRAS	6	4	66,7
Órgão da Administração Pública – 3	6	3	50,0
Órgão da Administração Pública – 4	6	3	50,0
Escola – 1	6	2	33,3
ETA – 1 Saída do Tratamento	12	2	16,7
ETA – 2 Saída do Tratamento	12	2	16,7
Órgão da Administração Pública – 1	6	1	16,7
Escola – 3	6	1	16,7
Escola – 4	6	1	16,7
Órgão da Administração Pública – 5	6	1	16,7
Órgão da Administração Pública – 6	6	1	16,7
Pousada	6	1	16,7
Total de amostras coletadas x positivas	108	42	38,9
Média	6,7	2,6	
Desvio padrão	2,0	1,7	

N – número de amostras coletadas

n – número de amostras com presença de *E. coli*

IB<sub>Ec</sub>% – Índice bacteriológico de contaminação por *E. coli*

Valor de referência: Quadro 1

No levantamento realizado para os anos de 2010 a 2016, as amostras de água tratada do município estudado apresentaram 42,7% de contaminação por *E. coli* e no período deste estudo (maio/2017 a abril/2018) apresentaram 38,9%.

**Tabela 4. Valores médios de cloro residual livre em amostras de água tratada por áreas prioritárias de coleta entre maio/2017 a abril/2018 do Município estudado-MG**

Áreas prioritárias	N	Ȳ
Órgão da Administração Pública – 1	6	0,04±0,04
Escola – 1	6	0,04±0,03
ETA – 2: Saída do tratamento	12	0,03±0,04
Pousada	6	0,03±0,05
ETA – 1: Saída do tratamento	12	0,02±0,02
Órgão da Administração Pública – 2	6	0,02±0,03
Unidade de Saúde – 1	6	0,02±0,05
CRAS	6	0,02±0,03
Escola – 2	6	0,01±0,03
Escola – 3	6	0,01±0,02
Órgão da Administração Pública – 3	6	0,01±0,01
Escola – 4	6	0,00
Órgão da Administração Pública – 4	6	0,00
Órgão da Administração Pública – 5	6	0,00
Órgão da Administração Pública – 6	6	0,00
Unidade de Saúde – 2	6	0,00
Total de amostras coletadas	108	
Média	6,7	
Desvio padrão	2,0	

N – número de amostras coletadas

Ȳ – valor médio

Valor de referência: Quadro 1

**Tabela 5. Valores médios e medianas de turbidez em amostras de água tratada por áreas prioritárias de coleta entre maio/2017 a abril/2018 do Município estudado-MG**

Áreas prioritárias	N	$\bar{Y}$	$\tilde{Y}$
Escola – 1	6	2,77±4,74	0,95
Órgão da Administração Pública – 1	6	2,20±3,26	0,95
Órgão da Administração Pública – 3	6	1,22±1,19	0,84
Unidade de Saúde – 1	6	1,05±0,96	0,80
CRAS	6	1,05±1,49	0,57
ETA – 2: Saída do tratamento	12	0,92±0,88	0,79
Órgão da Administração Pública – 2	6	0,88±0,74	0,79
Órgão da Administração Pública – 4	6	0,70±0,60	0,46
Pousada	6	0,69±0,51	0,60
Escola – 3	6	0,67±0,62	0,48
Órgão da Administração Pública – 6	6	0,65±0,46	0,55
Escola – 2	6	0,61±0,62	0,49
Unidade de Saúde – 2	6	0,61±0,70	0,34
Órgão da Administração Pública – 5	6	0,59±0,63	0,35
ETA – 1: Saída do tratamento	12	0,56±0,65	0,28
Escola – 4	6	0,24±0,19	0,26
Total de amostras coletadas x positivas	108		
Média	6,7		
Desvio padrão	2,0		

N – número de amostras coletadas

$\bar{Y}$  – valor médio

$\tilde{Y}$  – mediana

Valor de referência: Quadro 1

Considerando os dados da Tabela 2, as amostras coletadas nas saídas de tratamento da ETA–1 e da ETA–2 apresentaram percentual de contaminação por coliformes totais de 83,3% e aquelas coletadas nos diversos pontos do sistema de distribuição, 91,6%, durante o período de um ano.

Considerando os dados da Tabela 3, as amostras coletadas nas saídas de tratamento da ETA–1 e da ETA–2 apresentaram percentual médio de contaminação por *E. coli* de 16,7% e aquelas coletadas nos diversos pontos do sistema de distribuição, percentual médio de 45,2%, durante o período de um ano.

Quando se avaliou a presença de coliformes totais em cada mês nos pontos de coleta de água tratada na área urbana, nos meses de maio e junho de 2017 houve menos de 50% de amostras contaminadas, porém todas as amostras coletadas entre os meses de julho de 2017 a abril de 2018 apresentaram contaminação. A frequência de contaminação por *E. coli* nessas amostras foi bastante variável entre os meses, ao longo do período amostrado (Tabela 6).

**Tabela 6. Distribuição mensal de contaminação por coliformes totais e *E. coli* entre maio/2017 a abril/2018 em amostras de água tratada na zona urbana do Município estudado-MG**

Mês/Ano	N	nCT	IB <sub>CT</sub> %	nEc	IB <sub>Ec</sub> %
Maio/2017	9	4	44,4	3	33,3
Junho/2017	9	3	33,3	2	22,2
Julho/2017	9	9	100,0	3	33,3
Agosto/2017	9	9	100,0	2	22,2
Setembro/2017	9	9	100,0	4	44,4
Outubro/2017	9	9	100,0	1	11,1
Novembro/2017	9	9	100,0	5	55,5
Dezembro/2017	9	9	100,0	1	11,1
Janeiro/2018	9	9	100,0	9	100,0
Fevereiro/2018	9	9	100,0	8	88,9
Março/2018	9	9	100,0	3	33,3
Abril/2018	9	9	100,0	1	11,1
<b>Total</b>	<b>108</b>	<b>97</b>	<b>89,8</b>	<b>42</b>	<b>38,9</b>

N – número de amostras coletadas

nCT – número de amostras com presença de coliformes totais

IB<sub>CT</sub>% – Índice bacteriológico de contaminação por coliformes totais

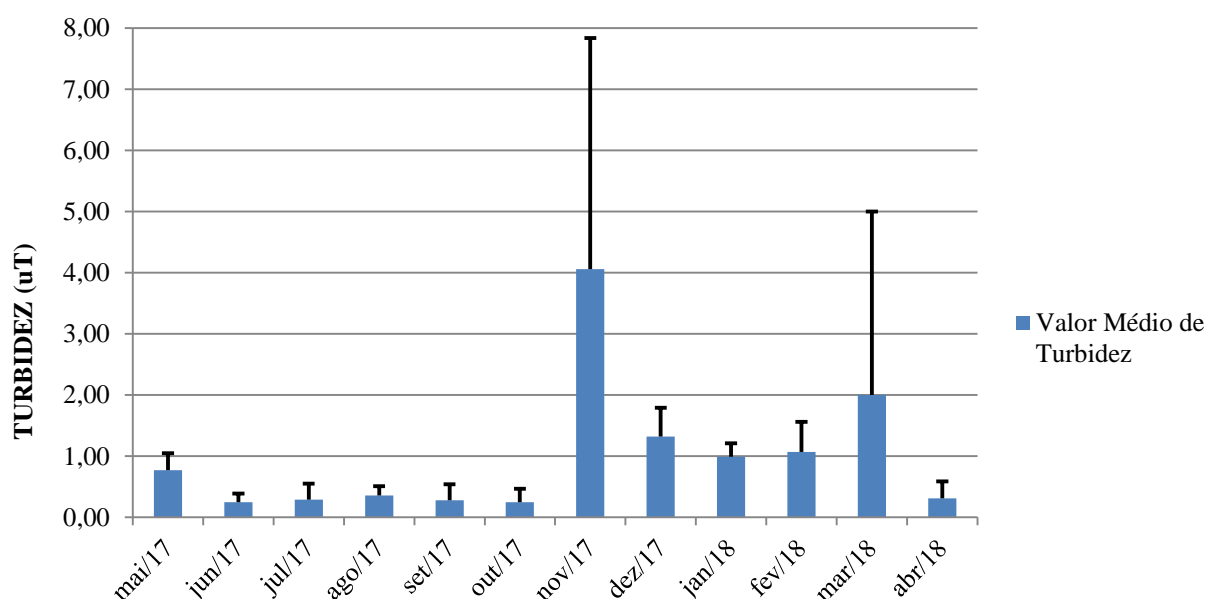
nEc – número de amostras com presença de *E. coli*

IB<sub>Ec</sub>% – Índice bacteriológico de contaminação por *E. coli*

Valor de referência: Quadro 1

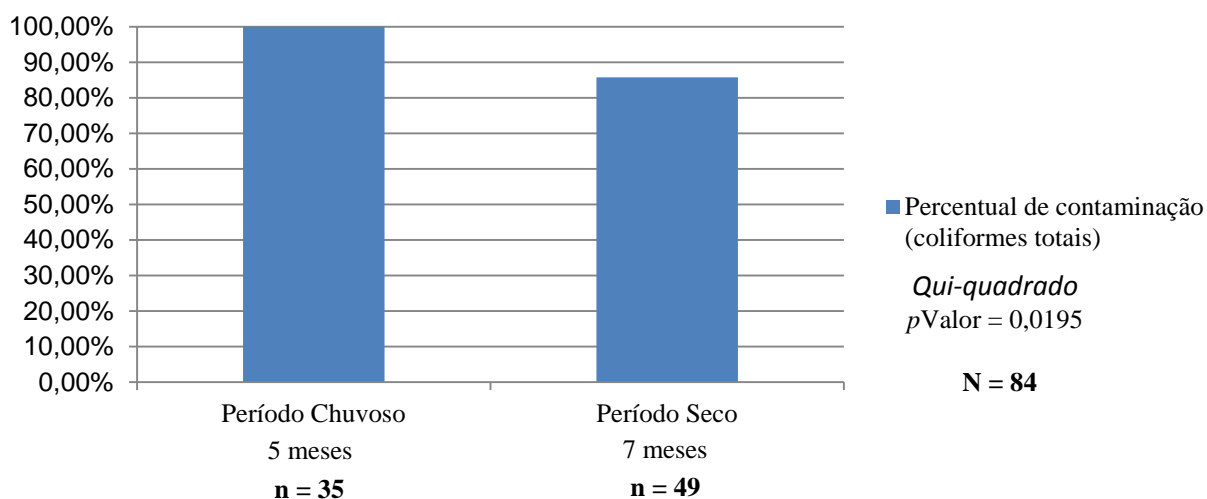
Os valores médios de turbidez, considerando-se as amostras dos pontos de coleta da zona urbana (rede de distribuição – 7 amostras/mês), foram menores nos meses mais secos do ano (maio a outubro de 2017 e abril de 2018 – 7 meses), quando comparados aos valores dos meses do período chuvoso (novembro de 2017 a março de 2018 – 5 meses) (Figura 8). Foram consideradas 84(N) amostras, 49(n) referentes ao período seco e 35(n) referentes ao período chuvoso.

**Figura 8. Valores médios de turbidez por grupos de coleta na rede de distribuição entre maio/2017 a abril/2018 na zona urbana do Município estudado-MG**

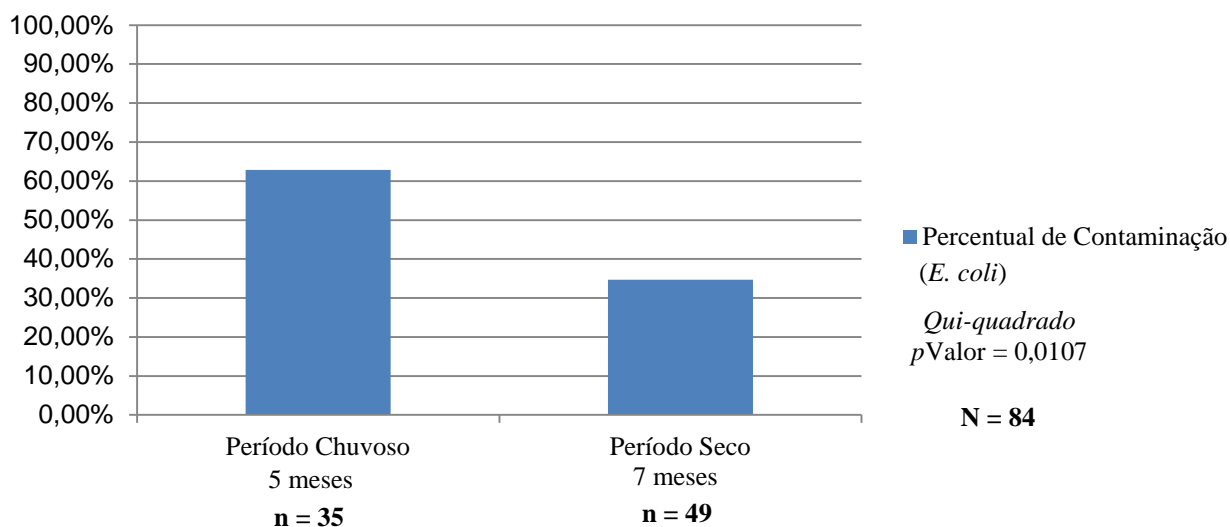


Quando foram comparados os percentuais de presença de coliformes totais e *E. coli* das amostras de água tratada coletadas na área urbana entre os períodos chuvoso e seco, estes foram significativamente maiores para os dois parâmetros no período chuvoso (Figuras 9 e 10). A mesma diferença estatisticamente significativa ocorreu quando se compararam os valores das medianas de turbidez entre os dois períodos do ano, tanto para as amostras coletadas da rede de distribuição (Figura 11) como para aquelas coletadas na saída das estações de tratamento (Figura 12). No entanto, se considerarmos os valores anuais das medianas de turbidez entre a ETA-1 e a ETA-2, não há diferença estatisticamente significativa entre eles (Figura 13).

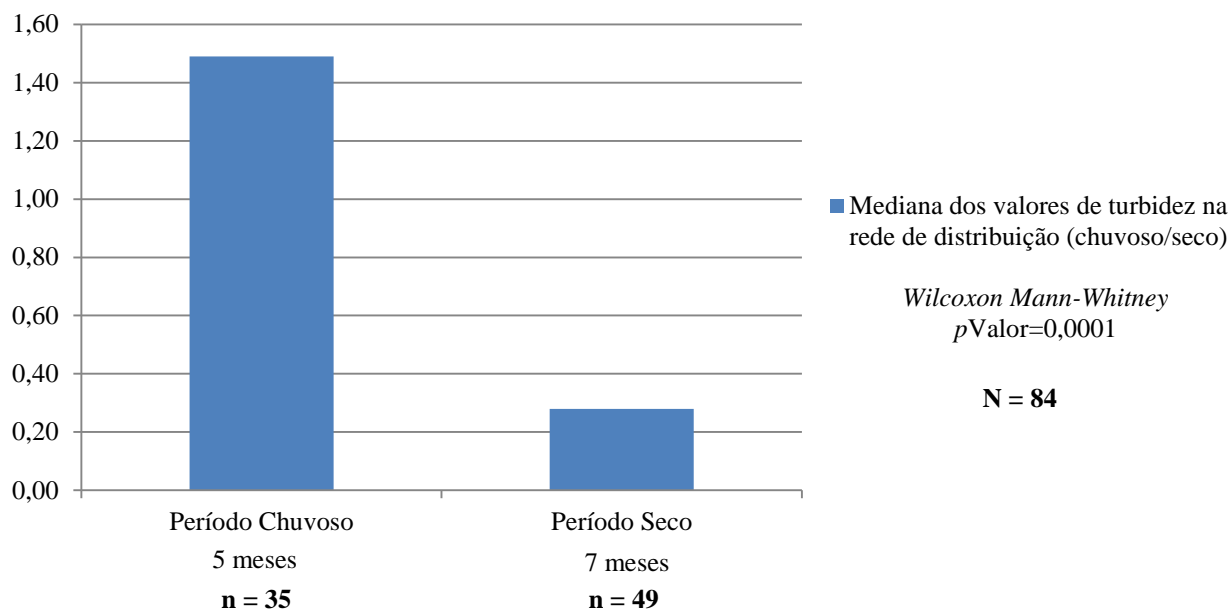
**Figura 9. Percentual de contaminação por coliformes totais na área urbana nos períodos chuvoso e seco do Município estudado-MG**



**Figura 10. Percentual de contaminação por *E. coli* na área urbana nos períodos chuvoso e seco do Município estudado-MG**

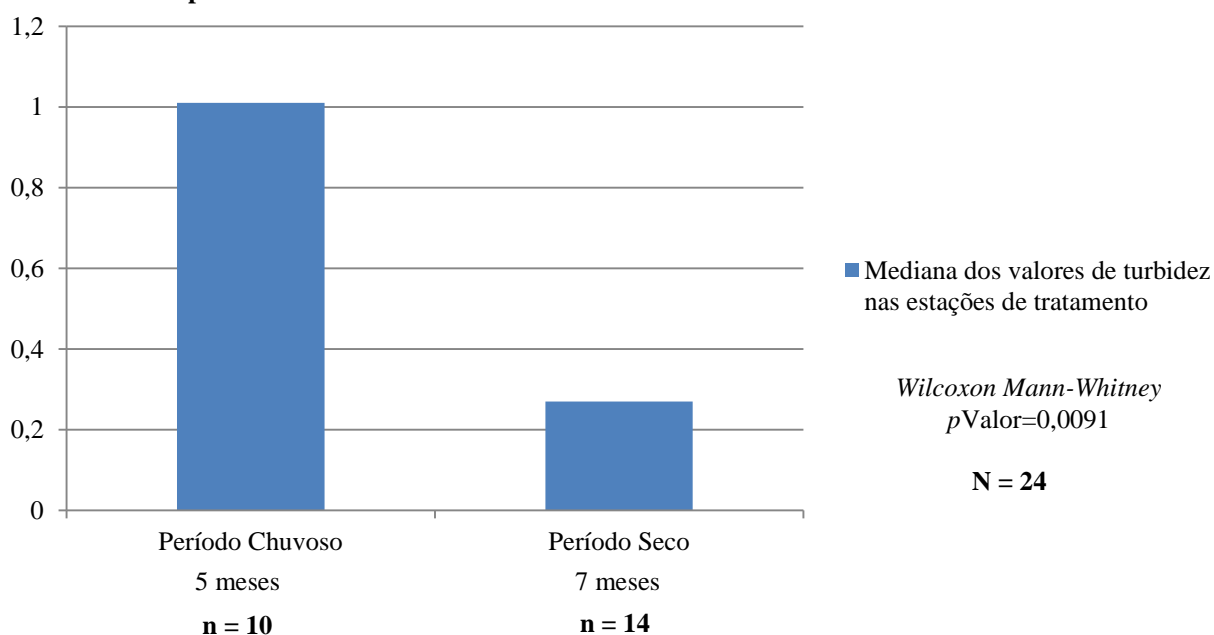


**Figura 11. Mediana dos valores de turbidez na rede de distribuição da área urbana nos períodos chuvoso e seco do Município estudado-MG**

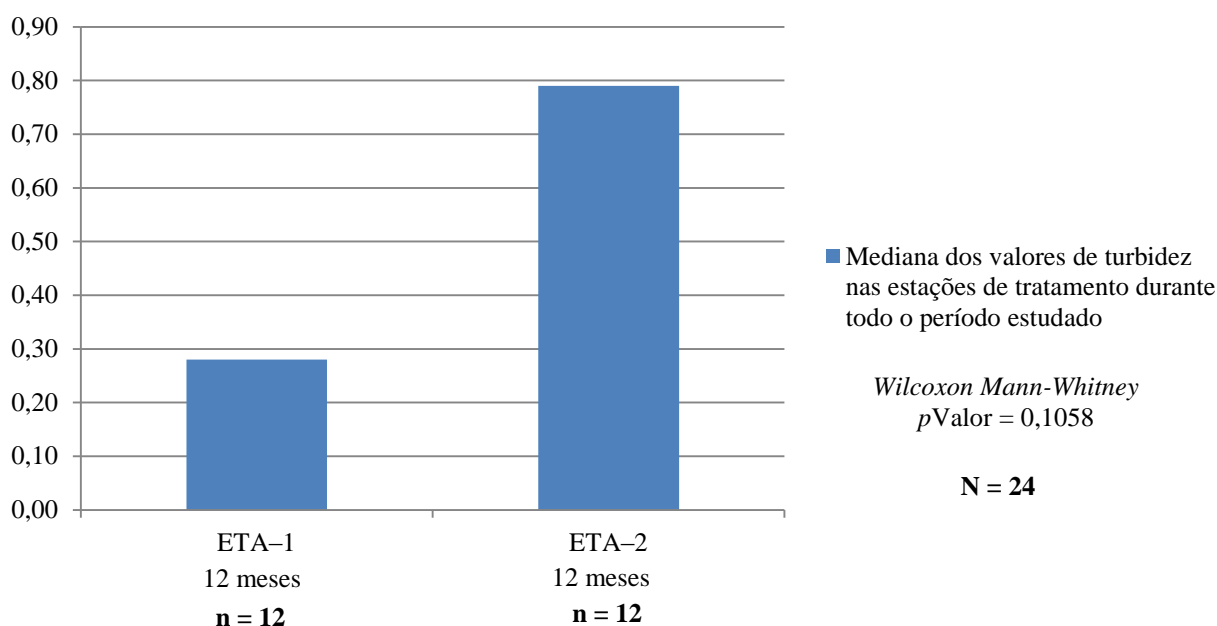


Foi coletada uma amostra/mês para cada uma das estações de tratamento (ETA – 1 e ETA – 2) durante todo período de estudo (um ano), totalizando 24(N) amostras, 10(n) referentes ao período chuvoso (5 meses) e 14(n) referentes ao período seco (7 meses).

**Figura 12. Mediana dos valores de turbidez medidos nas estações ETA-1 e ETA-2 nos períodos chuvoso e seco do Município estudado-MG**



**Figura 13. Mediana dos valores de turbidez medidos nas estações ETA-1 e ETA-2 entre maio/2017 a abril/2018 do Município estudado-MG**



Entre as 36(N) amostras de água não tratada, todas foram positivas para coliformes totais e 97,2% (n=35) para *E. coli* (Tabela 7). Em relação à turbidez, entre as 36 amostras de água não tratada, 8,3% (n=3) apresentaram resultados insatisfatórios. Duas amostras provenientes da unidade Centro de referência em assistência social (CRAS) – Área urbana isolada (9,05uT em nov./2017 e 10,40uT em abril/2018), cujos valores médios de turbidez poderiam eventualmente ultrapassarem o limite desejável, em decorrência do desvio padrão amostral, e uma da Unidade de Saúde – Área urbana isolada (7,69uT em nov./2017).

**Tabela 7. Frequência de contaminação por *E.coli*, valores médios e medianas de turbidez em amostras de água não tratada nas áreas prioritárias de coleta entre maio/2017 a abril/2018 do Município estudado-MG**

Áreas prioritárias	N	nEc	IB <sub>Ec</sub> %	$\bar{Y}$	$\tilde{Y}$
Unidade de Saúde – Área urbana isolada	12	12	100,0	1,56±2,09	1,28
Escola – Área urbana isolada	12	12	100,0	1,10±1,09	0,53
CRAS – Área urbana isolada	12	11	91,7	2,25±3,54	0,86
<b>Total de amostras coletadas x positivas</b>	<b>36</b>	<b>35</b>	<b>97,2</b>		

N – número de amostras coletadas

nEc – número de amostras com presença de *E. coli*

IB<sub>Ec</sub>% – Índice bacteriológico de contaminação por *E. coli*

$\bar{Y}$  – valor médio de turbidez

$\tilde{Y}$  – mediana dos valores de turbidez

## 6. DISCUSSÃO

---

A presença de coliformes totais na saída do tratamento indica ineficiência do processo de desinfecção, exigindo adequada investigação e execução de medidas corretivas, pois o padrão microbiológico da água para consumo humano definido pela Portaria 2.914/2011 determina que haja na saída do tratamento “ausência de coliformes totais em alíquotas de 100 mL de amostra”. Portanto, o índice bacteriológico de 83,3% de contaminação por este grupo de microrganismos (Tabela 2) reflete a incapacidade do sistema de abastecimento municipal em conter a presença de bactérias e de outros agentes potencialmente patogênicos, como os vírus e protozoários, configurando perigo microbiológico para transmissão destes microrganismos (Nabeela et al. 2014).

Pode-se observar que a presença dos bioindicadores na água para consumo humano do município é persistente. Entre os anos de 2010 a 2016, a bactéria *E. coli* estava presente em 35,7% das amostras coletadas na saída do tratamento (Tabela 1) e no presente estudo, em um ano, foi detectada em 16,7% das amostras coletadas em cada uma das saídas do tratamento, ETA-1 e ETA-2 (Tabela 3).

Entretanto, o menor percentual de contaminação encontrado neste trabalho não reflete necessariamente uma melhoria na qualidade do tratamento nos últimos anos, pois uma análise mais criteriosa é dificultada pela falta de igualdade na padronização das coletas. Entre 2010 a 2016 (7 anos) foram coletadas 14 amostras da saída do tratamento, com 5 positivas para *E. coli* (Tabela 1), mas sem periodicidade definida e sem especificação da saída do tratamento (ETA-1 ou ETA-2). No período de um ano (maio/2017 a abril/2018) foram coletadas 12 amostras de cada uma das duas saídas do tratamento, respeitando a padronização de uma amostra/mês, resultando em 2 amostras positivas em cada uma (Tabela 3).

A presença de coliformes totais e *E. coli* no sistema de abastecimento e distribuição de água persistiu durante todos os meses de estudo, e a partir do mês de julho/2017 a contaminação por coliformes totais esteve presente em todas as amostras. Para *E. coli*, as maiores frequências de contaminação foram observadas durante o período chuvoso, compreendido entre os meses de novembro à março (Santos & Garcia 2016), com destaque para os meses de novembro/2017, janeiro e fevereiro de 2018 (Tabela 6). O resultado encontrado satisfaz o resultado esperado, pois há um consenso de que a tendência de piora da qualidade da água em períodos chuvosos é consequência do arraste de matéria orgânica e partículas diversas, as quais protegem os microrganismos do contato com desinfetantes químicos, o que favorece sua viabilidade (Gleason & Fagliano 2017).

Além das contaminações terem atingido todos os pontos de coleta amostrados, o resultado mais alarmante está na relação de contaminação entre as saídas dos tratamentos e a rede de distribuição. Para coliformes totais, houve 83,3% de contaminação das amostras na saída do tratamento, para as duas estações (ETA-1 e ETA-2) e 91,6% na rede de distribuição (Tabela 2). Para *E. coli*, houve 16,7% de contaminação das amostras na saída do tratamento, para as duas estações (ETA-1 e ETA-2), e 45,2% na rede de distribuição (Tabela 3).

O excesso de contaminação observado nas saídas dos tratamentos, e seu aumento na rede de distribuição, representa uma consequência da ineficiência da cloração (Tabela 4), pois concentrações de cloro inferiores a 1mg/L favorecem a formação de biofilmes (Liu et al. 2015). Além disso, o material particulado, transportado através da rede de distribuição em decorrência de processos de filtração inexistentes ou inadequados, pode depositar-se no fundo dos tubos e, a incrustação de partículas e materiais com potencial nutritivo também favorecem a formação dos biofilmes, facilitando a viabilidade e disseminação de agentes potencialmente patogênicos (Liu et al. 2013).

Os biofilmes são comunidades de células bacterianas (várias espécies de bactérias podem formar biofilmes) aderidas a uma superfície e entre si, incorporadas em uma matriz polimérica extracelular, a qual protege as células bacterianas contra a ação direta de desinfetantes e proporciona estabilidade física contra as forças de cisalhamento. Portanto, nem mesmo a desinfecção da água pode garantir a completa ausência dos biofilmes, o que aumenta a importância da realização de um tratamento mínimo da água para consumo humano, como a adição de soluções de hipoclorito nos reservatórios intradomiciliares (Douterelo et al. 2014).

A estrutura e funcionamento das estações de tratamento têm relevância direta nos resultados encontrados, e a falta de ciclo completo no tratamento (figura 6) não garante a qualidade final do produto. Em relação a ETA-1, seu processo de trabalho apresenta deficiência pela falta de tratamento completo, e principalmente pela falta de filtros, pois a água captada de mananciais superficiais deve obrigatoriamente ser submetida à filtração (BRASIL 2011<sup>b</sup>). Além disso, a cloração realizada na calha Parshhall não é monitorada com frequência definida, assim como os outros parâmetros de qualidade, pois o prestador não realiza o controle determinado pela Portaria 2.914/2011. A ETA-2, apesar de possuir a estrutura convencional de tratamento, promove a diluição da água clorada pela ETA-1, através da abertura de comportas dos seus filtros, transferindo água sem tratamento para os reservatórios R<sub>1</sub> e R<sub>2</sub> da ETA-1. A situação é agravada pelo encontro, no sistema de distribuição, das águas provenientes das duas estações, o que dificulta a identificação da origem e fluxo exato da água (Figura 7).

Em relação aos pontos de coleta de água tratada, os resultados das Escolas 2 e 4 são particularmente preocupantes, pois segundo informações fornecidas pelas diretorias daquelas instituições, em 2017 a Escola 2 atendeu 107 alunos na faixa etária de 4 a 5 anos e a Escola 4 atendeu 62 alunos, com idades entre 2 a 3 anos. Na Escola 2 o percentual de contaminação por *E. coli* foi de 100,0% e na Escola 4 de 16,7% (Tabela 3). Esta situação é relevante no contexto epidemiológico, pois a ingestão de água contaminada representa a 14<sup>a</sup> causa global de risco de doenças e aumenta a probabilidade de ocorrência de óbitos por doenças diarreicas em crianças menores de 5 anos, principal grupo de risco (Cohen & Colford 2017). Portanto, além da necessidade de readequar o tratamento de água municipal para que seja eficiente, pode-se implementar medidas emergenciais, como a distribuição de hipoclorito de sódio, para que o produto seja aplicado diretamente nos reservatórios das escolas.

Conforme a Portaria 2.914/2011, deve-se manter no mínimo 0,2 mg/L de cloro residual livre em toda extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede) para que haja proteção suficiente contra a proliferação de bactérias e vírus na água. Entretanto, os valores médios encontrados nesta pesquisa foram no mínimo cinco vezes menores que o recomendado (Tabela 4). Uma possível explicação para baixa concentração de cloro na rede de distribuição está relacionada ao fluxo de captação, armazenamento e distribuição, diminuindo, por diluição, a concentração de cloro (Figura 7). Além disso, um eventual aumento de matéria orgânica dissolvida na água, como geralmente ocorre em períodos chuvosos, pode propiciar sua reação com o cloro e acentuar a diminuição da concentração disponível do desinfetante, além de promover a formação de subprodutos (trialometanos) potencialmente cancerígenos (Levchuk et al. 2018). As fontes de captação também são distintas, provenientes de um córrego para a ETA-1 e de uma cachoeira para a ETA-2, as quais podem apresentar diferenças no nível de contaminação, e como consequência de um sistema ineficiente de tratamento, influenciar negativamente na qualidade final da água.

Os procedimentos de desinfecção têm relevância amplamente reconhecida no tratamento da água para consumo humano e as substâncias ativas desinfetantes devem possuir eficácia contra um grande número de bactérias e vírus (embora seja aceito que somente a filtração é suficiente para remoção de protozoários). Este critério é atendido pelos desinfetantes padrão de cloro (hipoclorito de sódio ou cálcio, cloro gasoso e dióxido de cloro) e ozônio. Entretanto, apesar da eficácia destes produtos, sua utilização deve ser planejada para evitar sub ou superdosagem, com a minimização da geração de subprodutos de desinfecção, como os trialometanos (Grunert et al. 2018).

Diante dos resultados encontrados nas análises de cloro residual livre para a área urbana (Tabela 4), sugere-se que a quantidade de cloro adicionada aos reservatórios das estações de tratamento seja aumentada semanalmente e sua concentração medida diariamente em pontos diversos da rede de distribuição, até que a concentração do desinfetante apresente estabilidade dentro da faixa determinada pela Portaria 2.914/2011 (0,2 – 2,0 mg/L). Além de interromper a transferência de água não tratada da ETA-2 para os reservatórios (R<sub>1</sub> e R<sub>2</sub>) da ETA-1 e avaliar o tempo de contato mínimo do cloro, em função do pH e temperatura da água, conforme determinado pela Portaria citada. Em paralelo, os resultados das análises microbiológicas mensais realizadas pela GRS-Itabira, deverão ser acompanhados com a finalidade de verificar a ocorrência de melhorias na qualidade da água.

Apesar da Portaria 2.914/2011 recomendar que o pH da água seja mantido na faixa entre 6,0 a 9,5 na rede de distribuição, o valor ideal para desinfecção com derivados clorados é de 8,0, pois neste valor há uma disponibilidade de ácido hipocloroso em torno de 35%. Quando o pH assume valores de 8,5; 9,0 e 9,5; o ácido hipocloroso torna-se disponível nos respectivos percentuais de 12%, 5% e 2%, o que é insuficiente para o processo de desinfecção (Macedo 2004). Durante este estudo, foram realizadas três medidas de pH em temperatura de 26,9°C. Duas em amostras provenientes da ETA-1, em um ponto antes do tratamento e outro após o tratamento, e uma amostra na rede de distribuição (Escola 2), cujos valores foram respectivamente 10,31; 9,10 e 8,95. Estes resultados demonstram que mesmo com a utilização de desinfetantes clorados, se não houver correção química adequada do pH nas estações de tratamento, a proteção microbiológica não será efetiva.

A temperatura também exerce influência significativa na ionização do cloro em água, portanto, o histórico climático municipal é importante para o processo de desinfecção. Segundo informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE-<https://ibge.gov.br/>), a temperatura média do município estudado é de 20,6°C (mês mais quente: fevereiro – 23,1°C; mês mais frio: julho – 17,2°C), próxima ao valor ótimo de temperatura do coeficiente de solubilidade do cloro (247mL/100g de água, a 20,0°C), representando uma situação favorável ao tratamento da água com derivados clorados (Silva et al. 2017).

A turbidez não é um indicador consistente da qualidade microbiológica da água, mas um parâmetro utilizado como referência de pré-contaminação associado à sua limpidez. A análise de vários estudos publicados sobre a associação positiva entre níveis de turbidez acima do esperado e ocorrência de doenças, não apresentou uniformidade de resultados, pois dependem de variáveis como sazonalidade, fluxo e formas de tratamento da água (Roos et al.

2017). No presente estudo, os resultados encontrados demonstraram que apesar da maioria dos valores médios de turbidez, das amostras da rede de distribuição da área urbana, atenderem ao limite determinado na Portaria 2.914/2011, os resultados das análises microbiológicas foram insatisfatórios em mais de um terço das amostras, considerando o parâmetro “presença de *E. coli*” (Tabela 3). Este resultado, *a priori*, poderia sugerir uma não associação entre níveis de turbidez e frequência de contaminação microbiológica.

A diferença estatisticamente significativa nos períodos chuvoso e seco, para presença de coliformes totais e *E. coli* na rede de distribuição da área urbana, é um resultado indesejável (Figuras 9 e 10), pois sugere que as estações de tratamento não contribuem para minimizar a presença destes microrganismos durante o período chuvoso.

O nível de contaminação deve adequar-se às determinações legais, o que demanda a correção das falhas estruturais e de processo de tratamento identificadas (Figura 7), através de monitoramento de rotina e implantação de medidas educacionais junto à população, como proposto por Silva et al. (2018), os quais idealizaram um trabalho de conscientização populacional quanto à sua responsabilidade na manutenção da qualidade da água para consumo humano. O trabalho foi conduzido junto aos estudantes do 3º ano de um ensino técnico em Barueri-SP, os quais receberam orientações quanto às etapas de tratamento químico da água com a finalidade de criar um ambiente de discussão sobre o papel das estações de tratamento e como o cidadão poderia contribuir para preservação de mananciais, principalmente aqueles de água superficial, mais sujeitos à contaminação por materiais orgânicos e industriais.

A diferença estatisticamente significativa entre as medianas dos valores de turbidez nos períodos chuvoso e seco, na rede de distribuição e nas estações de tratamento (Figuras 11 e 12), representa um resultado indesejável, pois sugere que as estações de tratamento não contribuem de forma homogênea para a manutenção deste parâmetro em níveis legalmente aceitáveis, o que pode gerar insegurança diante de situações adversas (chuva). Entretanto, a diferença entre as medianas dos valores de turbidez registrados para todo o período estudado, apresentou uma diferença estatisticamente não significativa entre as estações de tratamento (Figura 13), demonstrando que neste caso, as estações estariam interferindo igualmente nos níveis de turbidez, o que sugere em princípio um resultado desejável. Porém, foi classificado como indesejável, em decorrência das oscilações identificadas no período chuvoso.

Os resultados de cloro residual livre não foram avaliados por testes estatísticos, pois nenhuma das amostras coletadas atendeu ao parâmetro exigido pela Portaria 2.914/2011.

Além das estações de tratamento e processos de desinfecção, a distribuição da água pós-tratamento é muito importante na manutenção da sua qualidade microbiológica, pois o material usado nas tubulações exerce forte influência nas características finais do produto. Materiais de borracha, por exemplo, podem liberar nutrientes para o crescimento de populações bacterianas e a presença de matéria vegetal, como raízes e caules, pode aumentar a demanda de força para bombeamento da água, promovendo vazamentos e consequentes contaminações (Liu et al. 2017).

Assim como a qualidade estrutural da rede de distribuição é fundamental para produção de água potável, o conhecimento sobre a ecologia do bioindicador (*E. coli*) deve ser considerado no planejamento das ações de proteção do manancial de captação. Este fato é importante porque inicialmente acreditava-se que esta bactéria habitava exclusivamente o trato intestinal inferior de animais de sangue quente, em uma concentração (por grama de fezes) entre  $10^7$ - $10^9$  UFC em humanos e  $10^4$ - $10^6$  UFC em animais domésticos. Entretanto, estudos recentes demonstraram que a *E. coli* pode sobreviver por longos períodos de tempo no solo, areia, sedimentos e água, em ambientes de clima tropical, subtropical e temperados, o que facilita sua disseminação em sistemas de abastecimento de água e explica o aumento da contaminação em períodos chuvosos (Jang et al. 2017). Além disso, Frick et al. (2018) avaliaram a abundância de *E. coli* em diversos grupos de animais (homeotérmicos e poiquilotérmicos), em um remanso aluvial na Áustria, cujos resultados demonstraram concentrações médias desta bactéria nas excretas de poiquilotérmicos, próximas àsquelas encontradas em homeotérmicos, confirmando que sua ocorrência não é exclusiva de animais de sangue quente.

As amostras coletadas na área urbana isolada, onde não há desinfecção da água, apresentaram 100% de contaminação por coliformes totais e 97,2% de contaminação por *E. coli* (Tabela 7). Este resultado demonstra que a qualidade da água bruta (*In natura*) da região representa um perigo sistemático, desafiando e criando demandas cada vez maiores ao sistema de tratamento. Outra questão importante em relação a esta área sem tratamento de água refere-se ao descumprimento ao Art. 24 da Portaria 2.914/2011, o qual determina que “Toda água para consumo humano, fornecida coletivamente, deverá passar por processo de desinfecção ou cloração”.

Através das investigações realizadas in loco, não foi identificada comunicação entre os mananciais de captação e efluentes sanitários que pudessem contribuir para o alto índice de contaminação observado. Segundo informações prestadas pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente, através do engenheiro ambiental (responsável técnico), a sede municipal e a área

urbana isolada possuem tratamento de esgoto adequado à legislação. Esta informação foi verificada através de consulta ao sítio eletrônico do IBGE, cujo registro confirma que o município apresenta adequação de esgotamento sanitário de 88,6%.

Portanto, o alto nível de contaminação microbiológica presente na água de consumo humano deste município, pode estar diretamente associado à ausência de tratamento convencional (Figura 6), fluxo estrutural inadequado do sistema de tratamento (Figura 7), considerando também a falta do uso de produtos químicos como floculantes e corretores de pH, além das condições físicas das tubulações na rede de distribuição, as quais não possuem rotinas de manutenção/prevenção de corrosão ou substituição periódica de tubos antigos, condicionando a formação dos biofilmes.

Considerando os itens avaliados, a proposta de categorização do risco microbiológico se fundamenta no conceito de potabilidade definido pela Portaria 2.914/2011 e as análises estatísticas são ferramentas complementares na identificação de perigos (Quadro 6). É importante ressaltar que, a avaliação de perigos e categorização dos riscos realizados neste trabalho aplica-se aos municípios com população entre 5.001 a 10.000 habitantes, condizente ao município estudado (Quadro 5). Para avaliação de municípios com populações diferentes, há necessidade de readequação dos parâmetros de amostragem.

## 7. CONCLUSÃO

Os resultados encontrados refletem a incapacidade do sistema de abastecimento analisado em conter a presença de bactérias e outros agentes potencialmente patogênicos, como vírus e protozoários, o que configura perigo microbiológico para transmissão destes. Desta forma, o desenvolvimento da metodologia apresentada neste estudo se mostra necessária para categorizar os níveis de risco associados ao perigo e assessorar na identificação de falhas nos sistemas de tratamento e distribuição de água deste município, com o intuito de promover ações corretivas que possam proporcionar à população o abastecimento de água apropriado ao consumo humano.

**Quadro 6. Proposta de categorização do risco associado ao consumo de água no município estudado, avaliado segundo a presença ou ausência de perigos**

Aspectos relacionados ao padrão de potabilidade		
Item avaliado	Saída do tratamento	Rede de distribuição
Atendimento ao plano mínimo de amostragem – coliformes totais	Atende 100%	Atende 100%
Atendimento ao plano mínimo de amostragem – cloro residual livre	Atende 100%	Atende 100%
Atendimento ao plano mínimo de amostragem – turbidez	Atende 100%	Atende 100%
Avaliação da qualidade bacteriológica da água: coliformes totais	83,3% Presença	91,6% Presença
Avaliação da qualidade bacteriológica da água: <i>E. coli</i>	16,7% Presença	45,2% Presença
Avaliação da qualidade da água: turbidez	24 amostras analisadas. 6 amostras acima de 1uT = 25%	2 amostras acima de 5uT
Avaliação da qualidade da água: cloro residual livre	Não atende	Não atende
Aspectos de caráter geral – Tratamento estatístico		
Diferença estatisticamente significativa para presença de coliformes totais na rede de distribuição em área com água tratada nos períodos chuvoso/seco	<b>Resultado indesejável</b>	
Diferença estatisticamente significativa para presença de <i>E. coli</i> na rede de distribuição em área com água tratada nos períodos chuvoso/seco	<b>Resultado indesejável</b>	
Diferença estatisticamente significativa para turbidez na rede de distribuição na área com água tratada nos períodos chuvoso/seco	<b>Resultado indesejável</b>	
Diferença estatisticamente significativa para turbidez entre ETA-1 e ETA-2 nos períodos chuvoso/seco	<b>Resultado indesejável</b>	
Diferença estatisticamente não significativa para turbidez entre ETA-1 e ETA-2 (maio/17 a abril/18)	<b>Resultado indesejável</b>	

**Alto Risco****Legenda:****Baixo Risco**

Atendimento a todos os parâmetros básicos de potabilidade na saída do tratamento e rede de distribuição

**Médio Risco**

Atendimento a todos os parâmetros básicos de potabilidade na saída do tratamento, associado ao NÃO atendimento do parâmetro para coliformes totais na rede de distribuição.

**Alto Risco**

Não atendimento do parâmetro definido para *E. coli*.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Abberton CL, Bereschenko L, van der Wielen PWJJ, Smith CJ. (2016). Survival, biofilm formation, and growth potential of environmental and enteric *Escherichia coli* strains in drinking water microcosms. *Applied and Environmental Microbiology*, 82:5320–5331.
- Ailes E, Budge P, Shankar M, Collier S, Brinton W, Cronquist A, Chen M, Thornton A, Beach MJ, Brunkard JM. (2013). Economic and Health Impacts Associated with a Salmonella Typhimurium Drinking Water Outbreak-Alamosa, CO, 2008. *PLoS One*, 8:e57439.
- Allen MJ, Edberg SC, Clancy JL, Hrudefy SE. (2015). Drinking water microbial myths. *Critical Reviews in Microbiology*, 41:366–373.
- Amaral LA, Filho AN, Júnior ODR, Ferreira FLA, Barros LSS. (2003). Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais. *Revista de Saúde Pública*, 37:510–514.
- ANVISA. (2009). *Regulamento Sanitário Internacional RSI-2005* (pp. 1-79). Brasil.
- APHA (2012). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 22<sup>th</sup> ed. Washington.
- Bain R, Cronk R, Hossain R, Bonjour S, Onda K, Wright J, Yang H, Slaymaker T, Hunter P, Prüss UA, Bartram J. (2014). Global assessment of exposure to faecal contamination through drinking water based on a systematic review. *Tropical Medicine & International Health*, 19:917–927.
- Banerjee R, Das B, Balakrish Nair G, Basak S. (2014). Dynamics in genome evolution of *Vibrio cholera*. *Infection, Genetics and Evolution*, 23:32–41.
- Bartram J, Brocklehurst C, Fisher MB, Luyendijk R, Hossain R, Wardlaw T, Gordon B. (2014). Global monitoring of water supply and sanitation: history, methods and future challenges. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11:8137–8165.
- Bauer L, Lyoo H, van der Schaar HM, Strating JR, van Kuppeveld FJ. (2017). Direct-acting antivirals and host-targeting strategies to combat enterovirus infections. *Current Opinion in Virology*, 24:1–8.
- BRASIL. Análise de indicadores relacionados à água para consumo humano e doenças de veiculação hídrica no Brasil, ano 2013, utilizando a metodologia da matriz de indicadores da Organização Mundial de Saúde. Brasília, DF, 2015, 1–37.
- \_\_\_\_\_. Comentários sobre o Decreto Presidencial n. 5.440/2005: subsídios para implementação, Brasília, DF, 2010, Série E. Legislação de Saúde, 1–80.

- \_\_\_\_\_. Decreto n. 79.367 de 09 de março de 1977. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 10 mar. 1977. Seção 1, p. 278.
- \_\_\_\_\_. Diretriz nacional do plano de amostragem da vigilância da qualidade da água para consumo humano, Brasília, DF, 2016, 1–51.
- \_\_\_\_\_. Documento base de elaboração da Portaria nº 2.914/2011. Brasília, DF, 2012, 1–196. Disponível em: <http://portal.arquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2014/julho/24/Documento-Base-de-elaboracao-da-Portaria-MS-2914.pdf>. Acesso em ago. 2017.
- \_\_\_\_\_. Inspeção sanitária em sistemas de abastecimento de água, Brasília, DF, 2006<sup>a</sup>. Série A. Normas e Manuais Técnicos, 1–84.
- \_\_\_\_\_. Lei n. 9.984 de 17 de julho de 2000. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 jul. 2000. Seção 1, p.1.
- \_\_\_\_\_. Lei n. 11.445 de 05 de janeiro de 2007. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 8 jan. 2007. Seção 1, p.3.
- \_\_\_\_\_. Manual de procedimentos de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano, Brasília, DF, 2006<sup>b</sup>. Série A. Normas e Manuais Técnicos, 1–284.
- \_\_\_\_\_. Portaria n. 635 de 26 de dezembro de 1975. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 jan. 1976. p.1455.
- \_\_\_\_\_. Portaria n. 36 de 19 de janeiro de 1990. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 23 jan. 1990. p.1651.
- \_\_\_\_\_. Portaria n. 1.469 de 29 de dezembro de 2000. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2 jan. 2001. Seção 1, p.19.
- \_\_\_\_\_. Portaria n. 104 de 25 de janeiro de 2011. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 26 jan. 2011<sup>a</sup>. Seção 1, p.37.
- \_\_\_\_\_. Portaria n. 2.914 de 12 de dezembro de 2011. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 14 dez. 2011<sup>b</sup>. Seção 1, p.39.
- \_\_\_\_\_. Portaria de Consolidação n. 5 de 28 de setembro de 2017. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 3 out. 2017. Seção 1-Suplemento, p.360.
- \_\_\_\_\_. Programa nacional de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano, Brasília, DF, 2005. Série C. Projetos, Programas e Relatórios, 1–106.
- Cabral JPS. (2010). Water microbiology, bacterial pathogens and water. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7:3657–3703.

- Carmo RF, Bevilacqua PD, Bastos RKX. (2008). Vigilância da qualidade da água para consumo humano: abordagem qualitativa da identificação de perigos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 4:426–434.
- Chowdhury S. (2012). Heterotrophic bacteria in drinking water distribution system: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184:6087–6137.
- Cleaveland S, Sharp J, Abela-Ridder B, Allan KJ, Buza J, Crump JA, Davis A, Del Rio Vilas VJ, de Glanville WA, Kazwala RR, Kibona T, Lankester FJ, Lugelo A, Mmbaga BT, Rubach MP, Swai ES, Waldman L, Haydon DT, Hampson K, Halliday JEB. (2017). One Health contributions towards more effective and equitable approaches to health in low- and middle-income countries. *Philosophical Transactions B*, 372: 1–11.
- Cohen A, Colford JM. (2017). Effects of boiling drinking water on diarrhea and pathogen-specific infections in low and middle-income countries: a systematic review and meta-analysis. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 5:1362–1377.
- Costa SS, Heller L, Brandão CCS, Colosimo EA. (2005). Indicadores epidemiológicos aplicáveis a estudos sobre a associação entre saneamento e saúde de base municipal. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2:118–127.
- Coswosk RC, Gemeli MB, Oliveira LCJ, Fraga CIM, Paula NRF. (2013). Estudo da potabilidade da água para consumo humano na cidade de Colorado do Oeste. *Revista Brasileira de Ciências da Amazônia*, 1:57–64.
- Darvesh N, Das JK, Vaivada T, Gaffey MF, Rasanathan K, Bhutta ZA. (2017). Water, sanitation and hygiene interventions for acute childhood diarrhea: a systematic review to provide estimates for the Lives Saved Tool. *BMC Public Health*, 17:101–111.
- Desselberger U. (2017). Differences of *Rotavirus* vaccine effectiveness by country: likely causes and contributing factors, *Pathogens*, 65:1–13.
- Douterelo I, Sharpe R, Boxall J. (2014). Bacterial community dynamics during the early stages of biofilm formation in a chlorinated experimental drinking water distribution system: implications for drinking water discolouration. *Journal of Applied Microbiology*, 117:286–301.
- Duron O, Doublet P, Vavre F, Bouchon D. (2018). The importance of revisiting *Legionellales* diversity. *Trends in Parasitology*, 34:1027–1037.
- Facciola A, Riso R, Avventuroso E, Visalli G, Delia SA, Laganà P. (2017). *Campylobacter*: from microbiology to prevention. *Journal of Preventive Medicine and Hygiene*, 58:79–92.
- Fregonesi BM, Sampaio CF, Ragazzi MF, Tonani KAA, Segura-Muñoz SI. (2012). *Cryptosporidium* e *Giardia*: desafios em água de abastecimento público. *O Mundo da Saúde*, 4:602–609.
- Freitas CM. (2002). Avaliação de riscos como ferramenta para a vigilância ambiental em saúde. *Informe Epidemiológico do SUS*, 11:227–239.

- Freitas MB, Freitas CM. (2005). A vigilância da qualidade da água para consumo humano: desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, 4:993–1004.
- Frick C, Vierheilig J, Linke R, Savio D, Zornig H, Antensteiner R, Baumgartner C, Bucher C, Blaschke AP, Derx J, Kirschner AKT, Ryzinska-Paier G, Mayer R, Seidl D, Nadiotis-Tsaka T, Sommer R, Farnleitner AH. (2018). Poikilothermic animals as a previously unrecognized source of fecal indicator bacteria in a backwater ecosystem of a large river. *Applied and Environmental Microbiology*, 84:1–15.
- FUNED. Manual de Coleta de Amostras. (2015). Disponível em: <http://www.funed.mg.gov.br/wp-content/uploads/2018/12/Manual-de-coleta-de-amostras-Vigil%C3%A2ncia-Sanit%C3%A1ria.pdf>. Atualizado em março de 2018.
- García-Aljaro C, Blanch AR, Campos C, Jofre J, Lucena F. (2018). Pathogens, faecal indicators and human-specific microbial source-tracking markers in sewage. *Journal of Applied Microbiology*, DOI:[10.1111/jam.14112](https://doi.org/10.1111/jam.14112).
- Gleason JA, Fagliano JA. (2017). Effect of drinking water source on associations between gastrointestinal illness and heavy rainfall in New Jersey. *PLoS One*, 3:1–13.
- Gomes TAT, Elias WP, Scaletsky ICA, Guth BEC, Rodrigues JF, Piazza RMF, Ferreira LCS, Martinez MB. (2016). Diarrheagenic *Escherichia coli*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 47:3–30.
- Goulart MDC, Callisto M. (2003). Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. *Revista da FAPAM*, 1:1–9.
- Gruber JS, Ercumen A, Colford Jr JM. (2014). Coliform bacteria as Indicators of diarrheal risk in household drinking water: systematic review and meta-analysis. *PLoS One*, 9:1–14.
- Grunert A, Frohnert A, Selinka HC, Szewzyk R. (2018). A new approach to testing the efficacy of drinking water disinfectants. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 8:1124–1132.
- Harris JB, LaRocque RC, Qadri F, Ryan PET. (2012). Cholera. *Lancet*, 9835:2466–2476.
- Hartono S, Bhagia A, Joshi AY. (2016). No! When the immunologist becomes a virologist: *Norovirus* – an emerging infection in immune deficiency diseases. *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*, 6:557–564.
- Holschbach CL, Peek SF. (2017). *Salmonella* in dairy cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 34:133-154.
- Hu J, Torres AG. (2015). Enteropathogenic *Escherichia coli*: foe or innocent bystander? *Clinical Microbiology and Infection*, 8:729–734.

- Ilyas B, Tsai CN, Coombes BK. (2017). Evolution of *Salmonella*-Host Cell Interactions through a Dynamic Bacterial Genome. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 428:1–15.
- Jang J, Hur HG, Sadowsky MJ, Byappanahalli MN, Yan T, Ishii S. (2017). Environmental *Escherichia coli*: ecology and public health Implications—a review. *Journal of Applied Microbiology*, 123:570–581.
- Junior ACG, Paganini WS. (2009). Aspectos conceituais da regulação dos serviços de água e esgoto no Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 14:79–88.
- Kanda T, Nakamoto S, Wu S, Nakamura M, Jiang X, Haga Y, Sasaki R, Yokosuka O. (2015). Direct-acting Antivirals and Host-targeting Agents against the Hepatitis A Virus. *Journal of Clinical and Translational Hepatology*, 3:205–210.
- Katukiza AY, Temanu H, Chung JW, Foppen JW, Lens PN. (2013). Genomic copy concentrations of selected waterborne viruses in a slum environment in Kampala, Uganda. *Journal of Water and Health*, 2:358–370.
- Khaledi A, Bahrami A, Nabizadeh E, Amini Y, Esmaeili D. (2018). Prevalence of *Legionella* species in water resources of Iran: a systematic review and meta-analysis. *Iranian Journal of Medical Sciences*, 43:571–580.
- Killackey SA, Sorbara MT, Girardin SE. (2016). Cellular Aspects of *Shigella* Pathogenesis: Focus on the Manipulation of Host Cell Processes. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 38:1–11.
- Kostyla C, Bain R, Cronk R, Bartram J. (2015). Seasonal variation of fecal contamination in drinking water sources in developing countries: A systematic review. *Science of the Total Environment*, 514:333–343.
- Levchuk I, Márquez JJR, Sillanpää M. (2018). Removal of natural organic matter (NOM) from water by ion exchange – a review. *Chemosphere*, 192:90–104.
- Liu G, Zhang Y, JanKnibbe W, Feng C, Liu W, Medema G, Meer WVD. (2017). Potential impacts of changing supply-water quality on drinking water distribution: a review. *Water Research*, 116:135–148.
- Liu G, Verberk JQ, Van DJC. (2013). Bacteriology of drinking water distribution systems: an integral and multidimensional review. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97:9265–9276.
- Liu L, Le Y, Jin J, Zhou Y, Chen G. (2015). Chlorine stress mediates microbial surface attachment in drinking water systems. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 6:2861–2869.
- Macedo JAB. (2004). O processo de desinfecção pelo uso de derivados clorados em função do pH e a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. *Congresso Brasileiro de Química*, Fortaleza, CE: Associação Brasileira de Química, set. 2004.

- Meireles MV. (2010). *Cryptosporidium* infection in Brazil: implications for veterinary medicine and public health. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 4:197–204.
- MINAS GERAIS. Lei n. 18.309 de 3 de agosto de 2009. *Minas Gerais*, Belo Horizonte, 4 ago. 2009. p.1.
- \_\_\_\_\_. Secretaria de Estado da Saúde. (2010). **Plano diretor de regionalização da saúde de Minas Gerais**. Belo Horizonte.
- Morgado P, Manna D, Singh U. (2016). Recent advances in *Entamoeba* biology: RNA interference, drug discovery, and gut microbiome. *F1000 Research*, 5:1–9.
- Nabeela F, Azizullah A, Bibi R, Uzma S, Murad W, Shakir SK, Ullah W, Qasim M, Hader DP. (2014). Microbial contamination of drinking water in Pakistan – a review. *Environmental Science Pollution Research*, 21:13929–13942.
- Newall ER, Nguyen TM, Le TP, Sengtaheuanghoung O, Ribolzi O. (2015). A short review of fecal indicator bacteria in tropical aquatic ecosystems: knowledge gaps and future directions. *Frontiers in Microbiology*, 308:1–15.
- Nimgaonkar I, Ding Q, Schwartz RE, Ploss A. (2017). Hepatitis E virus: advances and challenges. *Nature Reviews Gastroenterology e Hepatology*, 15:96–110.
- O'Brien E, Nakyzze J, Wu H, Kiwanuka N, Cunningham W, Kaneene JB, Xagorarakis I. (2017). Viral diversity and abundance in polluted waters in Kampala, Uganda. *Water Research*, 127:41–49.
- Oliveira BSB, Oliveira RKL, Bezerra JC, Melo FMS, Monteiro FPM, Joventino ES. (2017). Condições sociais e condutas maternas na prevenção e manejo da diarreia infantil. *Cogitare Enfermagem*, 4:e50294.
- Omarova A, Tussupova K, Berndtsson R, Kalishev M, Sharapatova K. (2018). Protozoan parasites in drinking water: a system approach for improved water, sanitation and hygiene in developing countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 495:1–18.
- Petry F, Jakobi V, Tessema TS. (2010). Host immune response to *Cryptosporidium parvum* infection. *Experimental Parasitology*, 126:304–309.
- Petsios S, Fredriksson AM, Sakas H, Papadopoulou C. (2016). Conventional and molecular methods used in the detection and subtyping of *Yersinia enterocolitica* in food. *International Journal of Food Microbiology*, 237:55–72.
- Plutzer J, Ongerth J, Karanis P. (2010). *Giardia* taxonomy, phylogeny and epidemiology: facts and open questions. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 213:321–333.

- Queiroz ACL, Cardoso LSM, Silva SCF, Heller L, Cairncross S. (2012). Programa nacional de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano (VIGIAGUA): lacunas entre a formulação do programa e sua implantação na instância municipal. *Saúde e Sociedade*, 2:465–478.
- Queiroz JTM, Heller L, Silva SR. (2009). Análise da correlação de ocorrência da doença diarreica aguda com a qualidade da água para consumo humano no município de Vitória-ES. *Saude e Sociedade*, 3:479–489.
- Ragupathi NKD, Sethuvel DPM, Inbanathan FY, Veeraraghavan B. (2018). Accurate differentiation of *Escherichia coli* and *Shigella* serogroups: challenges and strategies. *New Microbe and New Infect.* 21:58–62.
- Reboul ET, Bilak EJ, Lamy B. (2017). The social life of *Aeromonas* through biofilm and quorum sensing systems. *Frontiers in Microbiology*, 37:1–19.
- Roos AJ, Gurian PL, Robinson LF, Rai A, Zakeri I, Kondo MC. (2017). Review of Epidemiological Studies of Drinking-Water Turbidity in Relation to Acute Gastrointestinal Illness. *Environmental Health Perspectives*, 8:1–19.
- Sahin O, Yaeger M, Wu Z, Zhang Q. (2017). *Campylobacter*-associated diseases in animals. *Annual Review of Animal Biosciences*, 5:21–42.
- Sanches SM, Muniz JM, Passos C, Vieira EM. (2015). Chemical and microbiological analysis of public school water in Uberaba Municipality. *Revista Ambiente & Água*, 3:530–541.
- Santos FLN, Soares NM. (2008). Mecanismos fisiopatogênicos e diagnóstico laboratorial da infecção causada pela *Entamoeba histolytica*. *Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial*, 4:249–261.
- Santos LF, Garcia SR. (2016). Início e Fim da Estação Chuvosa no Estado de Minas Gerais: Comparação de Duas Metodologias Diferentes. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 1:92–104.
- Santos R, Mohr T. (2013). Saúde e qualidade da água: análises microbiológicas e físico-químicas em águas subterrâneas. *Revista Contexto & Saúde*, 13:46–53.
- Shields JG, Bartram J. (2014). Human health and the water environment: Using the DPSEEA framework to identify the driving forces of disease. *Science of the Total Environment*, 468–469:306–314.
- Silva I, Vasconcelos TNH, Amaral CLC. (2018). Aplicação de uma atividade experimental investigativa para o ensino de tratamento de água. *Revista de Ensino de ciências e Matemática*, 1:50–59.
- Silva LA, Carvalho LS, Lopes WA, Pereira PAP, Andrade JB. (2017). Solubilidade e reatividade de gases. *Química Nova*, 40:824–832.

- Silva RCA, Araújo TM. (2003). Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). *Ciência e Saúde Coletiva*, 4:1019–1028.
- Singley JA. (2004). Hazard versus risk. *Journal of Chemical Health and Safety*, 11:14–16.
- Soares SS, Arruda PN, Lobón GS, Scalize PS. (2016). Avaliação de métodos para determinação de cloro residual livre em áreas de abastecimento público. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, 1:119–130.
- Souza LC, Laria ST, Paim GV. (1992). Salmonelas e coliformes fecais em águas de bebida para animais. *Revista de Saúde Pública*, 5:321–327.
- Taneja N, Mewara A. (2016). Shigellosis: epidemiology in India. *Indian Journal of Medical Research*, 143:565–576.
- Teixeira AR, Santos EPC, Pádua VL, Heller L, Bernardo LD, Libânio M. (2004). A confiabilidade analítica dos valores de turbidez da água filtrada e seu efeito no cumprimento do padrão de potabilidade. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 1:65–72.
- Tucci CEM, Hespanhol I, Netto OM. (2000). Cenários da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a “visão mundial da água”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 5:31–43.
- Valestra PK, Fornos SH, Gian J, Cunha BA. (2016). Coxsackie B5 infection in an adult with fever, truncal rash, diarrhea and splenomegaly with highly elevated ferritin levels. *IDCases*, 6:14–16.
- Villamil JS, Garcia FN. (2015). Role of virulence factors on host inflammatory response induced by diarrheagenic *Escherichia coli* pathotypes. *Future Microbiology*, 6:1009–1033.
- Vincent JL. (2014). Vaccine development and passive immunization for *Pseudomonas aeruginosa* in critically ill patients: a clinical update. *Future Microbiology*, 9:457–463.
- Wadamori Y, Gooneratne R, Hussain MA. (2017). Outbreaks and factors influencing microbiological contamination of fresh produce. *Journal of The Science of Food and Agriculture*, 5:1396–1403.
- Yamaguchi MU, Cortez LER, Ottoni LCC, Oyama J. (2013). Qualidade microbiológica da água para consumo humano em instituição de ensino de Maringá-PR. *O Mundo da Saúde*, 3:312–320.
- Yang K, Pagaling E, Yan T. (2014). Estimating the prevalence of potential enteropathogenic *Escherichia coli* and intimin gene diversity in a human community by monitoring sanitary sewage. *Applied and Environmental Microbiology*, 80:119–127.
- Zhang W, Ehrhardt A. (2017). Getting genetic access to natural adenovirus genomes to explore vector diversity. *Virus Genes*, 5:675–683.

## 9. ANEXOS

### Análises estatísticas

#### **COLIFORMES NA ÁREA TRATADA (SECA X CHUVA)**

Frequencies: *RESULTADO*

Absolute frequency

In columns: *COLIFORMES*

PERÍODO	N	P	Total
CHUVAS	0	35	35
SECA	7	42	49
Total	7	77	84

Statistic	Value	df	p
<b>Chi-square (Pearson)</b>	<b>5,45</b>	<b>1</b>	<b>0,0195</b> associação significativa
Chi-square (ML-G2)	8,00	1	0,0047
Irwin-Fisher (two tails)	-0,14		0,0380
Contingency Coef. (Cramer)..	0,18		
Kappa (Cohen)	-0,16		
Contingency Coef. (Pearson)..	0,25		
Phi-Coefficient	-0,25		

#### Odds ratio

Statistic	Estim.	LL 95%	UL 95%
Odds Ratio 1/2	0,00	nd	nd

#### **E. COLI NA ÁREA TRATADA (SECA X CHUVA)**

Frequencies: *RESULTADO*

Absolute frequency

In columns: *ECOLI*

PERÍODO	N	P	Total
CHUVAS	13	22	35
SECA	32	17	49
Total	45	39	84

Statistic	Value	df	p
<b>Chi-square (Pearson)</b>	<b>6,51</b>	<b>1</b>	<b>0,0107</b> associação significativa
Chi-square (ML-G2)	6,58	1	0,0103
Irwin-Fisher (two tails)	-0,28		0,0148
Contingency Coef. (Cramer)..	0,20		
Kappa (Cohen)	-0,27		
Contingency Coef. (Pearson)..	0,27		
Phi-Coefficient	-0,28		

#### Odds ratio

Statistic	Estim.	LL 95%	UL 95%
Odds Ratio 1/2	0,31	0,13	0,76
Odds Ratio 2/1	3,19	1,31	7,76

## Wilcoxon test for independent samples (Mann-Whitney U)

[illegible]

## TURBIDEZ NAS ETAS

**ETA 1 X ETA 2 – NÃO SIGNIFICATIVO**

### Wilcoxon test for independent samples (Mann-Whitney U)

[illegible]

## TURBIDEZ NAS NAS ETAS - SECA X CHUVA – SIGNIFICATIVO

## Wilcoxon test for independent samples (Mann-Whitney U)

[illegible]

# PoliControl



REPRESENTANTE EXCLUSIVO EM MINAS GERAIS  
Av. Orosio Buarque, 433 - St. Santa Efigênia - Belo Horizonte/MG  
Cap. 58 110-118 - Fone: (71) 3274-4102 - Fax: (71) 3274-1002  
e-mail: biosan@biosan.com.br

## Manual

## Turbidímetro

## AP 2000iR

## Capítulo 1

### • TURBIDEZ •

#### 1. Definição

Turbidez em termos práticos é a redução da transparência da água devido a presença de matéria em suspensão.

As partículas em suspensão dispersas na água tem sua origem na degradação mecânica ou na transformação química ou biológica dos materiais (argila, iodo, limo e plâncton) e possuem conformação e tamanhos diferentes entre si, com tamanho oscilando entre 0,01 a 100 microns.

Em equilíbrio com esses materiais particulados encontram-se também substâncias dissolvidas, causadoras da cor. Em geral, o aumento de sólidos em suspensão aumenta a cor das águas.

As partículas em suspensão na água se encontram em constante mobilidade devido a: turbulência, correntes de convecção no líquido e a repulsão de cargas elétricas presentes na superfície das partículas. Esta mobilidade mantém as partículas em equilíbrio dinâmico, com as partículas menores tendendo a permanecer em suspensão e as maiores a sedimentar lentamente.

A turbidez é avaliada a partir da medida da quantidade de luz refletida, dando a ordem de grandeza dos sólidos em suspensão na amostra, mas não pode ser associada de imediato a quantidade de sólidos.

#### 2. Aspectos estéticos e sanitários

A turbidez das águas foi, por muito tempo, considerada apenas como parâmetro estético causador de rejeição do consumidor.

Contudo, estatísticas foram realizadas em diversas cidades e os dados quantificados entre concentração de cloro residual livre, número de coliformes fecais, casos de hepatite e poliomielite em função da turbidez da água, mostraram haver correlação entre turbidez e a eficácia da desinfecção da água.

Comprovando-se desta maneira, a presença de coliformes fecais em águas tratadas e com turbidez maior que 1 NTU, mesmo com residual de cloro entre 0,5 e 0,8 mg/L.

## Capítulo 2

### • TURBIDIMETRIA •

A evolução dos recursos tecnológicos possibilitou o desenvolvimento de instrumentos de alta precisão e sensibilidade, sendo possível entender a importância no controle da turbidez.

#### 1. Princípio

Entende-se por **nefelometria** a medida da quantidade de material sólido suspenso, a partir da luz dispersa num ângulo de 90° em relação a um feixe de luz incidente (é comum também o uso da medição num ângulo de 45° em relação a vertical).

Nefelômetro é o instrumento que realiza essa medida, constituído basicamente por uma fonte luminosa (emissora de luz Branca ou Infra-Vermelho), cubeta de amostra e fotodetector, instalado a um ângulo de 45° ou 90° em relação a fonte de luz.

Devido ao ângulo em que é medida a luz, o fotodetector é excitado praticamente só pela luz refletida pelas partículas em suspensão.

Qualquer equipamento que parta deste princípio "medição de luz refletida" pode ser usado em nefelometria.

As medidas nefelométricas gozam das seguintes propriedades:

- **Elevada sensibilidade e baixa turbidez;**
- **Sinal nulo para valor de turbidez nulo;**
- **Resposta direta, o sinal cresce com o aumento da turbidez;**
- **Resposta linear para baixos valores de turbidez, com possibilidade de linearização para valores maiores;**
- **Cor dissolvida não é registrada como turbidez, contudo, pode gerar erro nas medições (erro negativo).**

#### 2. Normas de padronização

Visando uniformizar os equipamentos nefelométricos, foram adotadas as seguintes Normas Técnicas: ISO 7027, APHA / AWWA 163 A, CETESB L. 5156, EPA 180.1 e Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 2130 B.

#### 3. Unidade de medida NTU

A partir da 13ª edição do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, editada em 1971, foi estabelecida uma normatização para correlacionar as medidas de turbidez.

A norma definiu características do nefelômetro e do padrão primário que permitem expressar em NTU (Nephelometric Turbidity Unit) a turbidez de uma solução.

Definiu-se 1 NTU como sendo a medida fotométrica de feixe de luz refletida a 90° por uma suspensão de 1 mg/L de formazina em nefelômetro que siga as normas ISO 7027, APHA / AWWA 163 A, e CETESB L. 5156.

#### 4. Padrões de Turbidez

A partir da utilização de nefelômetros para a medida de turbidez, observou-se que as suspensões de sílica não apresentavam reprodutibilidade de leitura. Isso ocorria porque as partículas de sílica apresentavam conformações e tamanhos diferentes de modo que cada suspensão possuía características próprias, difíceis de serem reproduzidas.

Com o emprego de padrões de formazina (partículas esféricas bastante uniformes com tamanho aproximado de 3 microns) conseguiu-se medidas fotométricas reprodutíveis e bastante proporcionais às concentrações.

##### 4.1 - Padrão primário de Formazina

##### 4.1.2 - 4000 NTU

A solução estoque de 4000 NTU é estável por cerca de 3 meses, quando mantida sob refrigeração. As diluições posteriores não são estáveis por mais de 24 horas.

### Preparo da suspensão de formazina padrão

1. Dissolva 5 gramas de Sulfato de Hidrazina em cerca de 400 mL de água de diluição grau laboratório preparada conforme Standard Methods (considere sempre última edição) com filtração em membrana com retenção de partículas > ou igual a 0,1 µm - com valor nominal de 0,02 NTU.
2. Dissolva 50 gramas de Hexametileno Tetramina, em cerca de 400 mL de água de diluição grau laboratório preparada conforme Standard Methods (considere sempre última edição) com filtração em membrana com retenção de partículas < ou igual a 0,1 µm - com valor nominal de 0,02 NTU.
3. Junte as duas soluções e avolume para 1 litro (com água de diluição de laboratório) em balão volumétrico.
4. Mantenha em repouso por 24 horas, entre 25°C ± 3°C.
5. A solução estoque deve ser conservada em refrigerador.

### Padrão diluído de formazina

Para obtenção de padrões de formazina com valores abaixo da solução estoque, colete uma alíquota de 250 mL de solução estoque de formazina em balão volumétrico de 1 litro. Complete o volume com água\* e agite até total homogeneização (Padrão de 1000 NTU).

- Do padrão de 1000 NTU, colete 100 mL e avolume com água\* para 1 L - (Padrão de 100 NTU).
- Do padrão de 100 NTU, colete 100 mL e avolume com água\* para 1 L - (Padrão de 10 NTU).
- Do padrão de 10 NTU, colete 100 mL e avolume com água\* para 1 L - (Padrão de 1 NTU).

Certifique-se que a vidraria utilizada esteja devidamente aferida e limpa.

Prepare três padrões na diluição desejada, confirmando a coincidência dos resultados.

\* Água de diluição grau laboratório preparada conforme Standard Methods - Método 2130 (considere sempre última edição) com filtração em membrana com retenção de partículas < ou igual a 0,1 µm com valor nominal 0,02 NTU.

### Padrões estabilizados de formazina

Possuímos em nossa linha de produtos padrões em concentrações definidas para diversas faixas de turbidez estabilizados, com certificado de calibração. Consulte-nos através do telefone 011- 4057-4966 ou pelo email: vendas@policontrol.com.br

#### 4.2 - Padrões Secundários

#### Padrão de Turbidez PoliControl / Suspensões Coloidais.

As suspensões utilizadas na preparação de padrões para turbidez devem apresentar as seguintes características:

- Suspensão estabilizada em fase líquida incolor, com partículas esféricas de tamanho homogêneo e de aspecto branco leitoso;
- Apresentar comportamento fotométrico linear e proporcional quando diluída a diversas concentrações;
- Apresentar reprodutibilidade fotométrica.

Os padrões secundários em suspensão PoliControl se adequam a essas exigências, e são fornecidos para faixa de: 0,02, 10, 100 e 1000 NTU sendo formado por partículas esféricas brancas, com tamanho regular de 3 microns e calibrados frente a padrões primários de Formazina estabilizada.

Obs: Podemos também sob consulta fabricar outras concentrações de padrões secundários.

### Padrões de Turbidez STABGEL – PoliControl

Os padrões secundário STABGEL estáveis, são apresentados em forma de gel possuem uma faixa nominal de turbidez de 0 a 10, 10 a 100 e 100 a 1000 NTU e devem ser especificamente calibrados frente a padrões primários de formazina e os valores registrados nas etiquetas coladas em cada uma das tampas.

É importante salientar que estes padrões devem ser utilizados para checagens rotineiras da calibração efetiva realizada com os padrões de formazina e que cada jogo destes padrões deve ser utilizado tão somente no equipamento em que foi aferido.

#### 4.3 - Conservação dos padrões observar

- Não submeta os padrões a temperaturas altas ou exposição a radiação solar;
- Evite riscos nas cubetas de vidro. Muitas vezes é esse o fator que compromete a precisão da leitura;
- A paredes externas do padrão devem estar livres de marcas de dedo, manchas ou gorduras;
- Não deixe os padrões no interior do porta cubetas.

#### 4.4 - Segurança com a manipulação dos padrões

Alguns dos produtos utilizados na fabricação das padrões secundários PoliControl são inflamáveis e tóxicos ( Isopropanol ).

Em caso de acidente recorrer a auxílio médico.

## Capítulo 3

### 1. INFORMAÇÕES GERAIS

Leia o manual de instruções antes da instalação ou utilização deste instrumento, caso contrário, poderão ocorrer danos pessoais ou avaria do produto.



**Precauções devem ser tomadas para evitar que água proveniente dos frascos do Turbidímetro entre em contato com a câmara de luz.**

**NUNCA COLOQUE FRASCOS ÚMIDOS NO TURBIDÍMETRO.**

### 2. Características

O Turbidímetro AP2000IR é um nefelômetro, controlado por microprocessador. Uma configuração óptica multidetectora assegura uma estabilidade a longo prazo e minimiza interferências indevidas de luz e cor. Todas as leituras são determinadas pelo processo de média de sinal durante um período de 3 segundos, minimizando as flutuações em leituras atribuídas a partículas maiores e permitindo medidas rápidas e reprodutíveis. **O microprocessador permite auto-ajuste de faixa 0 a 1000 NTU ou seleção manual para faixas de 0 a 9,99, 0 a 99,9 ou 0 a 1000 NTU e fornece uma leitura digital com resolução de 0,01 NTU para as faixas mais baixas.**

O sistema óptico tem uma fonte de luz de estado sólido com uma expectativa de vida de 100.000 horas. A luz é detectada por um fotodiodo de silício.

## ESPECIFICAÇÕES

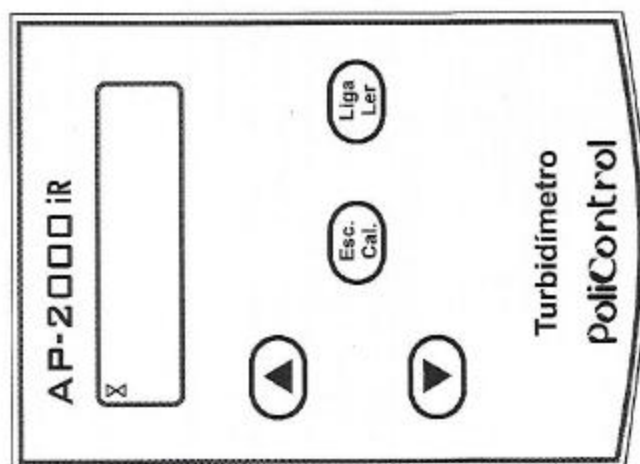
Tipo de equipamento	Turbidímetro Nefelométrico, calibrado em NTU
Fonte de luz	IR 880 nm
Resultados	Em NTU
Detector	Fotodiodo de Silício
Faixa de medição auto	0,00 – 1.000 NTU
Resolução	0,01 – 0,1 – 1
Faixa de leitura selecionável	0 a 9,99 – 0 a 99,9 – 0 a 1000 NTU
Precisão	± 2% até 100 NTU ± 3% para leituras acima de 100 NTU
Display	2 linhas 16 caracteres
Leitura automática	Direta, média de sinal a cada 3 segundos
Tempo de resposta	3 segundos
Tempo de estabilização	Em modo Automático 3 minutos
Lâmpada	Vida de aproximadamente 100.000 horas
Amostras	20 mL em cubeta com tampa
Cubeta de Amostra	Cubeta redonda
Tamanho	10,8 x 9,5 x 8,5 cm
Tensão de Alimentação	9 VDC
Desligamento	Modo Automático 30 min e Modo Manual 05 min

## Partes e Acessórios - Inclusos

- 9 cubetas para leitura de amostra
- Bateria 9 Volts
- 5 padrões de turbidez em frascos de 100 mL nos valores 0,02 – 10 – 20 – 100 – 800 NTU
- Manual de operação
- Maleta
- Fonte de alimentação: conversor 90 ~ 240 VAC e saída 9 VDC ± 0,2 VDC

- \* A quantidade de cubetas e valores dos padrões poderão ser alterados conforme necessidade do cliente
- \* O equipamento sai de fábrica calibrado e operando em modo manual e com seleção automática da faixa de leitura
- \* Recomenda-se que o equipamento seja calibrado no mesmo modo operacional (leitura Manual ou Automática) em que será utilizado.

## Display



Esc. - Escala Seleção  
Cal. - Calibração  
Liga - Ligar  
Ler - Leitura Manual

Obs.: A ampulheta no canto esquerdo serve para sinalizar o andamento da medição. Cada vez que este sinal pisca, uma medição foi realizada em Modo Automático.

## Capítulo 4

### 1. Operação do Teclado






Cada uma das teclas do AP-2000iR executa mais de uma função, de acordo com o modo de operação (operação normal, calibração, seleção de faixa de leitura automática ou manual, leitura automática, leitura manual, etc...).

- Caso dois traços estejam sobre a tecla a significa que a tecla deverá ser mantida pressionada.
- O uso de um sinal de "+" entre as teclas significa que a primeira tecla deve ser mantida pressionada enquanto se tecla a segunda.
- Caso o traço esteja sobre as duas teclas e o sinal de "+", significa que as duas teclas devem ser mantidas pressionadas.
- Caso não haja nenhuma marcação, basta um toque na tecla indicada.

#### LIGANDO O APARELHO

Para ligar	<LIGA-LE>
<b>MODO DE LEITURA</b>	
Passar de Leitura Manual para Automática e de volta para Manual	▼ + <CAL-ESC>
Realizar uma leitura, desde que esteja em Manual	<LIGA-LE>
Parar/Liberar as leituras, desde que esteja em Automático	<LIGA-LE>
Passar para modo de Calibração	<CAL-ESC>
Obs.: Não esqueça de colocar antes um padrão dentro do instrumento	<CAL-ESC>
<b>MODO DE CALIBRAÇÃO</b>	
Ajustar o valor (para cima e/ou para baixo).	▲ ▼
Obs.: Manter pressionada aumenta o diminui rapidamente.	<CAL-ESC>
Para registrar a nova calibração	<LIGA-LE>
Para abortar a calibração (nada é alterado)	<LIGA-LE>
<b>MODO DE SELEÇÃO DE FAIXA DE LEITURA</b>	
Para selecionar as faixas de leitura de 0 - 9,99 ou 0 a 99,9 ou 0 a 1000 NTU proceda da seguinte maneira	
Pressione a tecla com um toque	<CAL-ESC>
No visor irá aparecer na parte inferior a primeira escala selecionada	0 - 9,99
Para selecionar as demais faixas pressione novamente com um toque	<CAL-ESC>
No visor irá aparecer a cada novo toque da tecla as escalas subsequentes	0 - 99,9 0 - 1000
Com mais um toque da tecla	<CAL-ESC>
O visor não mostrará mais nenhuma faixa isto indicará que o aparelho estará trabalhando na seleção automática.	

## 2. Calibração

1		Pressione tecla <LIGA-LE>. Aguarde 3 minutos para estabilização do aparelho.
2		Utilizar a sequência de calibração introduzindo os padrões das faixas de 0,02, 10, 100 e 800 NTU.
3		Limpe a cubeta com papel fino e absorvente
4		Introduza o padrão na célula de leitura. <b>Alinhando a marcação * do padrão, com a marcação do porta cubeta</b> (para frente).
5		Feche a tampa. Aguarde a leitura estabilizar quando em modo Automático. Se em modo Manual tecla <LIGA-LE>
6		Pressione a tecla "<CAL-ESC>" até que o display indique "Calibrar"
7		Ajuste através da teclas para cima ▲ e para baixo ▼ até o valor do padrão.
8		Pressione a tecla "<CAL-ESC>" (até que o aparelho memorize o valor) e indique "gravar cal."
9		Repita o procedimento para todos os padrões.







### 2.1 - Aferindo os Padrões STABGEL

Após a calibração do turbidímetro deverá ser feita a aferição dos padrões STABGEL. Os padrões STABGEL deverão ser lidos no turbidímetro já calibrado e os respectivos valores deverão ser anotados nas etiquetas das cubetas, considerando uma faixa de aceitação de + ou - 5%.

#### Exemplo:

1. Valor lido para padrão 6,5 NTU na faixa de 0 a 10 NTU
2. Etiqueta a cubeta com a faixa de 6,17 a 6,83 com valor médio de 6,5.

### 3. Operação - Medida da Turbidez

1		Rinse a cubeta com a amostra.
2		Coloque amostra na cubeta.
3		Seque a cubeta com papel fino e absorvente.
4		Introduza cubeta na célula de leitura. Alinhando a marcação* da cubeta, com a marcação do porta cubeta (para frente). Feche a tampa.
5		Aguarde a leitura estabilizar (despreze pelo menos as duas primeiras leituras) se em modo Automático. Em modo Manual aperte a tecla "liga-ler".
6		Para desligar pressione a tecla "liga-ler" até que o display indique "Desligar". Tempo aproximado de 5 Seg.

### 4. Cubetas




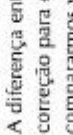
Limpar as cubetas interna e externamente antes da utilização (utilize um detergente suave) e certifique-se que não há qualquer sujeira ou impressões digitais. Seque a parte de fora das cubetas com lenço descartável. Deixe as cubetas secarem ao ar numa posição invertida para evitar que o pó entre nos tubos.

Riscos, impressões digitais e gotículas de água nas cubetas ou no interior do porta cubeta causam interferência resultando em desvios analíticos. É fundamental que cubetas e porta cubeta estejam limpos e secos.

A variação na geometria e qualidade dos vidros e a posição da cubeta no porta cubeta é a causa predominante da variação nos resultados. Para se obter resultados mais reprodutíveis, vide item 4.1.

### 4.1 - Calibração das cubetas

As cubetas do turbidímetro AP 2000IR são selecionadas opticamente, mas variações muito pequenas nestas podem causar diferentes leituras na mesma amostra em águas de baixa turbidez. Para medições na faixa de turbidez menor que 1 NTU, se uma maior precisão é exigida, as cubetas devem ser calibradas individualmente.

1		Encha cada cubeta com água de excelente qualidade. (Normalmente água destilada ou de osmose reversa).
2		Efetue a leitura de todas as cubetas, anotando o resultado de cada cubeta.
3		Marque a cubeta com a menor leitura com "R", para ser a cubeta de referência. Esta marca deve estar próximo ao topo e com marcador permanente.
4		A diferença entre o valor da cubeta "R" com as demais cubetas é o fator de correção para cada uma das cubetas. Este valor poderá ser usado quando compararmos valores lidos com cubetas diferentes.

\* Água de diluição grau laboratório preparada conforme Standard Methods - Método 2130 (considerar sempre última edição) com filtração em membrana com retenção de partículas < ou igual a 0,1µm com valor nominal 0,02 NTU.

# **PoliControl**

## **Manual AquaColor Cloro**

### **Colorímetro Portátil**

**PoliControl Instrumentos de Controle Ambiental Inds. e Com. Ltda.**  
Rua Tupinambás nº 515-Vila Conceição – Diadema – São Paulo – Cep: 09991-090  
Tel/Fax: 0XX11- 4057-4966 Email: vendas@policontrol.com

# CLORO

## Introdução

O cloro é adicionado a água para: matar as bactérias ou outros organismos produtores de doenças, controle de algas, remover cor e odores indesejáveis. O Cloro adicionado a água forma rapidamente ácido hipocloroso (HClO), também conhecido como cloro livre, componente ativo responsável pela capacidade sanitária do cloro. O cloro livre reage com impurezas da água formando cloraminas e outros compostos nitrogenados. Na forma combinadas sua capacidade sanitária diminui, e maiores teores de cloro são necessários para a desinfecção.

## Princípio do Método

A N,N dietil-p-fenileno-diamina (DPD), na ausência de íons iodeto, reage com o cloro livre, produzindo uma coloração róseo avermelhada.

A presença de íons iodeto tem ação catalítica, de modo a propiciar, a reação do cloro livre e do cloro combinado (cloro total).

## Interferentes

A maioria das substâncias oxidantes reage com DPD de maneira similar ao  $Cl_2$ .

Cobre interfere mas é mascarado por complexantes incorporados ao reagente.

Altas concentrações de cloro combinado produzem uma leve resposta de cloro livre.

O controle de pH é fundamental para o bom andamento da reação. A amostra deve ser aproximadamente neutra, para assegurar o pH adequado.

## Faixa

0 a 4,0mg/l (pode ser estendida através de diluição).

## Metodologia

### Cloro Livre

1. Adicionar, numa cubeta limpa e vazia, 5 gotas de CL-S1;
  2. Acrescentar 2 gotas de CL-S2;
  3. Adicionar, nessa cubeta a amostra até a marca (9,4ml de amostra, com os reagentes totaliza 10ml);
  4. Agitar para a total homogeneização;
  5. Colocar no colorímetro e ler a concentração de cloro. Anotar o resultado como valor "A"
- Este valor será usado na determinação de *Cloro Combinado*.

**Cloro Total**

1. Adicionar, numa cubeta limpa e vazia, 5 gotas de CL-S1;
  2. Acrescentar 2 gotas de CL-S2;
  3. Adicionar, nessa cubeta a amostra até a marca de 10ml;
  4. Agitar para a total homogeneização;
  5. Adicionar 2 gotas de CL-S4 agitar e aguardar 1 minuto;
  6. Colocar no colorímetro e ler a concentração de cloro. Anotar o resultado como valor "B"
- Este resultado será usado na determinação de *Cloro Combinado*.

OBS: Não demore muito tempo para realizar as leituras, pois o oxigênio do ar oxida facilmente o reagente, causando resultados maiores que o correto. Como regra, evite levar mais que 5 minutos para fazer as duas leituras (A e B).

**Resultados**

Cloro Livre = A mg/L  
 Cloro Total = B mg/L  
 Cloro Combinado = (B-A) mg/L

**Informações Gerais**

1. Não deixe por muito tempo a reação colorimétrica na cubeta, descarte-as e lave as cubetas.
2. Na faixa de 0 a 3mg/l, erro máximo de repetibilidade e reprodutibilidade 3%.
3. De 3 a 4mg/l erro máximo 4%.
4. Acima de 4mg/l erro máximo 10%.
5. Kit de reagentes para 100 testes.

**Reagentes para Reposição – 100 testes**

- 1 frasco com 25ml de CL-S1
- 1 frasco com 10ml de CL-S2
- 1 frasco com 10ml de CL-S4

**PoliControl**

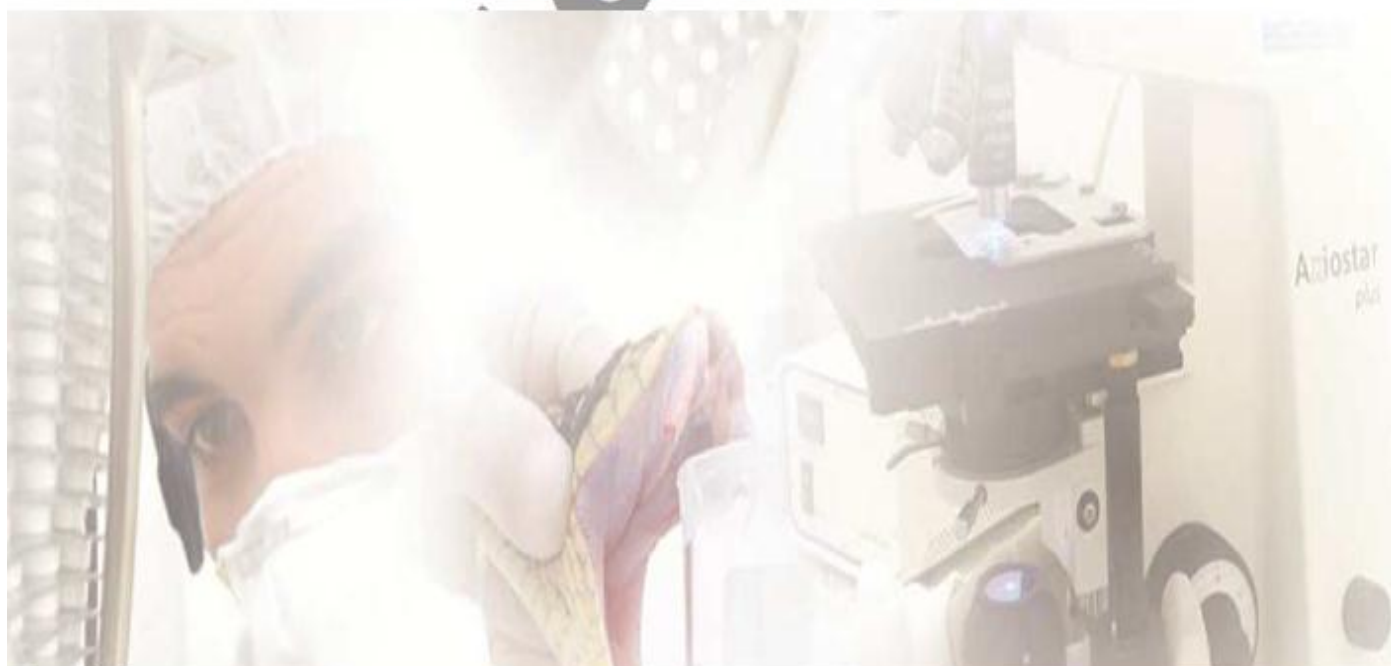
Instrumentos de Controle Ambiental Inds. e Com. Ltda.  
 Rua Tupinambás nº 515-Vila Conceição – Diadema – São Paulo – Cep: 09991-090  
 Tel/Fax: 0XX11- 4057-4966 Email: vendas@policontrol.com

**TÍTULO: MANUAL DE COLETA DE AMOSTRAS**

**NÚMERO:  
DIOM-DIVISA-SGA-MQ-0001**



# MANUAL DE COLETA DE AMOSTRAS



		<p>Amostras congeladas em sua origem devem ser mantidas com uso de gelo seco.</p> <p>Amostras não perecíveis, já embaladas ou secas devem ser enviadas em temperatura ambiente.</p>
--	--	---

Fonte: FUNED, 2015

### **OBSERVAÇÕES:**

1. Todas as amostras devem ser devidamente rotuladas e identificadas, acondicionadas em recipientes apropriados e acompanhadas de Termo de Coleta de Amostras e Formulário de Inquérito Coletivo de Surto de Doença Transmitida por Alimentos (anexo 11.1.6).
2. Não será analisada a amostra desprovida de documentação completa, principalmente da ficha de inquérito, uma vez que sem os documentos, há impossibilidade de direcionamento analítico.
3. O responsável pela coleta deverá comunicar ao laboratório, o mais rápido possível, sobre o envio das amostras para análise.

A utilização do gelo seco requer precauções específicas, tais como: manipulação com proteção, veículo de transporte com ventilação adequada, embalagem não hermética, etiqueta com a seguinte indicação: “conteúdo conservado com gelo seco”.

## **5.4.4 Água**

### **5.4.4.1 Potabilidade / Balneabilidade**

Potabilidade é a análise efetuada em amostras de água visando verificar se a mesma está adequada ao consumo humano (Portaria nº 2914/2011/MS).

Balneabilidade é a análise efetuada para verificar a qualidade da água para recreação de contato primário.

- Contato primário: quando existir o contato direto do usuário com os corpos de água como, por exemplo, as atividades de natação, esqui aquático e mergulho (Resolução CONAMA nº 274 de 29/11/2000).

#### **5.4.4.1.1 Responsabilidade pela coleta e envio de amostras**

As amostras são colhidas e enviadas ao Laboratório pela autoridade sanitária, seguindo as seguintes orientações:

A água deverá ser transportada na bolsa plástica fornecida pelo laboratório, observando o seguinte espaço de tempo:

- à temperatura ambiente – até 1 (uma) hora depois da coleta.
- à baixa temperatura (até 6°C) – até 22 (vinte e duas) horas depois da coleta.

**OBSERVAÇÃO:** Para que seja mantida à baixa temperatura, a amostra de água deverá estar acondicionada em saco plástico e colocada dentro de uma caixa de isopor com gelo reciclável.

#### 5.4.4.1.2 Cadastro no GAL (Gerenciador de Ambiente Laboratorial)

Todas as amostras ambientais (potabilidade/balneabilidade) devem ser cadastradas no módulo Ambiental do Sistema GAL e encaminhadas à FUNED ou outro órgão designado pela FUNED com uma cópia da Ficha de Solicitação do GAL.

#### 5.4.4.1.3 Tamanho da amostra

- Amostra em bolsa plástica estéril com quantidade mínima de 100 mL para análises bacteriológicas;
- Amostra em bolsa plástica estéril com a quantidade mínima de 200mL para análise em situações de surto (toxinfecção);
- Amostra de água mineral em embalagem original e em quantidade mínima de 200mL para análises micológicas.
- Amostra em embalagem fornecida pelo laboratório para análises físico-químicas completas;
- Amostras em embalagens âmbar (fornecidas pelo laboratório) devidamente rotulado, com quantidade mínima de 1.000mL para análises de resíduos de pesticidas;
- Amostras em bombonas com quantidade mínima de 10.000mL (água tratada) para análise de *Cryptosporidium* e *Giardia*;
- Amostras em bombonas com quantidade mínima de 10.000mL (água *in natura*) para análise de *Cryptosporidium* e *Giardia*.

#### 5.4.4.1.4 Acondicionamento e envio de amostras

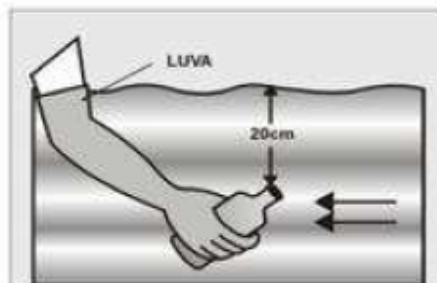
Os procedimentos de coleta e condições de envio são dependentes do procedimento analítico a ser realizado, conforme descrito abaixo:

#### 5.4.4.1.5 Análise microbiológica

##### a) Coleta em nascentes, mananciais, cisternas, poços e caixas d'água

- Desinfete uma vasilha de alumínio previamente lavada através de fervura (min. 20 minutos) ou de combustão de pequena quantidade de álcool dentro da mesma;
- Introduza imediatamente a vasilha desinfetada na água, colhendo amostra suficiente para preencher  $\frac{3}{4}$  do frasco esterilizado ou bolsa plástica;
- Transfira a água para dentro do frasco ou bolsa, tendo o cuidado de colocá-la no centro do coletor para que não entre em contato com a borda;
- Feche o frasco ou bolsa, imediatamente, conforme as características de cada um;
- Identifique a amostra; no caso da bolsa plástica, esta identificação poderá ocorrer antes de coletar a amostras;

- Acondicione o frasco ou bolsa em saco plástico e envie-o para análise, observando condições de transporte e tempo entre a coleta e entrada ao laboratório.

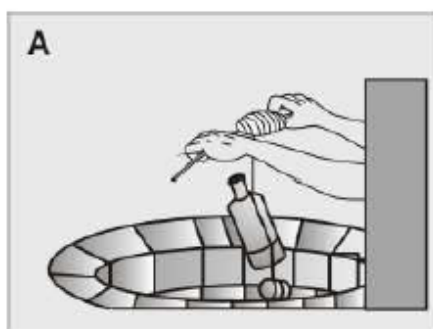


Fonte: OPAS, 1987

**Observar o sentido da correnteza e a profundidade mínima.**

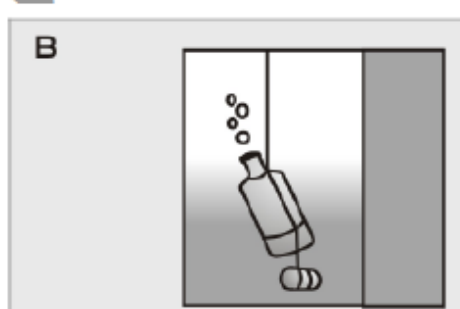
FIGURA 4 - Coleta de Amostras em Mananciais

Fonte: OPAS, 1987



Fonte: OPAS, 1987

**Descer lentamente o cordão sem permitir que o frasco toque nos lados do poço.**



**Submergir o frasco, permitindo que se obtenha amostra mais profunda.**

FIGURA 5 - Coleta de Amostras em Poço Raso

Fonte: OPAS, 1987

## b) Coleta em torneiras

### ➤ Coleta utilizando frasco estéril:

1. Abra a torneira totalmente e deixe a água escoar por alguns segundos;
2. Limpe as partes interna e externa da torneira com gaze ou algodão embebido em álcool 70%;
3. Abra a torneira novamente e deixe escoar a água por mais alguns segundos;
4. Abra o frasco esterilizado cuidando para que não haja contaminação do gargalo ou da tampa;

5. Colete a água até o volume necessário;
6. Feche e identifique a amostra;
7. Acondicione o frasco em saco plástico e envie-o para análise observando as condições de transporte e tempo entre a coleta e entrada ao laboratório.

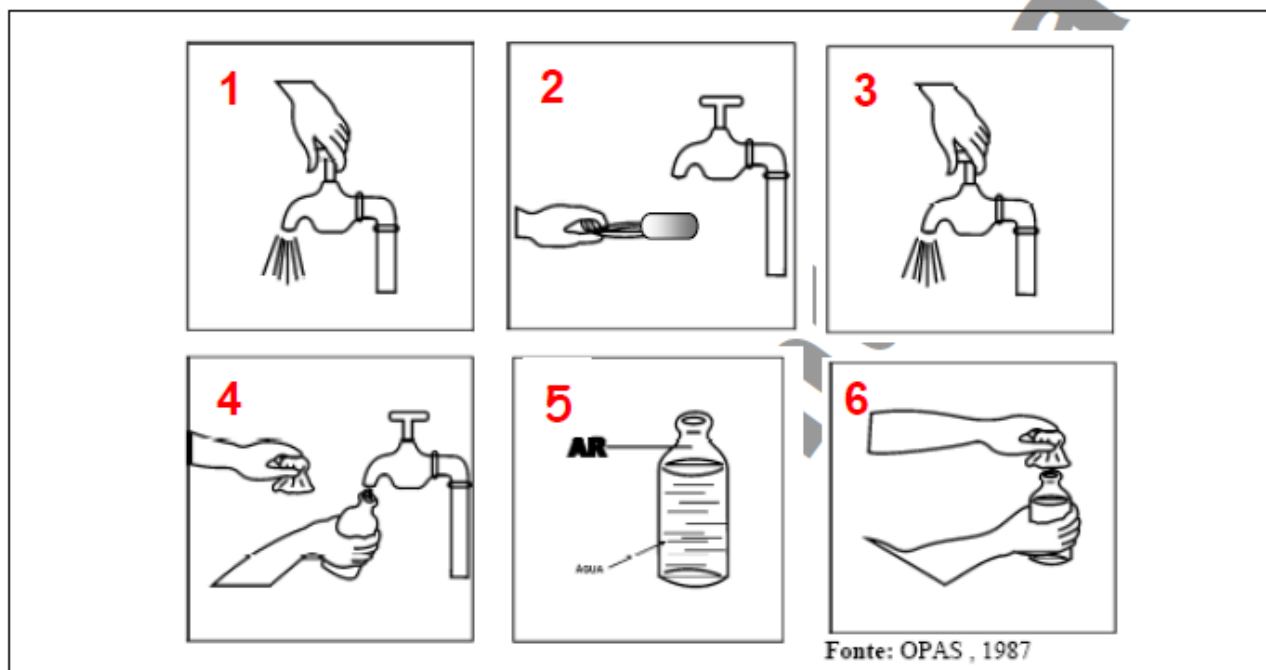


FIGURA 6 - Coleta com frasco estéril

Fonte: OPAS, 1987

➤ Coleta utilizando saco/bolsa plástica estéril:

1. Identificar a amostra;
2. Retirar o lacre;
3. Abrir o coletor pelas abas laterais;
4. Coloque a amostra no saco/bolsa plástica estéril utilizando uma vasilha esterilizada ou colete diretamente da torneira após desinfetá-la;
5. Feche o saco unindo as bordas e dobre algumas vezes a faixa de abertura;
6. Dobrar as extremidades conforme a ilustração;
7. Acondicionar em um suporte (grade), de modo que os sacos fiquem em pé;
8. Transportar em caixas isotérmicas ou de isopor contendo gelo reciclável.

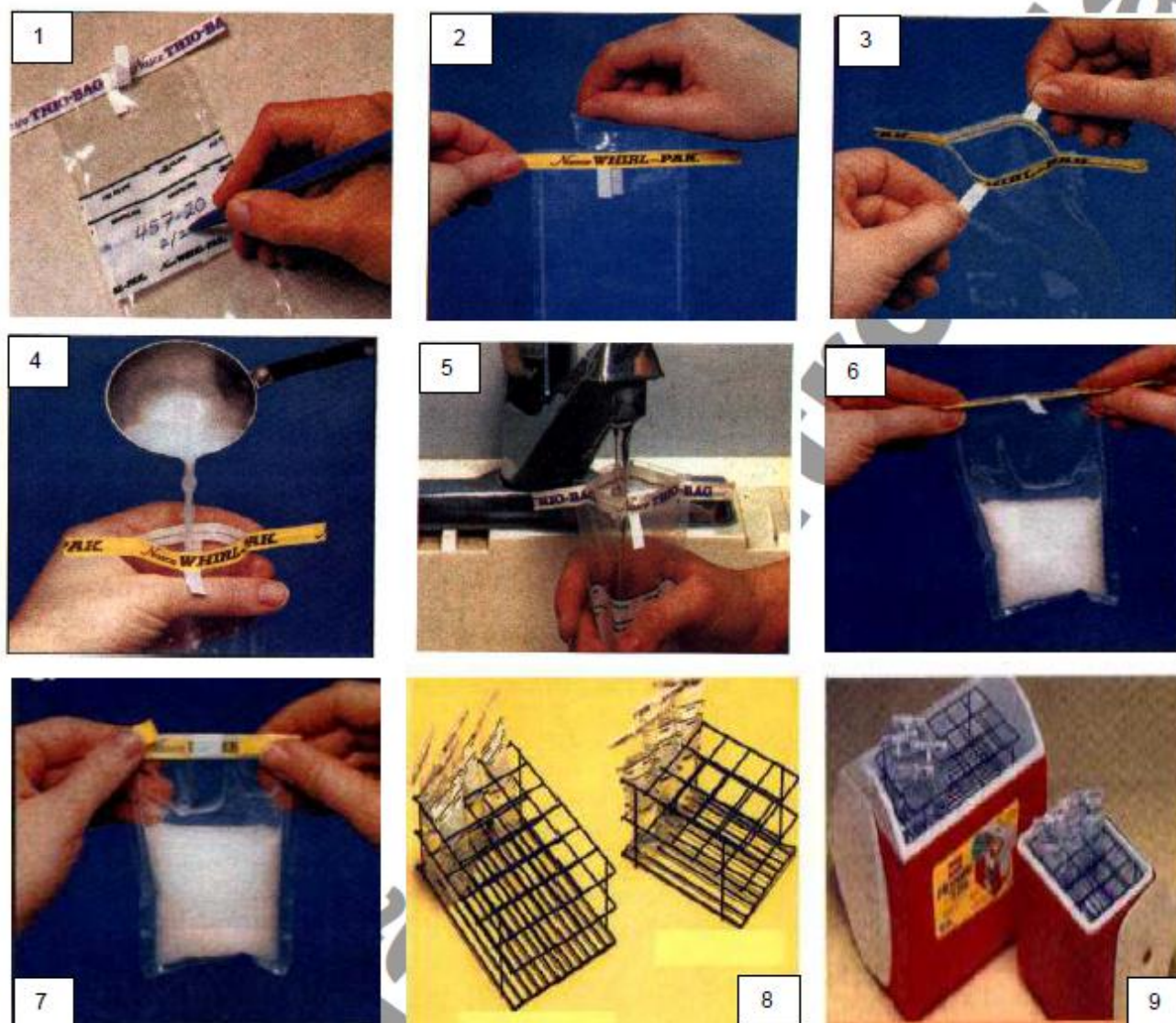


FIGURA 7 - Coleta com saco estéril

Fonte: FUNED, 2013

#### 5.4.4.1.6 Coleta de amostras ambientais para pesquisa de *Vibrio cholerae*

##### a) Águas de consumo

Coletar no mínimo, um litro de água em frasco/recipiente com capacidade para dois litros. Acrescentar, antes ou após a coleta da água, dez gramas de NaCl (ou 2 colheres de chá de sal de cozinha, quando em condições precárias).

Havendo possibilidade, recolher à parte, no mínimo 450 mL de água para análise em frasco esterilizados com capacidade de um litro contendo 50 mL de água peptonada alcalina (APA), dez vezes concentrada, ou 500 mL de água em 250 mL de APA, três vezes concentrada. Caso a água seja clorada, adicionar tiosulfato de sódio.

As amostras devem ser identificadas e acompanhadas do termo de coleta de amostras, juntamente com a ficha de investigação epidemiológica (quando aplicável).

O acondicionamento e transporte devem ser sob refrigeração e não devem ultrapassar 12 horas, preferencialmente.

**b) Águas residuais – técnica de Moore (“swab” de Moore)**

Imergir a mecha de gaze (fornecida pela Funed) no efluente, riachos, rios, lagos, canais etc, por três a cinco dias. Recolher as amostras em sacos plásticos ou em frascos de boca larga contendo água peptonada alcalina simples (fornecida pela Funed).

As amostras devem ser identificadas e acompanhadas de uma cópia impressa do número da Solicitação GAL, juntamente com a ficha de investigação epidemiológica (quando aplicável).

O acondicionamento e transporte devem ser sob refrigeração e não devem ultrapassar 12 horas, preferencialmente.

As amostras acondicionadas em APA devem ser processadas, no laboratório, até doze horas após a coleta, se mantidas em temperatura ambiente.